

**«Информатика и технологии.
Инновационные технологии
в промышленности и
информатике»
«МНТК ФТИ-2017»**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ



**Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия наук
Московский технологический университет
Физико-технологический институт
Компания «Nanoplus Ltd» (Тайвань)
Академия технологических наук РФ
Московский государственный университет
Всероссийское общество изобретателей и рационализаторов
Московский международный Салон «Архимед»
Научный центр волоконной оптики РАН**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«Информатика и технологии.
Инновационные технологии
в промышленности и информатике»
«МНТК ФТИ-2017»**

Под редакцией

д.ф.-м.н., профессора Булатова М.Ф.

Москва, 2017

Сборник научных трудов: материалы Международной научно-технической конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике»; Московский технологический университет, Физикотехнологический институт. Выпуск 23 (XXIII) / Под редакцией д.ф.-м.н., проф. Булатова М.Ф. – М.: 2017. – 668 с.

В сборнике опубликованы работы, представленные на Международной научнотехнической конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике», а также работы ведущих ученых и специалистов, занимающихся созданием новых инновационных технологий, разработкой конструкций и технологий для наукоемкого приборо- и машиностроения, задачами информационных технологий, исследованием в области оптоэлектронных и оптоволоконных систем. Сборник трудов может быть полезен для научных работников и инженеров, работающих по смежным научным направлениям, а также для аспирантов и студентов технических вузов.

Главный редактор:

д.ф.-м.н., профессор Булатов М.Ф.

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. Кондратенко В.С.

д.т.н., проф. Албагачиев

к.т.н., доцент Гриднева Г.Н.

СОДЕРЖАНИЕ:

ПЛЕНАРНЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ	18
ЛУ ХУНГ-ТУ, КОНДРАТЕНКО В.С., РОГОВ А.Ю. Компания «Nanoplus Ltd» - стратегический партнер Московского технологического университета	18
БАГДАСАРЯН А.С., БАГДАСАРЯН С.А., БУТЕНКО В.В., ГУЛЯЕВ Ю.В., СИНИЦЫНА Т.В. Телекоммуникационная среда в эпоху информационного общества: современное состояние технологии поверхностных акустических волн.	28
ДЕРГУНОВА Е.А., ФИГУРОВСКИЙ Д.К., АБДЮХАНОВ И.М., ЦАПЛЕВА А.С., АЛЕКСЕЕВ А.В., КАРАСЕВ Ю.В., РАКОВ Д.Н. Разработка сверхпроводящих композиционных материалов для специальных магнитных систем ..	34
ОСАДЧИЙ В.Я., КОМАРОВ В.А. Разработка и освоение инновационных технологий, обеспечивающих импортозамещение для атомной промышленности, нефтегазового и оборонного комплексов	44
СЕКЦИЯ 1 «НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА КОНДРАТЕНКО В.С.»	48
КОНДРАТЕНКО В.С., ИВАНОВ В.И. Управление качеством кристаллов ОСИД за счет применения нового метода лазерной резки кремниевых подложек.	48
КОНДРАТЕНКО В.С., САКУНЕНКО Ю.И., КОБЫШ А.Н., БУРЛЯЙ Д.А. Гибридные мультисенсорные кабели - новый инструмент контроля над пожарами и техногенными авариями.	52
КОНДРАТЕНКО В.С., КОБЫШ А.Н., БУРЛЯЙ Д.А., САКУНЕНКО Ю.И., БОБКОВ А.В. Обработка ситалла новым алмазным инструментом	55
КОНДРАТЕНКО В.С., КОБЫШ А.Н., РОГОВ А.Ю., КОНДРАТЕНКО Е.В. Щелочно- ионизированная вода, перспективы промышленного применения.	57
КОНДРАТЕНКО В.С., ВЫСОКАНОВ А.А., САКУНЕНКО Ю.И. Металлогибридные термоинтерфейсы (МГИ)	62
КОНДРАТЕНКО В.С., ИСАЙ И.А. Преимущества лазерного метода изготовления оптических сеток.	65
МЕЛКУМЯН М.Т. Измерение функции силы, создаваемой пьезопроводом для оценки возможностей повышения эффективности метода Лазерного управляемого термораскалывания	68
ЛЕБЕДКИН И.Ф., ТРЕТЬЯКОВА О.Н. О подходах к моделированию процессов послойного лазерного сплавления.	71
КОНДРАТЕНКО В.С., ГИНДИН П.Д., КИРИКОВА Т.Н. Биологические микрочипы для фотоанализатора ФАБ-01	74
ГРЕНКОВ В.Л., САФОНОВ М.А. Оценка возможности применения платформы Arduino для проектирования устройств медицинской диагностики.	77

СЕКЦИЯ 2

«ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТОВОЛОКОННЫЕ СИСТЕМЫ» 80

ЦОКОЛЕНКО Д.В., СЛЕПЦОВ М.А., ДЮЖИКОВ В.И.

Применение системы мониторинга протяженных объектов «Дунай» на железнодорожных путях.. 80

СИМОНОВ М.А., ЗАРЕНБИН А.В.

Волоконно-оптический телеметрический комплекс для технической диагностики промышленного оборудования в режиме реального времени 82

ИСУПОВ Д.С., ИГНАТЬЕВ А.Д., ЗАРЕНБИН А.В., КОНДРАТЕНКО В.С.

Система предварительного мониторинга состояния объектов посредством оптических волоконных преобразователей акустической эмиссии 84

АКСЁНОВ Е.А., ГРИДНЕВА Г.Н.

Вращающиеся оптические ВЧ переходы для морских спутниковых антенн..... 86

КАМЕНЕВА Н.А.

Оптическая система с телецентрическим ходом лучей для регистрации цифровых голограмм 88

КОМАРОВ Д.А., ШИРЯЕВ Д.А., ХАХИЧЕВ А.С.

Волоконно-оптический сенсор растяжения..... 91

ИВАШНЕВ А.А., ВИГДОРОВИЧ Е.Н.

Анализ погрешностей волоконно-оптического гироскопа 93

ЖЛУКТОВА И.В.; ТИТАРЕНКО Н.Ю., ТАВЛЕЕВ А.А., КАМЫНИН В.А., ЦВЕТКОВ В.Б.

Сравнение характеристик гольмиевого волоконного усилителя на длинах 0 нм и 0 нм 95

КУЗНЕЦОВ А.А.; СИМОНОВ М.А., ЗАРЕНБИН А.В.

Разработка методик испытаний волоконно-оптического телеметрического комплекса (ВоТК). Калибровка датчиков физических величин в составе волоконно-оптического телеметрического комплекса 98

ЛАКШИН В.С., ВИГДОРОВИЧ Е.Н.

Влияние облучения на свойства излучателей на AlInGaN..... 100

МОРОЗОВ Г.С.

Исследование и разработка оптической схемы фотоанализатора 102

КОВАЛЁВА Е.А.

Параметры оптических разветвителей (сплиттеров)высоких температур 104

ЩЕРБАКОВ М.О., СОРОКИН А.В.

Исследование аппаратного комплекса оптической линии передачи цифровых и аналоговых сигналов в радиолокационных приложениях 105

СЕКЦИЯ 3

«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ» 109

БЕЛОВ В.Г.

Сортамент медных полых профилей для электротехнических установок 109

АДАМКОВИЧ Д.А., ЗЕРНИЙ Ю.В.

Расчет количества припоя при пайке поверхностно-монтируемых компонентов..... 113

АЛИСИН В.В., ЛУКЪЯНОВ А.И., РОЩИН М.Н. Трибологические испытания керамических композитов при трении без смазки в условиях высоких температур	115
АЛБАГАЧИЕВ А.Ю., ЗУЕВ В.В., ЛУТЬЯНОВ А.В., ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ Е.В. Энергетические основы ударного упрочнения поверхностей деталей	118
СКВОРЦОВ О.Б., ПРАВОТОРОВА Е.А. Обработка сигналов векторных датчиков физически величин	120
ВАЛИЕВ А.М., ПАНКРАТОВ Д.Л. Автоматизация технологического процесса сборки неразъемного изделия пластической деформацией на основе нечеткой логики	123
ГЕРАСИМОВ В.В., НИКИТИН А.К., ХАСАНОВ И.Ш., ТА ТХУ ЧАНГ О возможности оптического контроля плоской грани металлического тела по излучению инфракрасных термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов	125
СМИРНОВ Н. И., ЯГОВКИНА А.Н., СМИРНОВ Н.Н. Эрозионные испытания порошковых материалов.....	128
АБЛАЕВА А.Е., СЛЕПЦОВ В.В. Анализ влияния трения на работу регулируемых электроприводов на сверхнизких скоростях.....	131
ВОРОБЬЕВ Е.И., КОНСТАНТИНОВ А.Н. Система целеуказания для управления электрическим автоматизированным протезом руки.....	134
ЧИЖИКОВ В.И., МОРГУНЕНКО К.О., ВОРОБЬЁВ Е.И. Тактильная аппроксимация формы объекта пятипалой кистью руки антропоморфного робота.....	136
ЕВДОКИМОВ А.П. Оценка ресурса многослойных упругих оболочек вращения на стадии проектирования	139
ШКАТОВ П.Н., ДИДИН Г.А., ЕРМОЛАЕВ А.А., РОДЮКОВ М.С. Исследование возможности выявления дефектов в графитовых электродах электропотенциальным методом.....	141
ШКАТОВ П.Н., ДИДИН Г.А., ЕРМОЛАЕВ А.А., РОДЮКОВ М.С. Разработка комбинированного метода дефектоскопии графитовых электродов.....	144
ШКАТОВ П.Н., РОДЮКОВ М.С. Неразрушающий контроль качества сверхпроводящей проволоки в процессе производства	146
ШКАТОВ П.Н., ЛИСИЦИНА И.О., РОДЮКОВ М.С. Разработка элетропотенциального преобразователя для дефектометрической оценки глубины близко расположенных трещин стресс-коррозионного происхождения.....	149
БЛИНОВ Е.И. Концепция пространственной модели подвески	151
БЛИНОВ Е.И. К вопросу определения положения полюса поворота в пространственной модели подвески	154
ГАРКУША Ю.А. Оценка максимальной температуры нагрева поверхности радионуклидных тепловыделяющих элементов.....	157

КАДОМКИН В.В. Расчет параметров рабочих процессов в устройствах калибровки газовых расходомеров	159
ГОЛОВАЦКИЙ М.В., ФЕТИСОВ В.О., КУШНИР А.П. Технологии управления насосными агрегатами динамического типа	162
НИКОЛЬСКАЯ О.С., КУШНИР А.П. 3D принтер как устройство ЧПУ	165
ЛУТЪЯНОВ А.В., СТРАМЦОВА Е.С. Особенности растачивания прерывистых отверстий на отделочно-расточных станках.....	167
МЕРКУЛОВ А.В. Обоснование параметров магнитогидродинамического элемента в контуре управления вращающегося объекта.....	169
МИНАЕВА Н.И., АРХАРОВА Н.Л. Импульсная лазерная сварка спеченных сплавов САС-1.....	172
ПИРУМОВ А.Р. Определение коэффициента интенсивности скорости деформации методом верхней оценки	173
ПРИВЕЗЕНЦЕВ В.И., МИНАЕВА Н.И. Импульсная лазерная сварка спеченного сплава на основе вольфрама с титаном.....	176
РОДЮКОВ М.С. Исследование применимости системы elcut для численного моделирования распределения напряжённости магнитного поля при контроле наружным проходным втп цилиндрических объектов	178
ФИЛАТОВА Н.В., ФИЛАТОВ А.А. Разработка устройства для безмоментной тарированной затяжки резьбовых соединений большого диаметра, применяемых в металлургическом оборудовании	180
ЧУНИХИН Н.Н. Некоторые особенности импульсной лазерной сварки тонколистового металла.....	182
АЛБАГАЧИЕВ А.Ю., ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ Е.В., КРАСКО А.С. Модель высокоскоростного резания стали ХН77ТЮР	184
ТРОФИМОВА Г.Н., ПОПОВА Л.В. Влияние упругости звеньев на точность позиционирования манипулятора для радиотерапии	186
ГУРОВ М.Н., МОСКОВКИН В.В., ЕГОРУШКИН Е.А. Оценка эффективности применения различных мероприятий для снижения расхода топлива у АТС	189
БЕЛОУСОВ И.В., БОРОВИК Т.Н. Воздействие присадочного материала на габариты сварной точки при импульсной лазерной сварке	193
ЛЕОНТЬЕВА А.С., ИЛЬИНСКИЙ М.Д. Повышение точности обработки на станках с ЧПУ при учёте погрешностей возникающих при обработке резанием.....	195
КРАСКО А.С., СТРАМЦОВА Е.С. Применение аддитивных технологий на современном этапе развития машиностроения	198

ПРИВЕЗЕНЦЕВ В.И., КУДРЯВЦЕВ И.В. Эффективность поглощения лазерного излучения при сварке эвтектических сплавов	200
МЫШЕЧКИН А.А., МИНИН А.В. Технологические особенности производства стальной проволоки для метизных изделий	202
СУББОТИН С.А., ОСАДЧИЙ В.Я., ГОЛОВИН В.В. Разработка технологий и освоение прокатки непрерывно-литой заготовки в трехвалковом стане цеха №5 ПНТЗ	205
ПЛЕШАКОВ В.В., ЕГОРУШКИН Е.А., ШУРПО А.Н., СИМАНОВСКИЙ С.М. Программное поверхностное пластическое деформирование деталей машин	209
ОСАДЧИЙ В.Я., РОДИН П.В., ДМИТРИЕВ В.Д. Совершенствование технологии и повышение качества сварных труб	212
СУРОВ М.В., АЛБАГАЧИЕВ А.Ю. Поворотный бесступенчатый вариатор для робототехники и экзоскелета	218
ВОЗНЕСЕНСКАЯ К.С. Актуальность применения информационных технологий в машиностроении	221
ЗАГОРНАЯ Е.О., ЗЕРНИЙ Ю.В. Использование методов оценки уровня качества продукции на этапе производства	223
КАРПОВ С. М., КОМАРОВ Д.И. Совершенствование технологии раскроя материала при операции вытяжки	226
АЛБАГАЧИЕВ А.Ю., КРЮКОВ А.И. Эндопротез тазобедренного сустава и его трибологические свойства	228
МОКАНУ А.А., КРАСКО А.С., БАРАНОВА Н.С. Сокращение трудоемкости изготовления деталей типа «блиск» за счет применения технологии электронно-лучевой плавки	231
АЛБАГАЧИЕВ А.Ю., ФЕДОРОВ М.С. Повышение эксплуатационных триботехнических характеристик узлов трения тормозной пары авиационных дисков	233
ЕРМИЛОВ Д.Ю. Методы обработки комплекса бортового оборудования летательного аппарата	238
ПОКИДЬКО Б.В., АЛИСИН В.В., РОЩИН М.Н., СИМАКОВА Г.А. Перспективные смазочные материалы для лубрикации тяжело нагруженных узлов трения	240
СЕКЦИЯ 4 «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»	244
БАГДАСАРЯН С.А., БАГДАСАРЯН А.С., КАЩЕНКО Г.А., КАЩЕНКО А.Г. Фундаментальные основы построения интеллектуальной системы комплексной безопасности критически важных объектов с применением технологий управления рисками и радиочастотной идентификации, функционирующей совместно с радиосетью	244
НИКОЛАЕВА С.О., БАГДАСАРЯН А.С. Размещение ПАВ-радиометок на объектах идентификации	249

СИНИЦЫНА Т.В., ГАРИФУЛИНА А.Т., ГРУЗДЕВ А.С., БАГДАСАРЯН А.С. Исследование эксплуатационных характеристик пав фильтров в условиях повышенной мощности входного сигнала	253
СИНИЦЫНА Т.В., БАГДАСАРЯН А.С., ДОРОФЕЕВА С.С. Высокочастотный фильтр на поверхностных акустических волнах на основе STW-кварца	256
СИНИЦЫНА Т.В., БАГДАСАРЯН А.С., ПРАПОРЩИКОВ В.В. Методы моделирования устройств на поверхностных акустических волнах	259
БАКАНОВ В.М. Программная система для разработки стратегий построения оптимального каркаса параллельных программ	261
ЮРИН В.Н. Управление качеством технологических машин на ранних стадиях проектирования: виды обратных связей	265
ВЛАСЕНКО А.Н., СТЕПАНОВ В.В. Использование среды BLEND4WEB для визуализации инженерных решений	268
ЖУРАВЛЕВ В.А., ЛАБУЗОВА Л.П. Комплекс тренирующих программ «Схема»	271
АЛЬШАКОВА Е.Л., АЛЬШАКОВА Е.А. Исследование возможности проектирования и расчета узлов с Autodesk Inventor	273
НАУМЕНКО Ж.Н., САГАТЕЛЯН Г.Р. Разработка программы синтеза многослойных оптических покрытий	275
ГАЛЕВСКИЙ Е.А. Математические модели фрикционного сцепления для расчёта работы буксования	278
ГОРДЕЕВА Г.В., БАЗАНОВ А.О. Автоматизация химико-технологического мониторинга водно-химического режима энергоблоков электростанций	281
ГОРДЕЕВА Г.В., МАШКОВ А.С. Внедрение приборного учета сточных вод на основе систем беспроводной передачи данных	283
СЕДАНКИН М.К., ХРОМОВ Д.А., АБИДУЛИН Э.Р. Микроволновая радиотермометрия почек	286
СЕДАНКИН М.К., НОВОВ А.А., АБИДУЛИН Э.Р. Трехканальная микроволновая антенна для урологии	289
ПОКРОВСКИЙ В.Н., ВАСИН А.О. Моделирование зоны видимости радиолокатора	291
СОЛОПОВ В.М. Разностная схема 10-го порядка для линейных ОДУ	294
ЗАЙЦЕВ Е.И. Организация, разработка и применение многоагентных банков знаний	301

БОРИСОВ С.П., БУНИНА Л.В., СТЕПАНОВА И.В. Построение моделей для оценки производительности протокола TCP с помощью теории массового обслуживания.....	303
ДЕМЕНКОВА Т.А., ФИНЕНКО А.А. Анализ и методика выбора алгоритмов для систем управления солнечными установками	306
ДЕМЕНКОВА Т.А., ЯРОВОВ Д.Д. Адаптация алгоритмов для аппаратной реализации	309
КИШКИН А. М., ШИШОВА А. Д. Дифференциальные уравнения ближнего следа	312
ПИРУМОВ А.Р. ПРУДКИН В.Е. Проблемы внедрения систем управления отношениями с клиентами (customer relationship management (crm)).....	314
БЕССУДНОВ В.В. Протокол для передачи видеопотока с поддержкой динамических субтитров.....	317
ХАЛАБИЯ Р. Ф., КАПУСТИН С.В. Основные проблемы развертывания сенсорных сетей	319
ЩЕРБАКОВ Г.Д. Использование информационных технологий в вопросах стандартизации в вертебрологии	322
ШМЕЛЕВА А.Г., ЛАДЫНИН А.И., БАХМЕТЬЕВ А.В. Некоторые аспекты формирования стратегических решений развития предприятия.....	325
ШМЕЛЕВА А.Г., ТАЛАНОВА А.В. Оценка инновационных технологий на основе когнитивного моделирования.....	328
БЕСЕДИНА С.А., БАЛАНДИН В.А. Кардиопортрет пациента по результатам статистического анализа параметров аритмии.....	330
ЛАБУЗОВ Д.Ю., ХАРЬКОВСКИЙ С.Е., ПЕТУХОВ А.М. FDM принтер на основе микроконтроллера ATmega	333
ЛОГИНОВ А.А., ЗБАНДУТ М.О. Разработка бота, рассчитывающего параметры эффективности системы массового обслуживания, для мессенджера «Telegram».....	335
МАРГАСОВ А.О. Применение искусственных нейронных сетей прямого распространения для классификации на основе анализа изображений	337
СЫРОЕЖКО А.А. Проектирование библиотеки для трёхмерной визуализации	339
ЧЕСНОКОВ В. Ю. Метод определения диапазона значений многомерной функции в зависимости от диапазонов изменения аргументов.....	342
АНДРИЯНОВА А.А., КОМЯКОВА К.Б., ТОРЧИНСКАЯ А.В. Измерения функции внешнего дыхания человека с помощью чувствительного жидкокристаллического преобразователя воздушного потока.....	345

СЕДАНКИН М.К. Многоканальный микроволновый радиотермометр	348
ЕРОХИН Б.Т., СИНЯКОВ А.Э., ЕРМОЛАЕВ А.Ю. Критерии качества рпврдгт летательного аппарата	351
ЕРОХИН Б.Т., СИНЯКОВ А.Э., БОНДАРОВИЧ И.С. Математическая модель системного проектирования энергосистем Ла	354
КОГАН Д.И., ФЕДОСЕНКО Ю.С. К проблеме определения реальности директивныхсроков для двухстадийной системы обслуживания	357
СЕКЦИЯ 5 «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ, ПРИКЛАДНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ».....	360
ВЕСЕЛОВ В.М., ЕВДОКИМОВ В.Д. О рамках применимости важных эмпирических законов на примере нарушения в гравитационном поле известного закона теплообмена	360
ВЕСЕЛОВ В.М., ЕВДОКИМОВ В.Д. Простые уточнения теории теплопроводности газов, согласующие её с известными экспериментальными и наблюдательными данными в тропосфере.....	367
КРЫЛОВА М.В., ДЕРГУНОВА Е.А., АЛИЕВ Р.Т., ЗУБОК Е.А., ЦАПЛЕВА А.С., АЛЕКСЕЕВ М.В., АБДЮХАНОВ И.М, ФИГУРОВСКИЙ Д.К. Фазообразование интерметаллического соединения nb_3sn в сверхпроводниках с повышенной токонесущей способностью	379
ДЕМЕНКОВ Н.П., ЧАН ДИНЬ МИНЬ Основные погрешности волнового твердотельного гироскопа.....	386
МИКАЕВА С.А. Улучшение ультрафиолетовых разрядных ламп.....	389
ВИКУЛИН А.В., ЗЕМЛЯНАЯ В.А. Разработка сопловой лопатки турбины высокого давления с перспективной системой охлаждения с целью повышения ресурса и надежности работы газотурбинного двигателя	392
ЗАХАРОВ Ю.В., МИХАЙЛОВ Д.Н. Особенности технологии разработки биотехнической системы для научных исследований планет	396
ПАСЕЧНИК С.В., ШМЕЛЕВА Д.В., МАКСИМОЧКИН Г.И., ФИЛИППОВ В.К. Акустические и оптические свойства полимерных пористых пленок, заполненных жидким кристаллом	399
ФИЛИНОВ В.В., КУНИН Н.Т. Разработка и внедрение информационно-измерительной системы в технологиях неразрушающего контроля физико-механических свойств изделий из ферромагнитных сталей.....	401
БИРЮКОВ В.П., ТАТАРКИН Д.Ю., ХРИПТОВИЧ Е.В., ФИШКОВ А.А. Определение износостойкости и прочности сцепления покрытий, наплавленных лазерным лучом	404
БИРЮКОВ В.П., ФИШКОВ А.А. Влияние режимов лазерной обработки на размеры наплавленных валиков	407

ДАНИЛОВ В.Д., ОЛИФИРОВ Л.К. Трибология контакта полимерматричного композита с жёсткой поверхностью.....	409
ЗАМЯТИН А.В., ГОРДЕЕВА Г.В. Комплексная методика контроля состояния трубопроводов тепловых сетей г. Москвы.....	411
ЛИВШИЦ В.Б., КУШНИР А.П., МАМЕДОВА И.Ю. Об особенностях изготовления антифрикционных втулок методом литья под низким давлением ..	416
МАКОВ П.В. Актуальность использования автоматической системы управления уравниванием двигателей внутреннего сгорания.	419
МАКОВ П.В. Использование двухмассовой модели автомобиля для анализа сил инерции и реактивного момента двигателя внутреннего сгорания.	421
НИКОЛАЕВ Ю.Л., ШКАТОВ П.Н., ЧЕРНОВА А.В., САМОУКОВ А.А. Проектирование виброиндукционных преобразователей для магнитного контроля	424
ПУХАЛЬСКИЙ В.А., ЗАБЕЛЬЯН Д.М., СЕЛИВАНОВСКИЙ И.Е., КИРСАНОВ О.А. Разработка методики определения влияния стеснённости схода стружки на силы резания	427
ТЕРНОВЫХ А.М., ФИГУРОВСКИЙ Д.К., ЮДИН Г.А. Программный модуль по измерению структурных параметров твердых сплавов	429
ХОЛИН Н.Н., ГОЛОВЕШКИН В.А., КОНСТАНТИНОВ А.Н., ТРОФИМОВА Г.Н. Разрушение метеороида из-за неравномерности распределенной температуры при его движении в атмосфере	431
СКВОРЦОВ О.Б., ТРОИЦКИЙ О.А., СТАШЕНКО В.И., ПРАВОТОРОВА Е.А. Генерирование ударных колебательных процессов в металлических проводниках при пропускании импульсного тока	434
НАДЕИН В.А., ПУЧКОВ В.Н. Применение и трибологические свойства фрикционных маятниковых подшипников - сейсмоизоляторов	436
БУЯНОВСКИЙ И.А., ЛЕВЧЕНКО В.А., БОЛЬШАКОВ А.Н., МАТВЕЕНКО В.Н. Монокристаллический углерод как покрытие стальных деталей для повышения смазочной способности масел	439
БОЙЧУК М.И., МИКАЕВА С.А. Сборка термокомпенсированных кварцевых генераторов	442
КУРНАСОВ Е.В., МАЛЫШКИН А.Б. Технология получения этилена полимеризационной чистоты при каскадно-автоматическом способе управления процессом гидрирования.	445
ЗАМУЛА В.А., ВИГДОРОВИЧ Е.Н. Некоторые вопросы проектирования реперных знаков	448
ПРИВЕЗЕНЦЕВ В.И., НОВИКОВ И.И., ЁЛКИН В.Н. Модернизированная технология сварки в газосотате детали шагового двигателя.....	450

НОВИЧКОВ А.А. На базе машинного эксперимента, определение высоты формируемой шероховатости, при накатывании шариком	453
ПРИСТАВКО Д.П. Внедрение новой Системы Электронного Документооборота на предприятии	455
РЫБАКОВА А.О., ВИГДОРОВИЧ Е.Н. Широкозонные полупроводники для приборов экстремальной электроники	458
ТАРАСОВА В.А. Гибкий подход к групповому методу обработки на основе математической модели производственной среды.....	460
ФОМИН А.Ю., КУРИЦЫНА В.В. Выбор антикоррозионного покрытия корпусных элементов специальных изделий методом экспертных оценок	463
ЧУХЛОВИНА Т.В., ИВЛЕВА Л. И., ДУНАЕВА Е.Э. Модифицированные кристаллы ВГО: получение и свойства	466
ШУМАНОВ А.В., КАПУСТИН В.И., ЛИ И.П. Технологии синтеза перспективных компонентов скандатных катодов СВЧ-приборов.....	467
ЧХЕТИАНИ П.Д., ЩЕРБАКОВ Ю.И., БАРМИНА О.В., НОВИКОВА Н.Н. Триботехнические испытания поверхностей высокой и особо высокой износостойкости	470
ГАНЕНКО А.С., ХМИЛЕВСКИЙ М. В. Вейвлет-анализ и визуализация медицинских сигналов	473
СЕКЦИЯ 6 «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН»	475
ЕРШОВ М.Ю., ПОЛИКАРПОВА И.А., ЛУКАШИК К.А. Разработка метода проектирования модельной оснастки для управления частотными характеристиками колоколов	475
ЖУКОВ В.Л., НИКОЛЕНКО С. В., ЗАБЛОЦКАЯ Е. В. Культурный код в темпоральных мирах теории дизайна.....	478
ЖУКОВ В.Л., ЖУКОВА Л. Т., СМИРНОВА А. М. Самоорганизация и внешнее управление созданием образов объектов дизайна и технологическими процессами художественной обработки материалов в киберпространстве	487
СОКОЛОВА М.Л. Некоторые особенности экспертизы в дизайне.....	492
КОМИССАРОВА Л.А., МАКАРОЧКИНА Е.В. Роль дизайна как средства организации универсальной среды для обучения и социализации детей с особенностями развития	495
ИВАНОВА О.В., КАЗАКОВА Н.А. Рациональный выбор изделий интерьерного текстиля с позиции эмоциональной ориентации	497
АККУРАТОВА О.Л., РОГАНОВА Д.А. Компьютерные технологии в создании концепт-арта	500

УТОЧКИНА Е. М., АККУРАТОВА О.Л. Разработка графического наполнения для внедрения в компьютерную игру	503
МАКШАНЧИКОВ И.А., ГОЙ М.В., ДРЮКОВА А.Э. Анодное электрохимическое оксидирование титанового сплава ВТ-20.....	506
ХОЛИН Н.Н., ГОЛОВЕШКИН В.А., КОНСТАНТИНОВ А.Н. Температурные напряжения в толстостенной сферической оболочке светильника.....	508
ДРАГУНОВА Е.П., БОЙКО Ю.А. Изменение свойств художественных красок посредством введения кристаллического составляющего	510
КОБЗЕВ Д.С., ЛИВШИЦ В.Б. Технология формообразования пустотелых художественных отливок с использованием жидкой формовочной смеси.....	513
КУЗНЕЦОВА Н.А., ЧЕРНЫХ М.М. Анализ параметров производственных систем изготовления игрушки	515
КОДЗАЕВА М.Б., МАМЕДОВА И.Ю., ЛИВШИЦ В.Б. Символические модели древней Осетии как основной элемент дизайна современной сувенирной продукции.....	517
СОКОЛОВА М.Л., СМИРНОВ Д.А. Особенности разработки приклада для арбалета с использованием 3D технологий и генеративного дизайна.....	520
СОКОЛОВА М.Л., ЖИГУНОВА А.И. Проблемы и особенности проектирования украшений-трансформеров.....	522
СОКОЛОВА М.Л., АФРЕМОВА И.Б. Дизайн московского метро	525
СОКОЛОВА М.Л., МИЛЬЧАКОВА Н.Е., ЛЕГОШИНА А.А., АБДУЛАЕВА К. Универсальный дизайн московских автобусов	528
МИЛЬЧАКОВА Н.Е., ОСТАПЧУК В.В. Атоматизация процессов дизайна в лазерном декорировании внутри стекла.....	529
ДРЮКОВА А.Э., ПОДКОРЫТОВ М.А. Технологические приемы крепления неметаллических вставок в кованые изделия	531
ДРЮКОВА А.Э., ПУСТЫГИН А.А. Особенности технологических процессов изготовления рукоятей луков	534
ДРЮКОВА А.Э., МИТИН Г.С. Особенности разработки мебельных трансформируемых конструкций.....	536
ГОЙ М.В., МУСТАФАЕВА Ю.Ф. Основные тенденции современного промышленного дизайна.....	539
КАЗАЧКОВА О.А., КУЛИШОВА Е.А. Создание ювелирных изделий, дизайн которых основан на точном воспроизведении формы и фактуры природных объектов	542

КАЗАЧКОВА О.А., ДЫГИН А.В., ГОЛУБКОВА Е.А. Экодизайн как эффективный инструмент для проведения редизайна зон комфортного пребывания в высших учебных заведениях.....	545
ЗЯБНЕВА О.А., ГЛАЗУНОВ М.К. Творчество Эшера в работах современных дизайнеров.....	549
ЗЯБНЕВА О.А., БРАТИЩЕВА Ю.И. Эстетика рельефно-точечного шрифта Брайля и его применение в системе орнаментального оформления.....	551
БЕРЕСТНЕВ А.А., ГРЯЗНОВА П.В., БОЛДЫРЕВА Г.А. Универсальный стеллаж.....	553
ГАЛИЦКАЯ О.М., ГЕРАСИМОВА Н., ДЕДИК А., КИЗЬ С., ТАРАЩАНСКИЙ Г. Эргономика кухни с учетом принципов универсального дизайна.....	555
ДИКАЯ А.В., МОНДЗЕЛЕВСКАЯ О.В., МАТЕВОСЯН А.А., ТЕРНОВАЯ А.А. Дизайн остановки общественного транспорта.....	558
ДУДКИНА Д.Е., СТАРЦЕВА М.Н. Разработка конструкции и дизайна интерьерного светильника.....	560
КАБАНОВ И.А., НИКИТИНА А.А. Проект автобусной остановки.....	562
КОНОВА С.С., ДУДИНА Д.Д., САМОЙЛОВА Д.А. Переустройство парка на основе принципов универсального дизайна.....	564
КУРЬЯНОВА В.В. Применение технологии компьютерного станочного гравирования в дизайне сувенирной продукции	566
ПЕРЕКАЛЬСКИЙ М.О. Концепт остановки общественного транспорта.....	569
СЕМЕНОВА Л.А., ТИМОФЕЕВА Д.С. Дизайн кофе-автомата с учетом требований универсального дизайна.....	571
ТАКТАМЫШЕВА Р.Ш., ЧУМАКОВА С.А., СИДЮК А.И. Дизайн планшета для работы с документами.....	573
ХЛЫНИН Д.В. Универсальный лифт.....	575
АСОНОВ А.С. Складной велосипед.....	576
ИВАНОВА А.В., КРЫКАНОВ В.В. Универсальный банкомат.....	579
ШЕМРИКОВИЧ О.М. Оснащение метрополитена специальными устройствами для сбора мусора.....	581
КОМИССАРОВ С.А. Возникновение дефектов стекла в процессе изготовления изделий, с использованием технологии фьюзинг.....	582

МАМЕДОВА И.Ю., МАРТЫНОВ М.А.
Изготовление ювелирных изделий со встроенным механизмом путем печати металлом 585

РАССАДИНА С.П., ГОЙ М.В.
Критерии оценки эффективности визуальной пространственной среды универсального кампуса... 588

СЕКЦИЯ 7
«ЭЛЕКТРОНИКА И ОПТИКА» 591

ЕЛШИН А.С., МИШИНА Е.Д.
Лазерно-индуцированная кристаллизация сегнетоэлектрических микроструктур в тонких пленках PZT 591

ЗАДЕРНОВСКИЙ А.А., ЩЕРБАКОВ В.В., СОЛОДКОВ А.Ф.
Дисперсионные искажения аналоговых сигналов в микроволновых волоконно-оптических линиях связи 593

ФЕТИСОВ Л.Ю., ЧАШИН Д.В., САВЕЛЬЕВ Д.С., ПЛЕХАНОВА Д.Д.
Линейный магнитоэлектрический эффект в композитной структуре аморфный сплав – арсенид галлия 596

ХУСЯИНОВ Д.И., БИЛЫК В.Р., БУРЯКОВ А.М., ШЕРСТЮК Н.Э., МИШИНА Е.Д. Исследование влияния искусственно созданных деформаций в буферном слое гетероструктуры с активным слоем $In_{0,38}Ga_{0,62}As$ на процессы генерации носителей тока под воздействием ультракоротких лазерных импульсов для сверхвысокочастотных устройств обработки информации 598

ГУЩО Ю.П., ГУЩО М.А., БУРАГА А.В.
Фазовый модулятор света «Рельеф» и его применения 600

ГУЩО Ю.П., ГУЩО М.А., КУЗНЕЦОВ В.В.
Встроенный пикопроектор 603

БУРАГА А.В., ГУЩО Ю.П., ДЕГТЯРЕВА М.Ю.
Лидар на базе фазового модулятора света «Рельеф» 606

ШНЯКИН А.А., ПЕВЦОВ Е.Ф.
Технологическая коррекция топологических решений сложнофункциональных блоков многоканального АЦП для КМОП матричных приемников излучения 608

БУРДИН Д.А., ЧАШИН Д.В., ЭКОНОМОВ Н.А., ФЕТИСОВ Ю.К.
Нелинейное преобразование шума в магнитоэлектрических структурах 611

САТЕЕВ Е.Г., БОЕВСКИЙ В.И., ЕГОРОВ А.Д., АНДРУЩАК Е.А.
Разработка аппаратно-программного комплекса для обнаружения событий кризисного и экологического характера путем совместной обработки телевизионного и тепловизионного сигналов 612

ЗИВЕНКО Н.О., БУРАГА А.В., ПОПОВИЧ Т.Г., ГУЩО Ю.П.
Оптическая система передачи данных БЛА-земля 614

БОЛОТОВА А.А., ЗВЕРЖХОВСКИЙ В.Д., ВЫШЕНСКАЯ Т.В., КРЕТУШЕВ А.В., ЕВДОКИМОВ А.А.
Информативность фазовых изображений биологических клеток 616

ЗВЕРЕВ М.М., ГАМОВ Н.А., ЖДАНОВА Е.В., СТУДЕНОВ В.Б.
Полупроводниковые излучатели с накачкой электронным пучком 619

ЛЫСИНА Е.А., ЮРАСОВ А.Н. Магнитооптические эффекты в нанокompозите $CoSiO_2$	622
ИЛЬИН Н., РАЗДОЛЬСКИЙ И., АЛЁХИН А, МЕЙБУРГ Ж.-П., РОДДАТИС В., ДИСИНГ Д., БОВЕНСИПЕН У., МЕЛЬНИКОВ А. Возбуждение спиновых волн, индуцированное сверхбыстрым транспортом спин-поляризованных носителей в структуре Fe/Au/Fe.	628
БИШАЕВ А.М., ГАМОВ Н.А., ДЕСЯТСКОВ А.В., ЗВЕРЕВ М.М., КОЗИНЦЕВА М.В., ВОРОНЧЕНКО С.А., САЗОНОВ П.Г. Применение метода ионного распыления для изготовления лазерных сборок	632
СТЕРЛЯДКИН В.В, КУЛИКОВСКИЙ К.В. Метеорологическая калибровка ветрового профайлера для космодрома Байконур	633
КОЛЕСНИКОВА Т.Г., ЮРЬЕВ А.С. Проведение рентгеноспектрального анализа после плазмохимического травления алюминия	636
ОГАНЕСЯН О.Э. Исследование и разработка прецизионного LDO-регулятора на основе элементной базы БМК серии 5400TP01	639
АБРОСИМОВ И. Н., БАШКАТОВ И.П., КУЗНЕЦОВ В. В., ТОЧИНСКИЙ Е. Г. Схемотехническая оптимизация рабочего режима фототранзисторного приемника	641
АБРОСИМОВ И. Н., КУЗНЕЦОВ В. В., ОСИНЦЕВ О.Н. Анализ параметров электромагнитного излучения, модулированного сигналами с периодическим и цилиндрическим пространственными распределениями	643
ФЕДУЛОВ Ф.А. Использование нелинейного магнитоэлектрического эффекта в композитной структуре «ферромагнетик-пьезоэлектрик-ферромагнетик» для исследования спектра переменных магнитных полей.	647
ДАВЫДОВ В.А., КОРОБКИН Ю.В. Исследование динамики переполяризации сегнетоэлектриков методами переключения внешнего поля и лазерного воздействия	648
КОРОБКИН Ю.В., РОМАНОВ И.В. О возможности создания импульсного источника заряженных частиц и рентгеновского излучения на основе лазерно-плазменного диода для современных технологий	652
КОРОБКИН Ю.В., РОМАНОВ И.В. О физике процессов и характеристиках сегнетоэлектрического источника электронов при воздействии импульсных электрических полей и лазерного излучения	654
КОРОБКИН Ю.В., РОМАНОВ И.В., ПАПЕРНЫЙ В.Л., ГОРБУНОВ С.П. Лазерно-плазменный диод как прообраз движителя для коррекции орбиты малых космических аппаратов.	659
Трибельский М.И. Физические основы для использования частиц с большим коэффициентом преломления в качестве многофункциональных элементов оптических сетей.	665
ЩУКА А.А. Новые носители информации- перспективные направления нанотехнологий	666

ПЛЕНАРНЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ

УДК 621.895

КОМПАНИЯ «NANOPLUS LTD» – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР МОСКОВСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Лу Хунг-Ту¹, «Nanoplus Ltd.»,
д.т.н., профессор;
Кондратенко В.С.², д.т.н., профессор;
Рогов А.Ю.²

¹Компания «Наноплюс» (Тайвань)

²Московский технологический университет

© Автор для переписки: Кондратенко В.С.
e-mail: vsk1950@mail.ru

В статье приведен пример успешного многолетнего сотрудничества между Московским технологическим университетом и известными тайваньскими высокотехнологичными компаниями «Фоксконн» и «Наноплюс» в области научных исследований и обмена специалистами. Приведены примеры взаимовыгодного международного трансферта технологий: лазерного управляемого термораскалывания стекла и сапфира, теплопроводных полимерных композитов, щелочно-ионизированной воды.

Ключевые слова: лазерное управляемое термораскалывание; теплопроводные полимерные композиты; щелочно-ионизированная вода.

COMPANY «NANOPLUS LTD.» - STRATEGIC PARTNER OF MOSCOW TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Lu Hung-Tu¹;
Kondratenko V.S.²;
Rogov A.Yu.²

¹Company «Nanoplus Ltd.» (Taiwan)

²Moscow technological university

The article gives an example of successful long-term cooperation between the Moscow Technological University and the well-known Taiwan high-tech companies "Foxconn" and "Nanoplus" in the field of research and exchange of specialists. Examples of a mutually beneficial international transfer of technologies are given: laser controlled thermo cracking of glass and sapphire, heat-conducting polymeric composites, alkaline-ionized water.

Key words: laser controlled thermal dissociation; heat conducting polymeric composites; alkaline-ionized water.

Тесное партнерское сотрудничество с тайваньской компанией «Фокс-конн» (Тайвань), ставшей в 2012 году материнской компанией «Наноплюс» (Тайвань), началось в 2006 году с момента подписания двух документов: договора о научно-техническом сотрудничестве с Московским государственным университетом приборостроения и информатики (МГУ-ПИ) и сертификата о назначении профессора Кондратенко В.С. научным консультантом компании. Договор о сотрудничестве предусматривал не только совместное участие в выполнении научно-исследовательских работ, но подготовку и обмен специалистами, проведение стажировки аспирантов и научных сотрудников. С тех пор в компании «Фоксконн» и «Наноплюс» стажировается и работает ежегодно до трех наших выпускников, аспирантов и специалистов, что является очень важным фактором в системе обучения и уровня научных исследований нашего университета.

Вначале хотелось бы немного рассказать о тайваньских компаниях «Фоксконн» и «Наноплюс».

Компания Foxconn - это торговое название тайваньской фирмы Hon Hai Precision Industry Co. Ltd. (коммерческое обозначение Foxconn Technology Group). Foxconn основана в 1974 году, является крупнейшим в мире производителем электроники и входит в десятку крупнейших работодателей в мире [1]. Первой продукцией компании были различные изделия из пластмассы (в частности, разъёмы), к настояще-

му времени у компании имеются производства в США, Великобритании, Японии, Китае и других странах.

Foxconn производит по заказу компании Apple такие известные гаджеты как iPhone, iPad, MacBook, iPod, также компания производит продукцию и комплектующие в интересах известных международных корпораций Microsoft, Sony, HP и IBM. На данный момент на заводах Foxconn работает более миллиона человек, а годовой оборот превышает \$130 млрд., причем компания не собирается останавливаться и продолжает наращивать производственные мощности. В услугах Foxconn по-прежнему заинтересованы многие крупные корпорации, которых устраивает качество и количество производимых комплектующих [2].



Рис. 1. Награждение президента компании «Nanoplus Ltd.» доктора Лу Хунг-Ту ректором МИРЭА Куджем С.А. нагрудным знаком «Почетный работник МИРЭА» 3 степени «За активную деятельность в области научных исследований и значительный вклад в дело подготовки высококвалифицированных специалистов»

Компания «Nanoplus Ltd» (Тайвань), как партнер «Foxconn Technology Group» выполняет широкий круг задач в интересах материнской компании. Одним из главных направлений деятельности «Nanoplus Ltd.» (Nanoplus) является выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и внедрению новейших технологий, также Nanoplus производит расходные материа-

лы и комплектующие, выполняет работы в интересах материнской компании и других потребителей международного рынка.

Nanoplus – успешная, динамично развивающаяся компания, ее президент д.т.н., профессор Лу Хунг-Ту яркий пример бизнесмена, который свой бизнес строит на освоении и внедрении самых передовых инновационных технологий мирового уровня. Доктор Лу Хунг-Ту частый гость в России, постоянный участник научно-технических конференций и других мероприятий Московского технологического университета. В его компании успешно трудятся и решают высокотехнологичные научные задачи аспиранты и выпускники Физико-технологического института МИРЭА – ученики профессора Кондратенко В.С.

В 2016 году за активную деятельность по развитию международного сотрудничества президент компании «Nanoplus Ltd.» доктор Лу Хунг-Ту был отмечен рядом наград Московского технологического университета:

- награжден ректором МИРЭА Куджем С.А. нагрудным знаком «Почетный работник МИРЭА» 3 степени «За активную деятельность в области научных исследований и значительный вклад в дело подготовки высококвалифицированных специалистов» (рис. 1);

- за активную деятельность в области научных исследований и выдающийся вклад в разработку и продвижение высоких технологий решением Ученого Совета Физико-технологического института от 17 ноября 2016 года, протокол № 3, академику Международной академии технологических наук, президенту компании «Nanoplus Ltd.», доктору Лу Хунг-Ту присвоено звание «Почетный профессор Физико-технологического института Московского технологического университета» с вручением Диплома «Почетный профессор Физико-технологического института Московского технологического университета».

История развития взаимовыгодного международного трансфера технологий с компанией «Фокскон», а позже и «Наноплюс» берет свое начало в 2006 году, когда на основании патентной лицензии [3] про-

фессор Кондратенко В.С. со своими учениками начал внедрять технологии лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) в производственные процессы «Foxconn Technology Group». Первоначальной задачей являлось разработка процесса резки и снятия фаски в одном технологическом цикле методами ЛУТ для экранов мобильных устройств. В результате был разработан новый способ притупления острых кромок изделий из хрупких неметаллических материалов с помощью лазерного излучения [4,5].

На рис. 2 показано лазерное технологическое оборудование для обработки стекла в производстве экранов мобильных устройств и дисплейных панелей.

В качестве примера, на рис. 3а представлена фотография вырезанного на данном оборудовании методом ЛУТ экрана i-Pad с элементом отделенной фаски.

Внешний вид элемента экрана (рис. 3б) демонстрирует высокое качество бездефектной кромки реза методом ЛУТ, что в итоге повышает прочность вырезанного экрана (рис. 3в) по сравнению другими способами резки [6].

За 8 лет, созданный в 2006 году центр исследований и разработки лазерных технологий компании Foxconn, вырос до трехсот человек. В общей сложности центр исследований разработал более ста комплектов оборудования для обработки изделий из стекла и других хрупких неметаллических материалов для процессов резки, снятия фаски, сверления отверстий, гравировки, полировки и других техпроцессов. При решении технологических за-

дач всегда рассматривается мульти подход при обработке одной детали различными технологиями, чтобы получить максимальный результат качества, удовлетворяющий заказчика.



а)

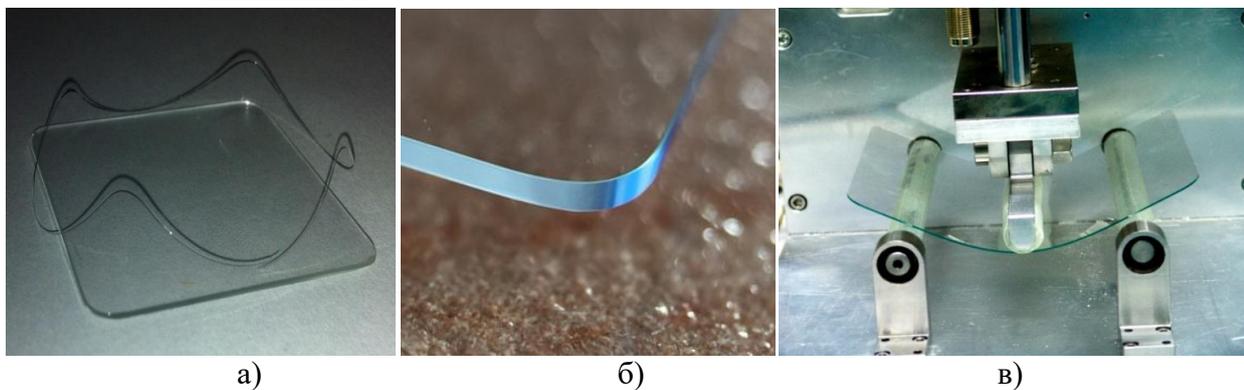


б)

Рис. 2. Лазерное техническое оборудование GLCM-810A.

а) фрагмент производственного участка;

б) лазерный технологический комплекс



а)

б)

в)

Рис. 3. Экран i-Pad с элементом отделенной фаски (а), увеличенный (60х) элемент кромки экрана (б), испытание экрана на поперечный изгиб (в)

С 2012 года и компания Nanoplus также активно включилась в решение высокотехнологических задач методом ЛУТ [7]. В рамках данной статьи, невозможно подробно описать все технологии, которые удалось развить двум компаниям, представим некоторые из них.

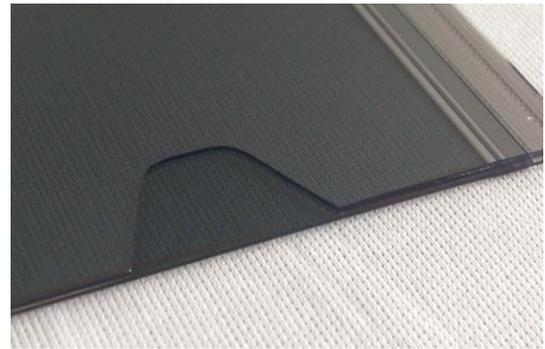


Рис. 4. Вырезание углублений свободной формы в жидкокристаллических экранах с активной матрицей (TFT)

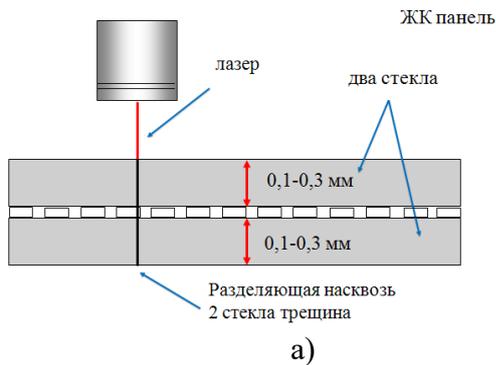


Рис. 5. Схема резки в одном технологическом цикле двухслойных стеклянных ЖК-панелей (а) и фотография кромки (б)

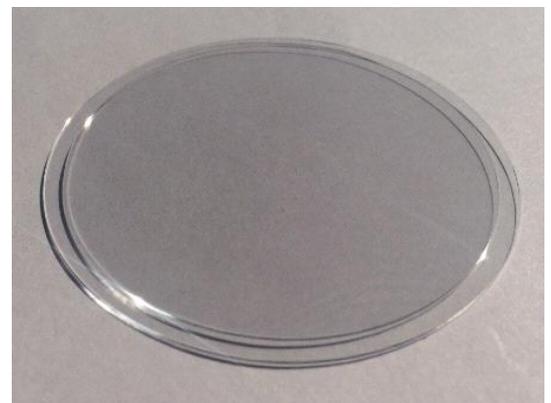


Рис. 6. Резка сапфировых защитных экранов по криволинейному контуру с чередующимися прямыми и криволинейными контурами (а) и круглых экранов для часов Ice-Watch (б)



Рис. 7. Резка узких сапфировых подложек (а) для светодиодных ламп нового поколения (б)

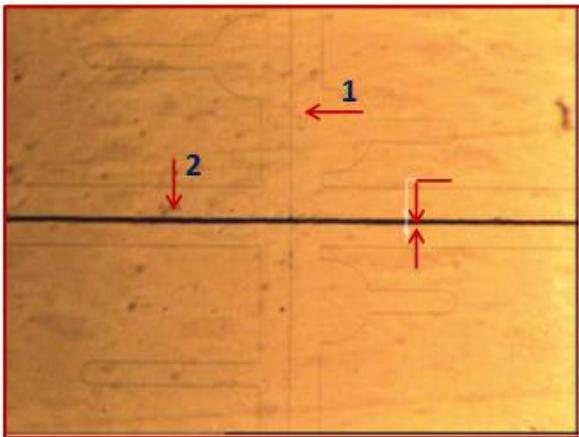


Рис. 8. Резка приборных пластин из сапфира на кристаллы световозлучающих диодов: 1 - линии реза пластины в первом направлении; 2 - линии реза во втором направлении с предварительным надрезом УФ-лазером

Используя зарубежный практический опыт применения метода ЛУТ, основываясь на лицензионном договоре с патентообладателем Кондратенко В.С., в 2014 году компанией ООО «НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ» (г. Зеленоград) была построена первая российская промышленная установка МЛП1-1060/355 (рис. 9) для прецизионной резки подложек из сапфира и других хрупких неметаллических материалов, таких как кремний на сапфире, кварц, керамика, полупроводниковые материалы [8].



Рис. 9. Российская установка для резки приборных пластин на кристаллы МЛП1-1060/355

Научные исследования и практические работы, выполняемые в Физико-технологическом институте МИРЭА на установке МЛП1-1060/355, открыли новые возможности по развитию метода ЛУТ в России и за рубежом [9].

Другая российская технология, которая заинтересовала уже компанию Nanoplus – технология производства свехвысоконаполненных теплопроводных полимерных композитов с теплопроводностью, на порядок превышающей ее значения у современных пластмасс и позволяющая создавать инновационные системы охлаждения современных светодиодных кластеров [10].

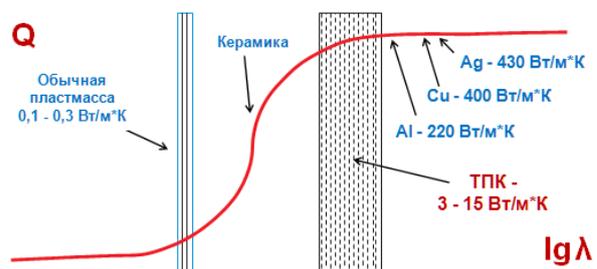


Рис. 10. Теплорассеивающая способность различных материалов в условиях естественного охлаждения

За короткий срок с 2013 по 2014 год в г. Шэньчжэнь провинции Гуандун (Китай) был построен высокотехнологичный завод по производству теплопроводных полимерных композитов (ТПК) и светодиодных светильников на их основе.

Материалы, используемые в радиаторах охлаждения большинства светодиодных светильников должны удовлетворять двум основным требованиям:

1. Обладать теплопроводностью λ , необходимой и достаточной для переноса к поверхности радиатора и рассеяния в окружающее пространство количества тепла Q , которое требуется отвести от светодиодного кластера для обеспечения требуемого теплового режима его работы. Расчёты, и многочисленные эксперименты показывают, что в условиях естественного охлаждения (рис. 10) высокие значения теплопроводности λ таких материалов как алюминий, медь и серебро [11] не дают существенного прироста величины рассеи-

ваемого тепла Q , так как ограничителем его отвода является окружающий воздух. Оптимальными для радиаторов охлаждения, работающих в этих условиях, т.е. без вентиляторов обдува, являются материалы с теплопроводностью 6-7 Вт/м*К [12].

2. Обработываться с помощью технологий, обеспечивающих высокую точность, соизмеримую с точностью изготовления самих светодиодных кластеров, а также иметь невысокую себестоимость в условиях массового производства.

Производимые в Шэньчжэне ТПК обладают близкой к алюминию (на уровне 90–95%) теплорассеивающей способностью при естественном охлаждении и радиаторы из этих композитов, одинаковые по форме и размерам с алюминиевыми, почти в два раза легче и по себестоимости в 3–5 раз дешевле. Обладая такими конкурентными преимуществами светодиодные светильники компании Nanoplus (рис. 11) успешно завоевывают мировые рынки.



а)



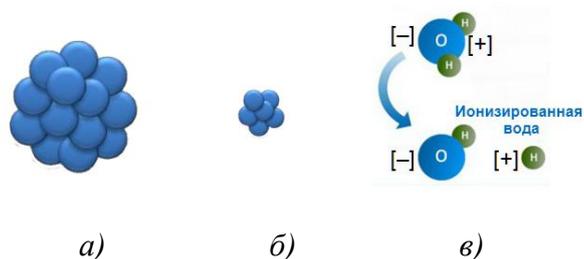
б)

Рис. 11. Светодиодные светильники компании Nanoplus: а) маломощные; б) высоко-мощный светильник и радиатор охлаждения из ТРП

Российские технологии, в особенности в области высокопроизводительной прецизионной резки хрупких неметаллических материалов методом ЛУТ, внесли существенный вклад в развитие технологических процессов компаний Foxconn и Nanoplus, что позволяет им производить высоко конкурентную продукцию мирового уровня. Динамично развивающийся бизнес обеспечивает финансирование НИОКР, создает условия для приобретения передовых инновационных технологий и в других странах.

Наиболее ярким примером такого приобретения является покупка прав компанией Nanoplus на японскую технологию получения nano ионизированной воды. Разработав и запатентовав собственное оборудование по ее производству, Nanoplus начала в промышленных масштабах выпуск nano ионизированной воды под своим коммерческим названием NSIW – Nano Super Ion Water.

NSIW формируется электролитическим способом из подготовленной водопроводной воды. При электролизе, первичные кластеры воды, обычно состоящие из 15-20 молекул, разрушаются, и происходит формирование новых меньших по размеру (4-6 молекул), но более активных кластеров H_2O . Также в процессе ионизации молекулы воды расщепляются на отрицательно заряженные ионы гидроксидов $[OH^-]$ и на положительно заряженные ионы водорода $[H^+]$ (рис. 12).



а)

б)

в)

Рис. 12. Электролитический способ производства nano ионизированной воды, кластеры обычной водопроводной воды - 15-20 молекул H_2O (а), кластеры NSIW - 4-6 молекул H_2O , в процессе ионизации молекула воды расщепляется на отрицательно заряженный ион гидроксидов $[OH^-]$ и на положительно заряженный ион водорода $[H^+]$ (в)

Концентрация ионов водорода H^+ в NSIW определяет ее значение pH ($12,5 \pm 0,3$). Несмотря на сильнощелочной показатель pH, нано ионизированная вода, в отличие от щелочной воды, образованной каустической содой или другими едкими щелочами, чистая на 99.83% вода, не вызывает раздражение кожи и химических ожогов.

Экспертизу и сертификацию NSIW на безопасность проводила швейцарская компания SGS, являющаяся мировым лидером в этой сфере. Испытания подтвердили, что нано ионизированная вода является безопасной, экологичной и безвредной для человеческого организма и окружающей среды.

Как показали исследования в различных областях применения, NSIW обладает уникальными свойствами, а именно:

- является мощными очистительным и дезинфицирующим средством;
- уничтожает различные виды грибов и бактерий;
- устраняет неприятные запахи;
- обладает антикоррозийными свойствами;
- не содержит синтетических химических веществ и ПАВ;
- имеет длительный срок хранения – 1 год, в герметичной таре, без воздействия прямых солнечных и ИК лучей и колебаний температуры.

Нагрев нано ионизированной воды до $40 \sim 90$ °C, увеличивает ее активность.

Несмотря на то, что NSIW на рынке всего около года, она с каждым днем завоевывает все новые и новые сферы применения, как в промышленности, так и в быту.

Основные промышленные применения NSIW в настоящее время:

- очистка металлообрабатывающего оборудования и готовых изделий от остатков СОЖ;
- очистка шлифовально-полировального оборудования;
- очистка готовых изделий в оптико-электронной промышленности;
- в качестве разбавителя (рабочего раствора) для СОЖ;

- для создания водяных завес в конвейерном покрасочном производстве;

- в качестве рабочего тела в системах очистки отработанных промышленных газов от вредных компонентов;

- в качестве клинингового средства для промышленных предприятий, лечебных учреждений, общественных мест.

Применения NSIW в бытовой сфере:

- в качестве дезинфицирующего средства индивидуального пользования (во флаконах распылителях);

- в ультразвуковых увлажнителях воздуха для очистки воздуха в помещении от пыли, посторонних запахов и вредных микробов;

- в распылителях для салонов автомобилей для тех же целей.

Примером перспективной сферы применения и инновационного использования свойств NSIW, является применение нано ионизированной воды в виде нано- микропузырьков в установке для очистки дымовых газов, структурная схема процесса очистки которой показана на рис. 13.

Инновационное решение по применению нано-микропузырьков NSIW, обладающих большой удельной поверхностью и сильной окисляющей способностью позволило решить задачу перехвата мелких взвешенных частиц с размерами до PM2.5, которые вызывают смог. Также NSIW способна эффективно очистить дымовые газы от летучих органических веществ (формальдегид, толуол и др.) и связать неорганические загрязнители - сульфиды, нитриды, хлориды, способные с влагой воздуха образовывать кислотные дожди. В результате обработки вредные выбросы превращаются в диоксид углерода, воду и твердые гранулы, которые уже не растворяются и не токсичны.

Тот факт, что при обработке отработанных (дымовых) газов не используются химические вещества и является главным преимуществом технологии.

Примерами бытового применения нано ионизированной воды может послужить широкая линейка товаров компании Nanoplus под брендом «ОНTrust» [13], некоторые изделия приведены на рис. 14.



Рис. 13. Структурная схема процесса очистки дымовых газов мусоросжигательной печи с помощью nano-микропузырьков NSIW

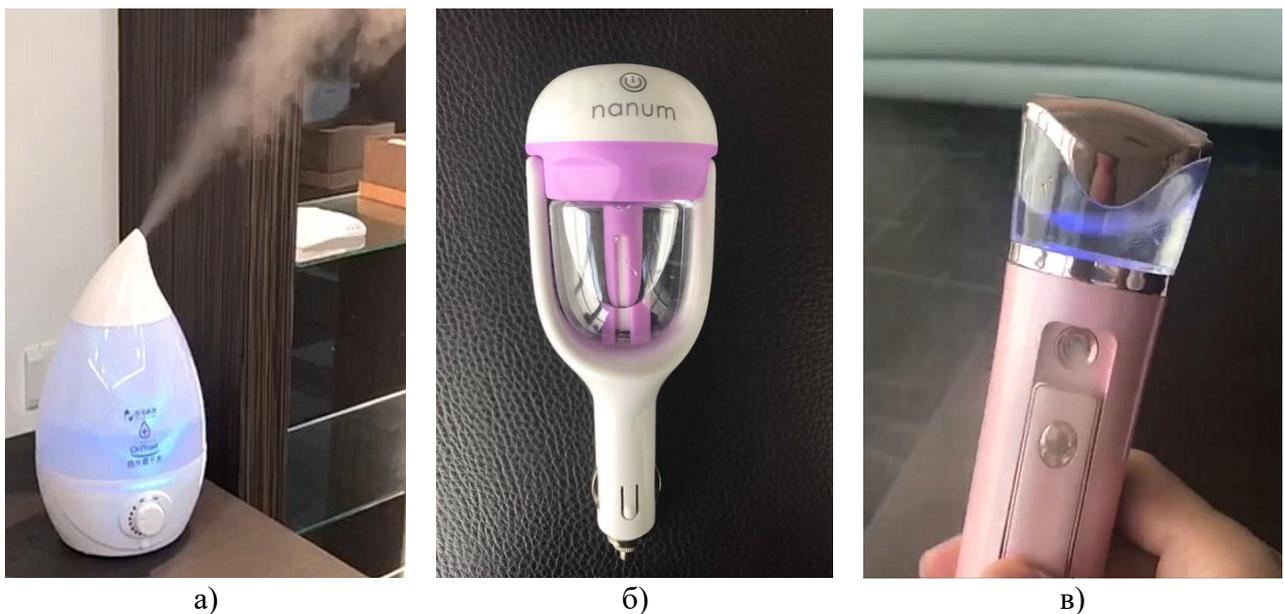


Рис. 14. Товары компании Nanoplus под брендом «OHTrust»:
 а) ультразвуковой увлажнитель воздуха с NSIW; б) распылитель nano ионизированной воды для салона автомобиля; в) распылитель NSIW индивидуального пользования с USB подзарядкой

Успешное продвижение NSIW не только в Юго-Восточной Азии, но и на рынке США и в других промышленно-развитых стран, позволили нашему партнеру Nanoplus предложить встречный международный трансферт в Россию технологии нано ионизированной воды.

Российской стороне была передана лабораторная установка для производства данного продукта (рис. 15).



Рис. 15. Лабораторная установка для производства нано ионизированной воды

Нано ионизированную воду с тем же уровнем pH 12,5, что и у NSIW, в России было решено называть - щелочно-ионизированная вода (ЩИВ).

Результаты испытаний ЩИВ на безопасность, проведенные специализированным учреждением ФБУН НИИ Дезинфектологии Роспотребнадзора (г. Москва), подтвердили ее безопасность для человека и животных, и ЩИВ была отнесена к 4 классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76.

Развернутые в Физико-технологическом институте Московского технологического университета исследования уже подтвердили ряд известных свойств нано ионизированной воды, в частности – длительный срок хранения. Контрольные замеры в течение не менее полугода показали неизменность уровня pH у ЩИВ, хранящейся в надлежащих условиях.

Также были проведены сравнительные испытания блокирующих коррозию свойств ЩИВ по сравнению с обычной водой (рис.16).

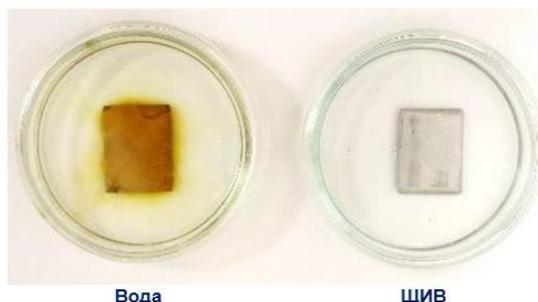


Рис. 16. Испытание стальной пластины на коррозию в обычной воде и в ЩИВ спустя неделю с начала эксперимента



а)



б)



в)

Рис. 17. Испытание чистящих свойств ЩИВ на примере очистки салфетки от красного вина, после первого смачивания (а), после 10 сек. смачивания (б), результат очистки (в)

ЩИВ хорошо зарекомендовала себя в качестве основы и разбавителя для создания рабочего раствора СОЖ. Проведенные испытания по обработке подложек из стекла марки БК-7 таблетированным связанным алмазно-абразивным инструментом на основе органической связки марки РТ-100, показали, что использование СОЖ с ЩИВ позволяет повысить стойкость и эксплуатационный период режущего инструмента по сравнению с обычной СОЖ [14].

ЩИВ, как средство очистки, было испытано в эксперименте с отмыванием салфеток, смоченных в красном вине. Ход эксперимента и результат очистки с помощью воды и ЩИВ показан на рис.17.

Представленные в статье результаты исследований NSIW и ЩИВ за рубежом и в России, свидетельствуют об уникальных свойствах этого инновационного продукта, переданного компанией «Наноплюс» по встречному международному трансферу технологий, а также об огромном коммерческом потенциале щелочно-ионизированной воды и продуктов на ее основе.

Опыт международного сотрудничества компаний «Фокскон», «Наноплюс» и Московского технологического университета, технологии мирового уровня, ставшие предметом международного трансфера технологий, в том числе встречного со стороны компании «Наноплюс», свидетельствуют о большом потенциале стратегического партнерства между сторонами и перспективах его развития.

Список литературы

1. Википедия. Foxconn. [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Foxconn>, (дата обращения: 28.03.2017).
2. История Foxconn — тайваньского изготовителя техники Apple, Microsoft, Sony, HP и IBM [Электронный ресурс] <https://vc.ru/p/foxconn-story> (дата обращения: 28.03.2017).
3. Kondratenko V.S. Cutting method for brittle non-metallic materials // Patent № TW174620 (Taiwan). 2003-04-01.
4. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Гиндин П.Д., Наумов А.С., Сюй Тунг Минг, Сюй Чи Вай Перри Новая технология лазерного при-

тупления острых кромок изделий из стекла//Труды Международной научно-технической конференции «Стеклопрогресс-XXI». Саратов. 27-30 мая 2008. С.

5. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Способ притупления острых кромок изделий // Патент РФ № 2426700 по заявке № 2009134857 от 18.09.2009. Опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23.

6. Kondratenko V.S., Gindin P.D., Trubienko O.V., Hsu Muchi, Naumov A.S. Laser strengthening of the edge of glass// "Journal of Optical Technology". 2009. Vol. 76. Issue 11, November. Pp. 733-736.

7. Кондратенко В.С., Наумов А.С., Трезубов Г.П., Сюй М., Юэ Д., Лу Хунг-Ту. Российская технология лазерного управляемого термораскалывания мирового масштаба// XV Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения и информационных технологий». Ларнака, Кипр. 1-5 октября 2012. С. 7-11.

8. Кондратенко В.С., Зобов А.К., Наумов А.С., Лу Хунг-Ту Технология прецизионной лазерной резки сапфировых пластин//Фотоника. №2(50). 2015. Москва. – С.42-52.

9. Кондратенко В.С., Лу Хунг-Ту, Юэ Гуохан, Наумов А.С. Внедрение и развитие российских лазерных технологий в зарубежных компаниях // Сборник научных трудов МНТК «Информатика и технологии». Вып. 1(XXI)/Под ред. Кондратенко В.С. – М.: ИВТ МГУПИ, 2015. – С.15-19.

10. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Лу Хунг-Ту, Наумов А.С. Первые в мире светильники с инновационной системой двустороннего охлаждения светодиодных кластеров// XVI Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения и информационных технологий», 2-4 октября 2013 г. Москва. – С.13-18.

11. Википедия. Теплопроводность. [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Теплопроводность>, (дата обращения: 30.03.2017).

12. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Необычные пластики – новое решение//«Ритм». 2014 октябрь. С. 10-15.

13. Продукты под брендом «OHTrust». [Электронный ресурс] <http://www.ohtrust.asia/shop/> (дата обращения: 30.03.2017).

14. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н., Бурляй Д.А. Применение ионизированной воды при изготовлении СОЖ. Сборник научных трудов: материалы Всероссийской научно-

технической конференции «Оптические технологии, материалы и системы» («ОПТОТЕХ-2016»): Московский технологический университет, Физико-технологический институт.

Выпуск I (электронный ресурс) / Под редакцией д.т.н., проф. Кондратенко В.С. – М.: МТУ. 2016.

УДК 621.37
 ББК 32.87
 Б20

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СРЕДА В ЭПОХУ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Багдасарян А.С.^{1,2,3} д.т.н., профессор, академик НАН Армении; г.н.с.

Багдасарян С.А.⁴ к.т.н., генеральный директор

Бутенко В.В.² д.т.н., генеральный директор

Гуляев Ю.В.³, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, Научный руководитель

¹ Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва

² Ордена трудового красного знамени «Научно-исследовательский институт радио», Москва

³ Ордена трудового красного знамени Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Москва

⁴ Научно-производственное предприятие «Технологии радиочастотной идентификации и связи», Москва

© Автор для переписки: Багдасарян А.С.
 e-mail: bas@niir.ru

Получение радикально новых возможностей перспективных технологий связи предполагает решение целого ряда фундаментальных и прикладных задач по поиску новых физических принципов генерации, передачи, приёма и обработки информации с использованием современных ПАВ технологий

Ключевые слова: телекоммуникационная среда, информационное общество, технологии поверхностных акустических волн.

TELECOMMUNICATIONS ENVIRONMENT IN THE ERA OF INFORMATION SOCIETY: THE CURRENT STATE OF THE TECHNOLOGY SURFACE ACOUSTIC WAVES

Bagdasaryan A.S.^{1,2,3};

Bagdasaryan S.A.⁴;

Butenko V. V.²;

Gulyaev Yu.V.³

¹ Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow

² Scientific research Institute of radio, Moscow

³ Institute of Radioengineering and electronics. V. A. Kotelnikov of RAS, Moscow

⁴ Scientific-production enterprise "radio frequency identification Technology and communication", Moscow

© Corresponding author e-mail: e-mail: bas@niir.ru

Getting a radical new possibilities of promising technologies involves solving a number of fundamental and applied problems in the search for new physical principles of generation, transmission, reception and processing of information using modern surfactant technology

Keywords: telecommunications environment, information society, technology of surface acoustic waves.

Введение. Эволюция роли и значения информации неизбежно повлекла и эволюцию телекоммуникаций как совокупности физической среды и способов передачи,

приёма и обработки информации. При этом по мере развития общества развитие телекоммуникационных технологий стало происходить в темпе, опережающем реальные возможности общества по генерации и использованию информации. Период смены поколений телекоммуникационных технологий существенно уменьшился. В этом смысле телекоммуникации не только следуют в кильватере информационных потребностей общества, но уже в значительной мере определяют траекторию вектора развития цивилизации. Что в свою очередь определяется уровнем развития ИКТ-индустрии, в том числе ПАВ технологий.

Во многих исследовательских центрах мира ведутся такие исследования в сфере функциональной электроники. В настоящем докладе речь пойдёт о технологии поверхностных акустических волн (ПАВ). Известные во всем мире с 60-х годов прошлого столетия основоположники этой науки [1-3] знают и нас научили понимать, что преобразование электрической энергии в звук даёт ранее недоступные возможности по точности и скорости измерений и обработки информации. И сегодня спустя более полувека это учение продолжает интенсивно развиваться в прикладных сферах [4]. Области применения ПАВ-технологии в современном радиоэлектронном приборостроении и системах связи показаны на рис. 1

Основными приложениями функциональной акустоэлектроники, которые в настоящее время исследуются и адаптируются к потребностям перспективных телекоммуникаций, являются:

- радиочастотная идентификация [5-13];
- мониторинг физических параметров [14-17], см. рис.2;
- фильтрация сигналов [18-21], в том числе во входных каскадах с высоким уровнем мощности [22-24];
- синтез новых материалов [25-28]

Система мониторинга работает по принципу радиолокатора с пассивной целью. Датчик, например, работает в разрешённых для устройств малого радиуса действия SRD диапазонах (например, ~433

МГц) в режиме линии задержки в разрешённых полосах частот (например, ~1 МГц). Приёмник этого диапазона имеет чувствительность $P_0=3 \cdot 10^{-15}$ Вт=150 дБ/Вт при отношении сигнала к шуму 10 дБ в рабочей полосе частот и расстоянии до 10 м. При использовании шумоподобных сигналов (ШПС) длины более миллиона, дальность надёжной работы дистанционного скрытного пассивного датчика увеличивается до 50 м. В этом случае один приёмник может обеспечить нормальную работу нескольких десятков кодированных сенсоров и обеспечить, например, надёжное обнаружение взрывчатых веществ в пунктах большой пропускной способности людей и спасти им жизнь.

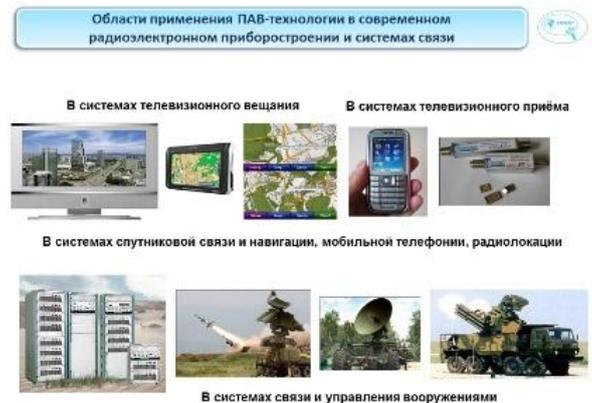


Рис. 1. ПАВ – технологии в современных параметрах

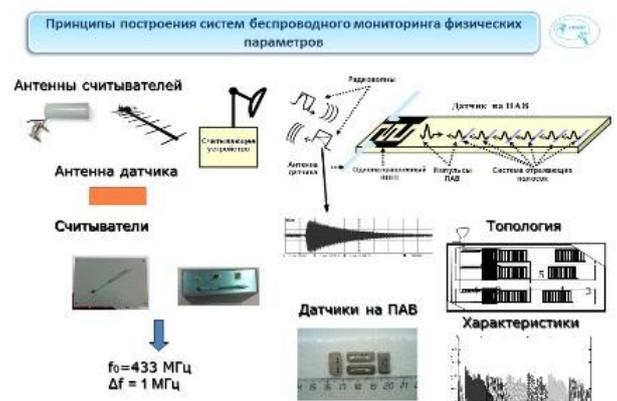


Рис. 2. Радиочастотная идентификация. Мониторинг физических и телекоммуникационных систем



Рис. 3. Пассивные ПАВ - датчики



Рис. 4. Радиочастотная идентификация

Датчик представляет собой пассивную структуру на ПАВ, подложка которой содержит встречно-штыревой преобразователь (ВШП) и множество отражающих полосок. Преобразователь подключён к антенне, согласованный в рабочем диапазоне частот. Акустические колебания возбуждаются преобразователем после облучения антенны электромагнитным сигналом в заданном диапазоне частот. В зависимости от внешнего воздействия (давления, температуры, радиационного излучения, изменение газового состава) среды, в которой находится сенсор, существенно изменяются физические характеристики ПАВ-структуры, приводящие к изменению скорости и условий распространения поверхностных акустических волн. В результате, через 5-20 мкс в антенне появляется отражённый сигнал, который излучается в пространство и может быть успешно обнаружен приёмным мультимикропроцессорным устройством. Приёмное устройство принимает отражённый сигнал, проводит измере-

ния его параметров и принимает решение о наличии или отсутствии в газовой среде искомым веществ. Каждый сенсор имеет индивидуальные характеристики отражения сигнала.

Отличительными особенностями датчиков на ПАВ являются их устойчивость к радиации, невосприимчивость к электромагнитным помехам, отсутствие возможности клонирования, подделки, широкий температурный режим работы, невозможность обнаружения иными средствами, помимо средств, входящих в состав системы мониторинга с одновременной радиочастотной идентификацией. Дальность считывания пассивных акустоэлектронных датчиков может достигать десятков метров.

Датчик представляет собой линию задержки (ЛЗ) на ПАВ, содержащую два ВШП. Первый преобразователь соединён с приёмно-передающей антенной, второй представляет собой отражательный ВШП, нагруженный на чувствительный элемент. Величина нагрузки Z , очевидно, зависит от измеряемого параметра (давления, влажности, температуры, интенсивности излучения и т.п.). При изменении величины нагрузки под действием измеряемой физической величины меняется коэффициент отражения ПАВ от отражательного ВШП.

Системы радиочастотной идентификации (РЧИ) (Рис.4) хорошо интегрируются в современную телекоммуникационную среду, включая интернет – ориентированные технологии, системы широкополосного доступа (ШПД) и связи, конвергентные системы связи.

Использование в системах радиочастотной идентификации (РЧИ) полупроводниковой элементной базы и радиокомпонентов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) позволяют, в принципе, в режиме реального времени получать информацию, необходимую для выбора наилучшего решения логистических задач управления в различных сферах деятельности с учётом совокупности разнородных показателей качества. Российский приоритет в этой актуальнейшей области полупроводниковой элементной базы и устройств на ПАВ принадлежит соответственно коллек-

тивам, возглавляемым академиками Красниковым Г.Я. и Гуляевым Ю.В. Эти системы РЧИ, как и описанная выше в моем докладе система мониторинга работают по принципу радиолокатора с пассивной целью, представленному на слайде. Обе технологии РЧИ не противоречат, а, напротив, дополняют и расширяют возможности друг друга. Проводимые нами фундаментальные и прикладные исследования в части РЧИ направлены на возможность создания, не имеющих аналогов, конструктивно-технологических решений РЧИ-меток с невзаимными СВЧ устройствами, которые могут в значительной степени, решить проблему повышения эффективности систем РЧИ и существенно расширить их функциональность и области применения. В настоящее время получены патенты конструктивно-технологические решения РЧИ-меток с невзаимными СВЧ устройствами с наноструктурированными плёнками, разработаны топологии интегральных микросхем кристаллов радиочастотных меток различной разрядности с топологическими размерами до 0,2 мкм.

Результаты, полученные в последнее время:

1. Разработаны технологические основы получения магнитных нанокмполитов на основе решетчатых упаковок микросфер кремнезема для создания метасред, пригодных для использования в СВЧ-технике (невзаимные устройства: аттенуаторы, циркуляторы).

2. Исследована возможность применения магнитных нанокмполитов на основе опаловых матриц с наночастицами, внедрёнными в межсферические полости магнитоупорядоченных материалов, в циркуляторах для проектируемых радиочастотных меток.

3. Проведены высокоточное моделирование и синтез радиочастотных меток нового поколения с предельными характеристиками

4. Дано сравнение возможных подходов к проектированию РЧИ-меток и РЧИ-систем на их основе, определены перспективы их разработки.

В качестве примера можно привести другие специальные вопросы, например,

«свой-чужой» во время боевых действий, дозаправку беспилотных летательных аппаратов, а также противодействие беспилотным воздушным дирижаблям и шарам.

В качестве примера приведем использование РЧИ для услуг почтовой связи []

На Рис. 5 показана модель РЧИ, предоставляющая следующие преимущества использования радиометок для услуг почтовой связи:

- Борьба с хищениями и подменой почтовых ёмкостей;
- Автоматизация оформления документов;
- Создание автоматической системы управления почтовыми потоками;
- Снижение вероятности возникновения ошибок при работе с почтовыми ёмкостями;
- Контроль и сбор статистической информации с целью повышения эффективности работы почты;
- Сокращение расходов, оптимизация бизнес процессов и расширение предоставляемых сервисов;
- Повышение безопасности;
- Контроль в пути и на пересылочных пунктах;
- Надёжное закрепление радиометки на почтовой ёмкости.



Рис. 5. Радиочастотная идентификация: почтовая связь

На Рис. 6 представлен возможный сценарий работы системы:

- 1) Формирование почтовых ёмкостей, сортировка, внутренняя логистика и погрузка их на транспортное средство;

- 2) Перевозка почтовых ёмкостей, контроль в пути и на перевалочных станциях;
- 3) Разгрузка на месте назначения, расформирование почтовых ёмкостей и учёт принятых отправок.



Рис. 6. Сценарий работы системы регистрируемых почтовых отправок (РПО)

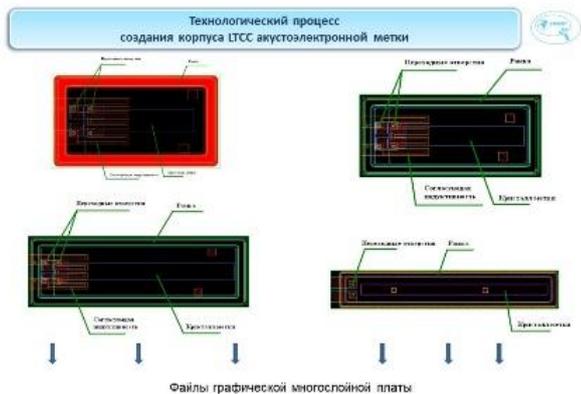


Рис. 7. Технология LTCC

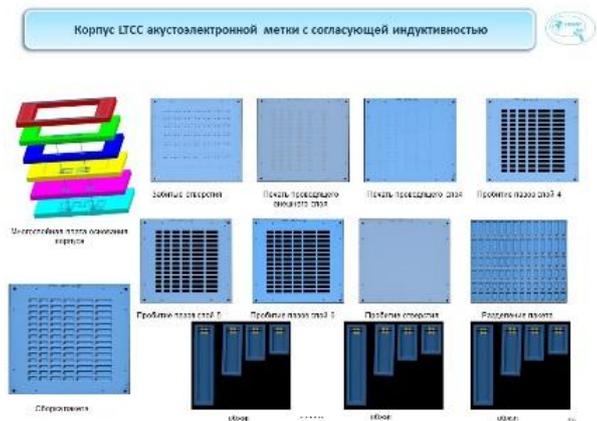


Рис. 8. Технологический маршрут изготовления радиочастотных меток

Технология LTCC. Создание новой радиоэлектронной аппаратуры и решение

задач модернизации существующих систем автоматической идентификации невозможно без развития технологии монтажа кристаллов РЧИ-меток на ПАВ.

Разработанная нами технология монтажа кристаллов ПАВ-меток в керамике LTCC позволила создать базовые конструкции микроминиатюрных модулей РЧИ-меток на ПАВ различной разрядности, расширяющих функциональные возможности систем идентификации и управления, снизить их массогабаритные показатели и решить проблему импортозамещения ПАВ-устройств.

Особенность новой технологии LTCC в том, что в LTCC-корпусе формируется и согласующая индуктивность, которая компенсирует статическую ёмкость приёмопередающего встречно-штыревого преобразователя акустоэлектронных меток. При этом обеспечиваются все преимущества LTCC-технологии для устройств на ПАВ, включая уменьшение вносимых потерь и электростатическую защиту радиочастотных меток на ПАВ. Корпус акустоэлектронной метки различной разрядности состоит из шести слоёв керамики и имеет толщину $\sim 0,2$ мм в обожжённом виде. Согласующая индуктивность выполняется в виде меандра в многослойной плате корпуса LTCC. Формирование слоёв LTCC-корпуса и заполнение отверстий, а также печать в автоматическом режиме проводилась с помощью графического редактора.

Таким образом, разработаны, как принципы проектирования, методика расчёта характеристик кристаллов акустоэлектронных меток различной разрядности на основе Р-матричного метода, так и базовые технологии изготовления кристаллов акустоэлектронных меток на ПАВ и их монтажа в керамике LTCC.

Необходимо отметить, что разработки, выполненные в кооперации ФГУП НИИР, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Физико-технологического института МИРЭА и НПП «Технологии радиочастотной идентификации и связи» в сфере функциональной электроники защищены целым рядом патентов и свидетельствами о регистрации топологии интегральных микросхем. Фундаментальность этих разработок подтвер-

ждается и тем обстоятельством, что РФФИ в лице В.А. Панченко выделяет на конкурсной основе гранты на их проведение.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-07-00464 А и № 15-07-01528 А).

Список литературы

1. Гуляев Ю.В. Усиление поверхностных волн в полупроводнике / Ю.В. Гуляев, В.И. Пустовойт // Письма в ЖЭТФ. — 1964. — Т. 47. — С. 2251-2253.
2. Гуляев Ю.В. Электроакустические поверхностные волны в твердых телах / Ю.В. Гуляев // Письма в ЖЭТФ. — 1969. — Т. 63. — № 9. — С. 37-39.
3. Bleustein J.L. A new surface wave in piezoelectric materials / J.L. Bleustein // Applied Physics Letters. — 1968. — Vol. 13. № 12. — P. 412-413.
4. Акустоэлектронные устройства обработки и генерации сигналов. Принцип работы, расчета и проектирования / под ред. Ю.В. Гуляева. — М.: Радиотехника, 2012. — 567 с.
5. Гуляев Ю.В. Радиочастотная идентификация с использованием ПАВ / Гуляев Ю.В., Багдасарян С.А. // Наука и технологии в промышленности. 2005. №1. С.54.
6. Багдасарян С.А. Акустоэлектронные технологии в радиочастотной идентификации / Багдасарян С.А., Гуляев Ю.В. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2005. №4. С.24.
7. Bagdasarian A.S. To Issue on Development of Piezoelectric Devices on Surface Acoustic Waves / Bagdasarian A.S., Bagdasarian S.A., Dneprovski V.G., Karapetyan G.Y. // В книге: Piezoelectric and Related Materials: Investigations and Applications. 2012. С.129-238
8. Багдасарян А.С. Оценка дальности действия систем радиочастотной идентификации в условиях природных и техногенных катастроф / С.А. Багдасарян, С.О. Николаева, Г.В. Подшивалова, Р.В. Семенов // Теория и техника связи. — Воронеж: ОАО «Концерн «Созвездие». — 2012. — №. 4. — С. 11-16.
9. Бутенко В.В. Принципы построения системы радиочастотной идентификации на основе ПАВ-технологии с повышенной дальностью действия / В.В. Бутенко, С.А. Багдасарян, Р.В. Семенов, С.О. Николаева // Радиотехника. — М., 2013. — Вып. 3. — С. 37-41.
10. Бутенко В.В. Акустоэлектронные идентификационные метки в керамике LTCC / В.В. Бутенко, А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян, Г.Я. Карапетьян, С.О. Николаева // Труды НИИ Радио. — 2013. — № 1. — С. 16-23.
11. Багдасарян А.С. Системный подход к построению системы автоматической радиочастотной идентификации и управления транспортировкой грузов на железнодорожном транспорте / А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян, А.Г. Кащенко, Г.А. Кащенко, Р.В. Семенов, С.О. Николаева // Радиотехника. — 2013. — № 3. — С. 18-25.
12. Багдасарян А.С. Оптимизация энергопотенциала в радиоканале систем радиочастотной идентификации на ПАВ / А.С. Багдасарян, Д.В. Репников, С.О. Николаева // Радиотехника. — 2014. — № 3. — С. 37-41.
13. Нечаев Ю.Б. Антенны для UHF RFID меток / Ю.Б. Нечаев, А.С. Багдасарян, В.В. Бутенко, Д.Н. Борисов, Н.Н. Винокурова, С.О. Николаева. — М.: Труды НИИР, 2015. — № 2. — С. 9-19.
14. Багдасарян С.А. Проблемы повышения безопасности в условиях современной техногенной среды / Багдасарян С.А., Бутенко Е.В., Нефедова Н.А., Хананова М.Т., Хлынова М.А., Шварова Е.В. // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. №1-2. С.165-170.
15. Багдасарян С.А. Многофункциональный электронный модуль для мониторинга объектов и состояния техногенной среды / Багдасарян С.А., Луканов А.В., Николаева С.О. // Теория и техника радиосвязи. — 2014. — № 3. — С. 91-98.
16. Карапетьян Г.Я. Пассивный беспроводной датчик на поверхностных акустических волнах для измерения параметров газовых и жидких сред / Карапетьян Г.Я., Днепроvский В.Г., Багдасарян С.А., Багдасарян А.С., Николаев А.Л., Кайдашев Е.М. // Инженерный вестник Дона. 2012. Т.20. №2. С.186-190.
17. Багдасарян С. ПАВ-датчики дистанционного контроля физических величин / Багдасарян С., Днепроvский В., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н., Симицына Т. // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2008. №1. С. 46-51.
18. Багдасарян А. Импедансные ПАВ-фильтры для телекоммуникационных систем. Российский приоритет. Багдасарян А., Багдасарян С., Карапетьян Г., Машинин О., Симицына Т. Электроника: Наука, технология, бизнес. 2014. №7.(139). С.48-65
19. Машинин О. Модульные канальные эквалайзеры на ПАВ-фильтрах Машинин О., Багдасарян А., Львов В., Прапорщиков В., Симицына Т., Багдасарян С. Электроника: Наука, технология, бизнес. 2014. №2. С.74-81
20. Багдасарян С. Конструктивно-технологические особенности создания пас-

сивных акустоэлектронных приборов приемопередающих устройств кандидатская диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/ Москва, 2005

21. Bagdasaryan A.S., Gulyaev Y.V., Nikitov S.A., Bagdasaryan S.A., Sinitsyna T.V., Butenko V.V., Mashinin O.V., Praporshchikov V.V. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2008. Т. 53. С. 842.

22. Никитов С.А., Фильтры на поверхностных акустических волнах с высокой входной мощностью для систем связи, радиолокационной и телекоммуникационной аппаратуры на номинальную частоту 2170 МГц. Никитов С.А., Багдасарян А.С., Кондратьев С.Н., Сеницына Т.В., Машинин О.В., Груздев А.С. *Радиотехника и электроника*. 2016. Т. 61. № 4. С. 389.

23. Багдасарян А.С. Фильтры на ПАВ, выдерживающие входную мощность сигнала 1-2 Вт, для телекоммуникационной аппаратуры Багдасарян А.С., Сеницына Т.В. *Техника радиосвязи*. 2016. №3 (30). С. 80-89

24. Сеницына Т.В. СВЧ фильтры на ПАВ с высокой входной мощностью для систем и аппаратуры передачи и обработки информации // Сеницына Т.В., Багдасарян А.С., Машинин О.В., Егоров Р.В. *Труды Научно-исследовательского института радио*. 2016. №1. С.26-31

25. Белянин А.Ф. Слоистые структуры алмазоподобный углерод/AlN(ZnO) в устройствах на поверхностных акустических волнах /Белянин А.Ф., Самойлович М.И., Пащенко П.В., Багдасарян С.А. // *Системы и средства связи, телевидения и радиовещания*. 2004. № 1, 2. С. 58–63.

26. Bagdasaryan A., TECHNOLOGY OF SYNTHESIS OF OPAL MATRIX METAMATERIALS Bagdasaryan A., Samoylovich M., Mkrtychyan A., Rinkevich A., Belyanin A., Bagdasaryan S., Mkrtychyan Ar., Afanasieva *Advanced Materials Research*. 2015. Т. 1084. С. 58-60.

27. Bagdasaryan A., UHF-PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES: MAGNETIC RESONANCE Bagdasaryan A., Samoylovich M., Mkrtychyan A., Rinkevich A., Belyanin A., Bagdasaryan S., Mkrtychyan Ar., Vasilevskaya N. *Advanced Materials Research*. 2015. Т. 1084. С. 66-71.

28. Багдасарян А.С. Перспективные пьезокристаллы для высокостабильных устройств на ПАВ. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В., Дорофеева С.С. В сборнике: *Оптические технологии, материалы и системы. Сборник научных трудов Всесоюзной научно-технической конференции. Московский технологический университет. Физико-технологический институт*. 2016. С.112-115

УДК 538.945

РАЗРАБОТКА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Дергунова Е.А.^{1,2}, к.т.н., доцент;
 Фигуровский Д.К.², к.т.н., заведующий кафедрой;
 Абдюханов И.М.¹, к.т.н., зам.ген. директора-директор отделения;
 Цаплева А.С.¹, научный сотр.;
 Алексеев М.В.¹, начальник лаборатории;
 Карасев Ю.В.¹, начальник лаборато-

рии;
 Раков Д.Н.¹, к.т.н., старший науч. сотр

¹АО «Высокотехнологический институт неорганических материалов им А.А.Бочвара»,

²Московский технологический университет МИРЭА

В работе представлен обзор современных разработок композиционных сверхпроводящих материалов, предназначенных для применения в специальных магнитных системах для физических установок термоядерного синтеза, ускорителей элементарных частиц, авиации и др. Рассмотрены различные подходы к повышению критических свойств композиционных сверхпроводников, взаимосвязь их токонесущей способности с конструкцией и структурой сверхпроводящей фазы.

Ключевые слова: сверхпроводники, применение, магнитные системы, технология, способы получения, критические характеристики.

DEVELOPMENT OF SUPERCONDUCTING COMPOSITE MATERIALS FOR SPECIAL MAGNET SYSTEMS

Dergunova E.^{1,2};
Figurovskiy D.²;
Abdyukhanov I.¹;
Tsapleva A.¹;
Alekseev M.¹;
Karasev Y.¹;
Rakov D.¹

¹ JSC "High Technology Scientific Research Institute of Inorganic Materials,

² Moscow technological university MIREA

The paper presents a review of modern developments of composite superconducting materials designed for use in special magnetic systems for physical installations of thermonuclear fusion, particle accelerators, aircraft and etc. Various approaches to enhance critical properties of composite superconductors, the relationship between their current-carrying ability and the design and structure of the superconducting phase are considered.

Key words: superconductors, application, magnetic systems, technology, methods of preparation, critical characteristics.

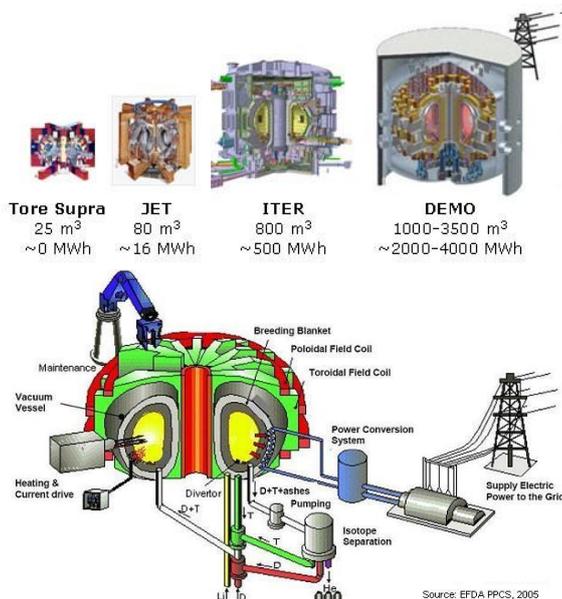
Перспективы развития производства низкотемпературных (НТСП) и высокотемпературных (ВТСП) сверхпроводников основаны на широчайшем спектре применения этих уникальных материалов, который включает в себя следующие основные направления: энергетика, ускорители элементарных частиц, медицина и биофизика, транспорт, авиация, космос, накопители энергии, промышленные энергетические установки, флот и военная техника, горнодобывающая и пищевая промышленность и др.

Энергетика. Разработки сверхпроводящих материалов для энергетических систем, основанных на реакции термоядерного синтеза, позволили сделать значительный шаг в совершенствовании технологических процессов получения НТСП и создании их промышленного производства в России. Прошло уже 2 года с момента окончания промышленного выпуска более 200 тонн

низкотемпературных сверхпроводников для крупнейшего энергетического проекта - ИТЭР. Сверхпроводящие стренды были изготовлены на АО ЧМЗ (Чепецкий Механический Завод, г.Глазов) в специально созданном для этого современном цехе [1,2]. ИТЭР – это крупнейший международный проект, реализующий уникальные инновационные технологии. Его пуск запланирован на 2025 год. Выгода от участия в этом проекте очевидна: РФ поставляет на 9,8% от полной стоимости проекта оборудования и материалов, а получает 100% информации, имеет право проводить исследования на реальном токамаке, а, самое главное, развивает наукоемкие производства в России. Ценный опыт, полученный во время участия в этом проекте, позволил сделать значительный шаг к разработкам новых, еще более совершенных материалов для будущих применений. Академик Л.А. Арцимович писал: «Вряд ли есть какие-либо сомнения в том, что, в конечном счёте, проблема управляемого синтеза будет решена. Природа может расположить на пути решения этой проблемы лишь ограниченное число трудностей, и после того, как человеку, благодаря непрерывному проявлению творческой активности, удастся их преодолеть, она уже не в состоянии будет изобрести новые». Кроме того, он предсказывал, что: «Термоядерная энергетика появится тогда, когда она станет действительно необходима человечеству». По всему видно, что этот момент действительно наступил. Безопасность и экология ТЯР, подтверждается следующими положениями:

- невозможностью теплового разгона/взрыва реактора;
- отсутствием выбросов, воздействующих на климат;
- отсутствием продуктов деления тяжелых ядер.
- Кроме того, расчеты показывают, что топлива для установок на основе ТЯР хватит на миллиарды лет. Дальнейшее развитие термояда предполагает создание следующих версий энергетических установок (рисунок 1, [3]), в которых будет продемонстрировано получение энергии. Это проекты ДЕМО и ДЕМО – ТИН (Де-

монстрационный Термоядерный Энергетический Реактор - Термоядерный Источник Нейтронов), для которых уже разрабатываются технические единичные сверхпроводники со значительно более высокими характеристиками, существенно превышающими требования к материалам для ИТЭР.



Термоядерная электростанция

Рис. 1. Прогресс в развитии установок ТЯР

Следующим шагом будет создание термоядерной электростанции: первой в мире опытной промышленной гибридной установки ОПГУ-500 (Опытно Промышленная Гибридная Установка), которое планируется к 2035 году и дополняет термоядерную программу России, базирующуюся на международном проекте (рисунок 2).

Опытно-промышленная реализация гибридных технологий «синтез-деление» на основе стационарного токамака со сверхпроводящей магнитной системой и жидкосолевой радиохимической частью, кроме энергии, может производить значительные количества ядерного топлива для реакторов деления.

Она даст в 4—10 раз больше избыточного Pu, чем быстрый бридер той же мощности, и может обеспечить горючим четыре-шесть реакторов на тепловых нейтронах современного типа.

Это создало бы новые возможности обеспечения ядерной энергетики будущего, в основе которой находятся реакторы на быстрых и тепловых нейтронах.

«Дорожная карта» российского термояда

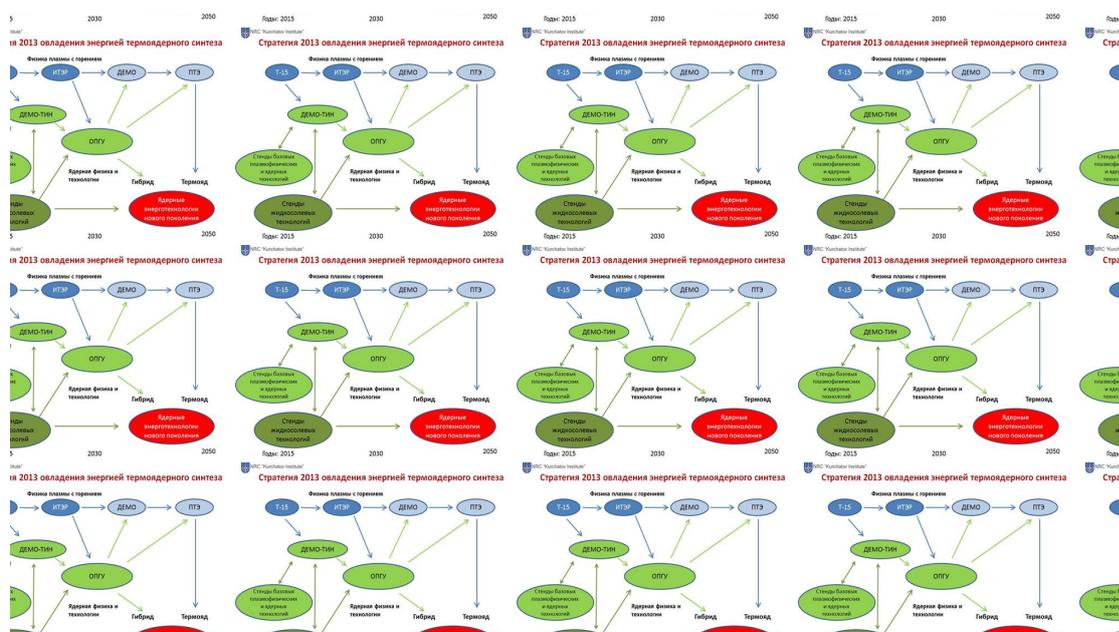


Рис. 2. «Дорожная карта» российского термояда [3]

Ускорители элементарных частиц. БАК (Большой Адронный Коллайдер) является ускорителем заряженных частиц на встречных пучках, предназначенным для разгона протонов и тяжелых ионов и изучения продуктов их соударений (рисунк 3). После открытия на БАК бозона Хиггса с массой 125 ГэВ возник интерес к строительству новой установки для детального изучения его свойств, т.н. Хиггс-фабрики [4]. Поскольку масса частицы оказалась сравнительно малой, то предпочтительным вариантом является кольцевой электрон-позитронный коллайдер для получения сверхвысокой светимости. В настоящее время начаты разработки, направленные на усовершенствование магнитов и замену материалов обмотки из NbTi сверхпроводников на Nb₃Sn сверхпроводники.

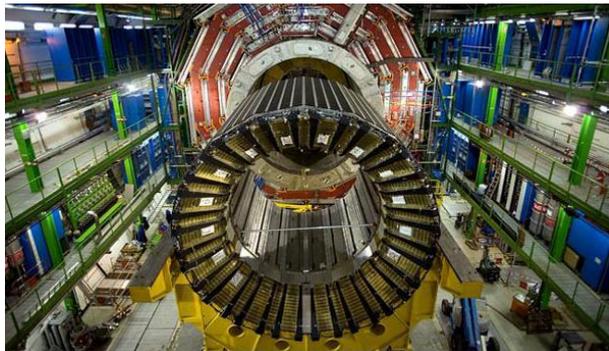


Рис. 3. Большой адронный коллайдер (ЦЕРН)

Эта работа будет проводиться в ближайшие 10-15 лет и потребует разработки и производства значительного объема сверхпроводящих материалов нового поколения (НТСП и ВТСП) со значительно повышенными (в 2-3 раза) сверхпроводящими свойствами [6]. В феврале 2014 года ЦЕРН запустил проект FCC по изучению возможности строительства будущих лептонных, адронных и электрон-ионных коллайдеров (FCC-ee, FCC-hh, FCC-eh). Целью является создание концептуального физического комплекса ускорителей и детекторов к середине 2018 года.

В проекте участвуют несколько десятков научных организаций со всего мира, в т.ч. 3 российских центра: ОИЯИ, МИФИ, ИЯФ СО РАН. В декабре 2015 года стало

известно, что для дальнейшей разработки в качестве базового варианта электрон-позитронного коллайдера был выбран проект Института ядерной физики им. Г. И. Будкера. Программа создания магнитов для FCC включает задачи с двумя основными целями: расширить диапазон работы ускорителя магнитов, основанный на низкотемпературных сверхпроводниках (НТСП) до 16 Тл, а также изучить технологические проблемы, присущие использованию высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) для ускорителя магнитов в диапазоне до 20 Тл. Это переводится на поэтапный подход, охватывающий как НТСП так и ВТСП технологии. Целенаправленная программа была запущена по всему миру для разработки Nb₃Sn сверхпроводников с улучшенными характеристиками. Nb₃Sn сверхпроводники имеют все шансы стать базисным материалом для ускорителей частиц высоких энергий.

Медицина и биофизика. Наиболее востребованным с точки зрения коммерческого использования сверхпроводимости является рынок компактной высокоточной медицинской визуализации и исследований в области биофизики и фармакологии (МРТ, МЭГ, ЯМР и др.). Например, магнитоэнцефалография (МЭГ) представляет собой регистрацию и анализ магнитных полей, генерируемых нейроактивностью мозга. Этот метод уже широко распространен в нейрологических и психологических научных исследованиях, как инструмент функциональной визуализации, дополняющий или замещающий электроэнцефалографию. Его использование также возрастает в клинической практике, где МЭГ используется при предоперационном функциональном картировании и, в частности, для локализации эпилептических фокусов (рис. 4).

Результаты такого картирования и локализации, как правило, совмещают с анатомическими изображениями, получаемыми с помощью магнитно-резонансной томографии. В США предоперационное использование МЭГ сертифицировано Food&Drug Administration (FDA) - Государственным Управлением по контролю качества пищевых продуктов и медика-

ментов США - и оплачивается страховыми компаниями. Достаточно медленное внедрение МЭГ в повседневную клиническую практику обусловлено главным образом высокой стоимостью полной МЭГ-системы и наличием специальных технических требований к помещению для магнитно-экранированной комнаты.[7].

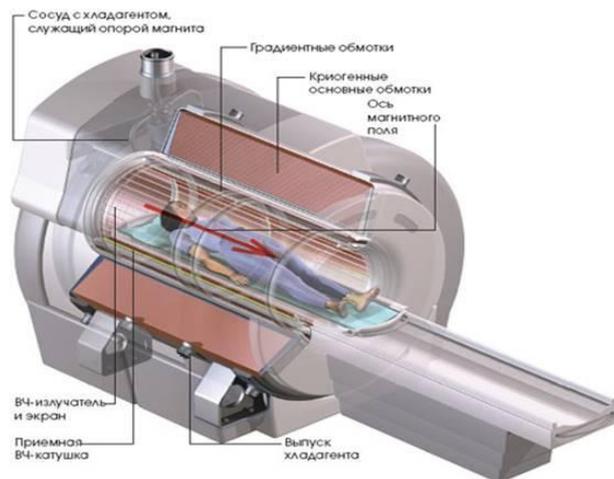


Рис. 4- Устройство магнитометра для магнитоэнцефалографии [7]

Флот, авиация. Военно-морской флот США заключил с компанией AMSC контракт “ShipProtectionSystems” на поставку ВТСП-2 компонентов стоимостью 8,5 млн. долларов [8]. Согласно контракту ВМФ будет закупать у AMSC не только ВТСП-2 компоненты для систем размагничивания корпусов военных кораблей, но также и компоненты для силовых кабелей и электродвигателей. Ранее компанией AMSC был создан и прошел испытания на борту надводного корабля прототип ВТСП системы размагничивания. Устройство успешно проработало более двух лет (20 000 часов), корабль же в это время преодолел расстояние более чем 130000 км (75 000 миль).

Сравнительно новая область, в которой сверхпроводники смогут занять достойное положение – авиастроение. Исключительно высокие удельные показатели мощности сверхпроводникового электроэнергетического оборудования, недостижимые для оборудования традиционного исполнения, позволяют создавать самолёты с энергетикой, способной обеспечить электрическую тягу и более высокий коэффи-

циент использования потенциала первичного энергоносителя, отказаться от сложных и громоздких пневматических систем. Использование сверхпроводящих материалов позволит существенно уменьшить массогабаритные характеристики электрических машин, а это, в свою очередь, поднимет мощные электрические силовые установки в небо (рисунок.5). Представляется перспективным создание криогенных генераторов, электроприводов компрессоров систем кондиционирования и поддержания давления, приводов гидронасосов, линейных электроприводов органов управления и автономных приводов шасси, распределительных и трансформаторных узлов. Также целесообразно применение бортовой силовой электропроводки на основе ВТСП материалов. Это позволит снизить вес проводки, увеличить передаваемую мощность, снизить вес защитных устройств.

Сверхпроводящие материалы. Дальнейшее развитие технологий на основе сверхпроводников открывает перед человечеством огромные перспективы, причем уже в обозримом времени. Исследования, направленные на разработку и совершенствование технологии получения сверхпроводящих материалов, могут найти решения основных социальных проблем 21-го века, что приведет к доступной по цене продукции в промышленных масштабах и даст толчок к индустрии высоких технологий. Применение СПМ не смогли бы осуществиться без глубоких теоретических исследований условий перехода вещества в сверхпроводящее состояние, а также и без всеобъемлющих материаловедческих исследований, направленных на разработку сверхпроводящих материалов с высокими критическими свойствами. Такие исследования практически с самого начала разработок технических сверхпроводников в мире проводятся в Бочваровском научно - исследовательском институте неорганических материалов (АО «ВНИИНМ им. А.А.Бочвара»). На рисунке 6 представлена классификация технических сверхпроводников в зависимости от криогенной среды в которой они могут работать в сверхпроводящем состоянии.

Концепция “Полностью электрического самолета”



Рис 5. Концепция полностью электрического самолета

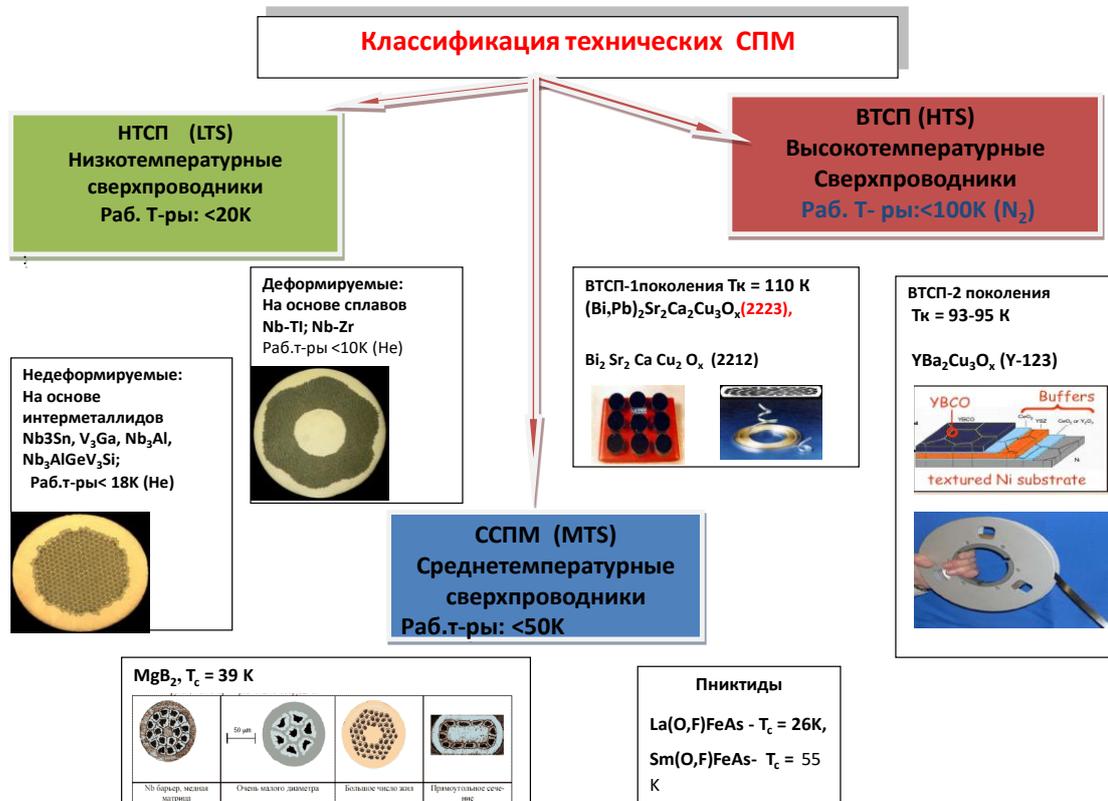
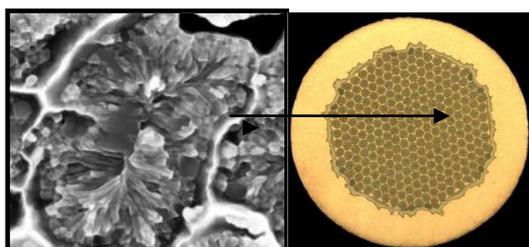
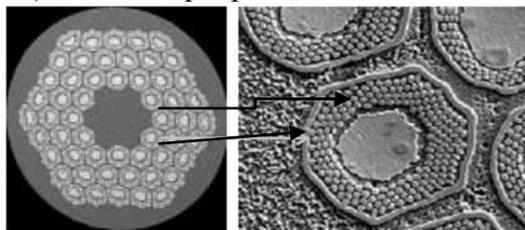


Рис.6 Классификация технических СПМ

Сверхпроводники на основе соединения Nb_3Sn . Низкотемпературные сверхпроводники (НТСП) представляют собой длинномерную (до нескольких десятков км) композиционную проволоку диаметром 0,5 - 2 мм сложной структуры (рис.7). В медной или бронзовой матрице могут содержаться до нескольких десятков тысяч тонких сверхпроводящих волокон микронного размера. Nb_3Sn сверхпроводящая фаза отличается чрезвычайной хрупкостью, что значительно усложняет процесс получения сверхпроводников. Наиболее перспективным и освоенным является, так называемый, «бронзовый метод» [7], который представляет собой совместную деформацию композита, состоящего из Cu-Sn бронзовой матрицы и распределенных в ней тонких ниобиевых волокон (Рис. 7а). Композиционную сердцевину окружает диффузионный барьер и медная стабилизирующая оболочка. При последующей термообработке происходит диффузионное взаимодействие ниобия с оловом из бронзовой матрицы, приводящее к превращению ниобиевого волокна в сверхпроводящее соединение Nb_3Sn . Этот метод позволяет получать проводники с высоким качеством волокон, низкими гистерезисными потерями, а также с достаточно высокой критической плотностью тока.



а) Nb_3Sn сверхпроводник для ИТЭР



б) Nb_3Sn сверхпроводник для БАК

Рис.7 Поперечное сечение Nb_3Sn сверхпроводника для ИТЭР, полученного бронзовым методом (а) и для модернизированного БАК, полученного методом RRP (б)

Преимуществами «бронзового метода» являются также низкая температура реакции образования Nb_3Sn и небольшие размеры получаемых зерен, что способствует достижению высоких плотностей тока ($\sim 1000 \text{ А/мм}^2$ в магнитном поле 12Тл при температуре 4,2К). Кроме того, она позволяет варьировать в широком интервале размер, число и расположение отдельных волокон, а также вводить дополнительные легирующие элементы в сверхпроводящие волокна и/или матрицу. Однако «бронзовый метод» имеет ограничение по содержанию олова в бронзовой матрице, связанное с трудностью деформирования высокооловянной бронзы, что препятствует дальнейшему повышению токонесущей способности.

Для создания сверхпроводящих магнитных систем следующего поколения требуются материалы с гораздо более высокими свойствами. Требования к сверхпроводникам неуклонно возрастают, что способствует разработкам новых технологий их получения. Повышение содержания олова в объеме сверхпроводника возможно при использовании, например, метода «порошок в трубе» (или PIT – “powder in tube”), который позволяет повысить токонесущую способность Nb_3Sn сверхпроводников более чем в 2 раза (до 2500 А/мм^2 в 12Тл, при 4,2К). Наиболее перспективным методом, позволяющим увеличить значения критической плотности тока почти в 3-3,5раза по сравнению с бронзовым методом, является метод «внутреннего источника олова», в котором, помимо распределенных в медной матрице ниобиевых волокон, введены отдельные источники олова (рисунок 7б). Это значительно повышает содержание сверхпроводящей фазы и позволяет достичь рекордных значений критической плотности тока (более 3000 А/мм^2 в 12 Тл, при 4,2К).

Сверхпроводники на основе Nb-Ti сплавов. Материалы на основе NbTi сплава благодаря хорошей способности к деформации получают методами сборки композиционных заготовок, их выдавливания и волочения с промежуточными отжигами. В результате удается изготовить сверхпроводники с различной геометрией попереч-

ного сечения в зависимости от требований к их свойствам и предназначению [7].

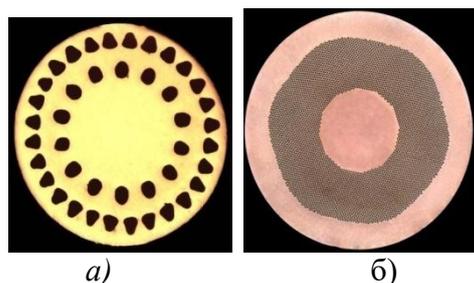


Рис.8 Структуры поперечного сечения Nb-Ti сверхпроводников для различных применений а) для магниторезонансных томографов, б) для ИТЭР

Диборид магния. Соединение MgB_2 также является объектом интенсивных исследований благодаря высокой критической температуре $T_c \sim 39K$, которая в 2 раза выше, чем у Nb_3Sn , и в 4 раза выше, чем у Nb-Ti. Относительно низкая анизотропия свойств, простой химический состав, дешевизна исходных составляющих для его синтеза открывает новые возможности для практического использования MgB_2 сверхпроводников в магнитных и электронных устройствах. В настоящее время на основе этого сверхпроводящего соединения методом «порошок в трубе» изготавливают сверхпроводящие стренды для различных применений и объемные постоянные магниты [8].

Получение сверхпроводников на основе диборида магния возможно двумя способами (рис.9). В первом, в качестве исход-

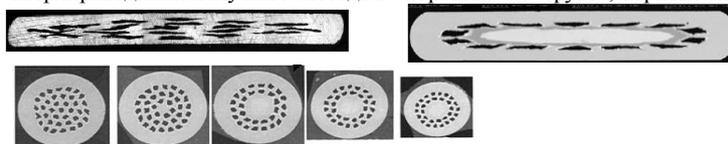
ного порошка используется смесь магния и бора, а сверхпроводящее соединение образуется в результате термообработки готового проводника в интервале температур от 600 до 700°C, характерном для так называемого низкотемпературного синтеза [9].

Существует и другой метод получения сверхпроводников, при котором соединение MgB_2 синтезируют заранее [10]. Для этого термообработку смеси магния и бора проводят в температурном интервале выше температуры плавления магния, характерном для так называемого высокотемпературного синтеза. Затем полученный порошок используют для производства композиционных проводов, в которых сверхпроводящие волокна сформированы из синтезированного диборида магния. В АО «ВНИИНМ» были разработаны экспериментальные стренды на основе диборида магния, опробовано его легирование различными соединениями. Относительная дешевизна исходных материалов и технологичность производства таких сверхпроводников делают их основными конкурентами, как традиционных НТСП для МРТ томографов, так и ВТСП сверхпроводников. Известно, что в настоящее время рассматривается возможность использования этих материалов для изготовления судовых и авиационных двигателей.[8]

Фирмы – производители сверхпроводников на основе MgB_2

Columbus Superconductors (Италия)

Сверхпроводники получают методом «порошок – в- трубе», вариант ex-situ



Hyper Tech (США)

Разработка и получение сверхпроводников методом «in – situ», IMD

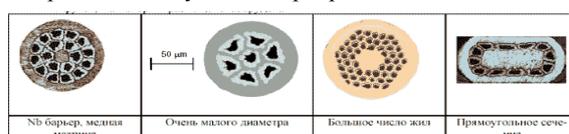


Рис.9 Сверхпроводники на основе MgB_2 [8]

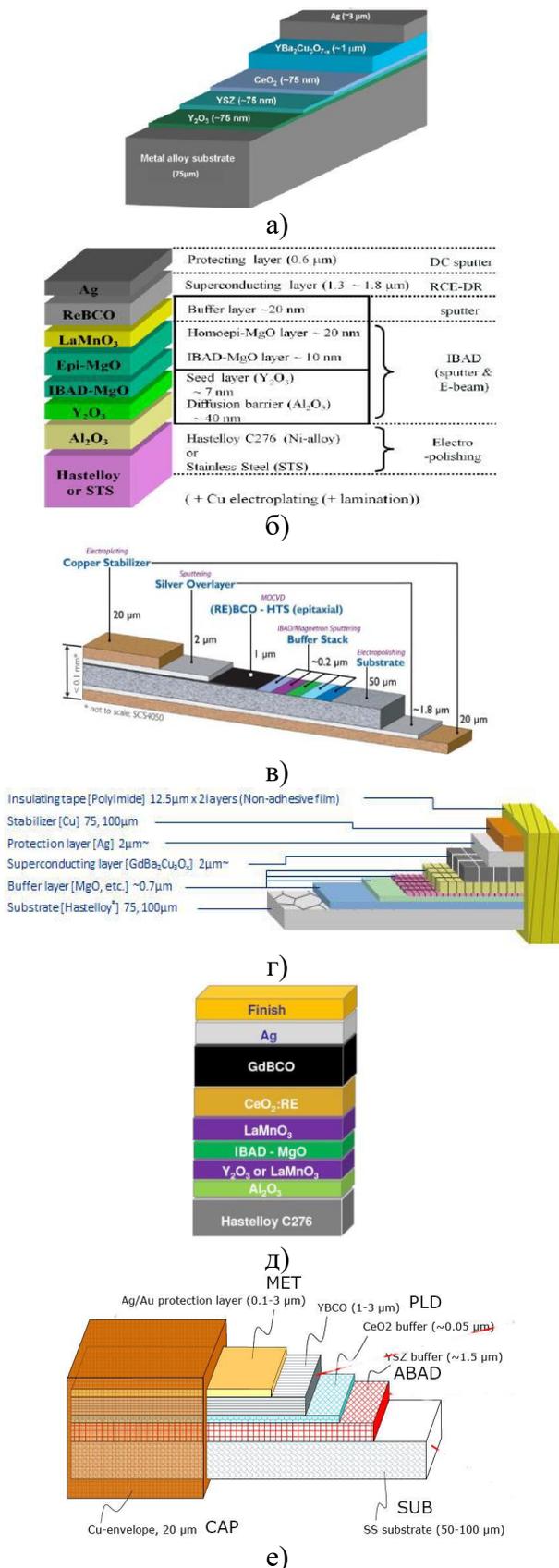


Рис. 10. Схематические изображения структуры длинномерных ВТСП-2 лент ведущих мировых производителей: American Superconductors (а), Sunam (б), SuperPower (в), Fujikura (г), SuperOx (д), Bruker (е) [11]

ВТСП материалы 2-го поколения. ВТСП привлекают внимание разработчиков различных электротехнических изделий возможностью использовать явление сверхпроводимости при азотных температурах, что является очень перспективным с точки зрения их экономической эффективности. На первоначальном этапе развитие получили ВТСП 1-го поколения - композиционные провода в оболочке из серебряных сплавов на основе соединения $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Bi-2223/Ag). С середины 2000 гг. всё больший вес приобретают ВТСП 2-го поколения - ленточные слоистые проводники, в которых на тонкую металлическую подложку последовательно нанесены буферные оксидные слои и функциональный слой ВТСП соединения $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Y-123) [2]. В последнее время наметился стабильный рост производства длинномерных высокотемпературных лент 2-го поколения (ВТСП-2). Это произошло как благодаря бурному развитию технологии производства, так и из-за роста спроса на ВТСП проводник. На сегодняшний день, по крайней мере, шесть компаний в мире производят длинномерные ВТСП-2 ленты. Также ведутся масштабные работы по созданию и внедрению электротехнического оборудования на основе длинномерных ВТСП-2 лент, такого как кабели, ограничители тока короткого замыкания, трансформаторы, моторы и генераторы. Средняя длина одного отрезка ВТСП проводника уже превышает 500 м. Американские компании American Superconductors и SuperPower, корейская компания Sunam вышли на уровень производства в 200 км в год. Японская корпорация Fujikura, российско-японская компания SuperOx и немецкая корпорация Bruker (BHTS) способны производить более 10 км ВТСП проводника в год каждая [11]. На стадии исследований и разработки технологии находятся еще семь компаний, из них три китайских, одна японская, одна американская, одна испанская, а также опытная пилотная линия в НИЦ «Курчатовский институт», которая станет базой для создания первого в России независимого производства длинномерных ВТСП-2 лент.

ВТСП-2 ленты представляют собой

весьма наукоемкие материалы, технологии их производства многообразны и могут основываться как на химических, так и на физических методах производства. В мире наиболее перспективными считаются технологии производства ВТСП-2, заключающиеся в последовательном нанесении на металлические подложки нескольких оксидных буферных слоев, чтобы обеспечить необходимую текстурированную основу для эпитаксиального роста ВТСП слоя (как правило, на основе YBCO). Далее обычно наносится тонкий защитный серебряный слой (рисунок 10). В качестве подложки практически все компании используют немагнитные материалы: либо Хастеллой (С-276), либо полированную нержавеющую ленту с шероховатостью Ra=2-5 нм.

В качестве буферного текстурированного слоя обычно используется оксид магния MgO, который позволяет устранить взаимодействие ВТСП YBCO покрытия с подложкой. На сегодняшний день существенной преградой для развития рынка ВТСП-2 лент второго поколения является как стоимость исходных материалов, так и стоимость технологического процесса. Доминирующими факторами по стоимости исходных материалов, кроме серебра, является стоимость материала мишеней для сверхпроводящего покрытия и стоимость подложки. Их снижение позволит снизить стоимость конечного продукта.

Выводы.

Рассмотрены наиболее перспективные области применения современных технических низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводников. Проведен анализ особенностей их структуры и свойств. Показано, что развитие областей применения этих наукоемких материалов со структурой нанометрического уровня способствует активизации разработок, направленных на совершенствование методов их получения для достижения более

высоких критических свойств.

Список литературы

1. И.Абдюханов, М. Потапенко, Ю.Карасев, М.Алексеев, А.Цаплева, Д.Раков, Ю.Белотелова, Е.Дергунова. *Сверхпроводники: вчера- экзотика, сегодня- реальность/ Металлы Евразии, №2, с.48-51, 2015, www/eurasmet.ru*
2. Абдюханов И.М., Алексеев М.В., Балаев С.М., Беляков Н.А., Воробьева А.Е., Дергунова Е.А., Шиков А.К. и др. *Разработка Nb₃Sn сверхпроводников для тороидальных катушек ИТЭР. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы, Выпуск 2(73), с.71-77, 2012*
3. Дягтеренко П.Н./ *Сверхпроводники для электроэнергетики. Том 12/выпуск 2 (53), апрель 2015.*
4. *The Future Circular Collider study, CERN Courier, Mar 28, 2014.*
5. *Суперколлайдер CERN построят по проекту новосибирских физиков, РБК, 26.12.2015.*
6. <http://www.npanchenko.ru>
7. Абдюханов И.М., Потапенко М.М., Алексеев М.В., Цаплева А.С., Дергунова Е.А., и др.. *Композиционные технические сверхпроводники / Атомная Энергия», т.119, вып.5, ноябрь 2015, с.260-265.*
8. J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenifani, J. Akimitsu «*Superconductivity at 39K in magnesium diboride*»/ *Nature, vol 410, March 2001, с. 63-64*
9. А.Л. Ивановский . *Сверхпроводящий MgB₂ и родственные соединения: синтез, свойства, электронная структура», /Успехи химии 70(9) 2001, с. 811-829*
10. Раков Д.Н.Белотелова Ю.Н. и др. *Структура и стабильность сверхпроводящей сердцевины одножильного трубчатого композита MgB₂/Cu, Nb с высоким критическим током / ФММ, Том 115 №6, 2014 .*
11. S Fujita, M Daibo, M Igarashi, R Kikutake, K Kakimoto, Y Iijima, M Itoh and T Saitoh. *In-field critical current property of IBAD/PLD coated conductors./ 11th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2013)*

УДК: 621.774

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НЕФТЕГАЗОВОГО И ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСОВ

Осадчий В.Я., проф., д.т.н.;
Комаров В.А., проф. д.т.н. МИРЭА

Московский технологический университет

Аннотация: Кратко изложены основные новые технологии, которые позволили обеспечить важные отрасли нашей промышленности трубами специального назначения.

Ключевые слова: труба, стан, сталь, валок, заготовка.

CREATION AND DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR IMPORT SUBSTITUTION AND PRODUCTION OF TUBES FOR NUCLEAR INDUSTRY, OIL AND GAS AND DEFENSE INDUSTRIES

Osadchii V. Ya.;
Komarov V. A.

Annotate: summarizes the main new technologies that allowed to provide important sectors of our industry, pipes for special purposes.

Keywords: tube mill, steel, roll, blank.

В соответствии с политикой правительства РФ в области науки и техники необходимо ориентировать инновации на структурную перестройку, импортозамещение и модернизацию производств, повышения эксплуатационных свойств трубопроводов, на освоение ресурсос-

берегающих технологий, на сохранение окружающей среды, строительство и реконструкцию трубопроводного транспорта РФ. атомных и тепловых электростанций, повышение уровня безопасности на объектах химической, атомной промышленности и ВПК.

Протяженность российских магистральных трубопроводов превышает 221 тыс. км. из которых 153 тыс. км - магистральные газопроводы, около 70 тыс. км - магистральные нефтепроводы, более 20 тыс. км - магистральные нефтепродуктопроводы. Поэтому повышение надежности – основная задача дальнейшего развития технического прогресса в области строительства трубопроводного транспорта. За последние годы ПАО «ЧТПЗ» принял непосредственное участие в реализации проектов по строительству газопроводов:

Совместно с ПАО «Газпром» разработана инновационная технология и освоено производство труб диаметром 1420 мм класса прочности K60 и K65 с рабочим давлением до 11,8 МПа для газопровода. Разработана и освоена инновационная, импортозамещающая технология производства труб размером 1020x21,3 мм из стали марки SAWL 485 FD для подводных газопроводов для освоения Штокманского ГКМ и «Южного потока».

Разработана технология и освоено производство труб диаметром 1067 мм из стали группы прочности X70 и труб диаметром 1219 мм из стали прочности X80 для строительства магистральных газопроводов «Средняя Азия-Китай-3» и «Бейнеу-Бозой-Шымкент».

Разработана технология и освоено производство труб диаметром от 508 до 1422 мм с толщинами стенок до 45,0 мм, предназначенных для строительных металлических конструкций с повышенной огнестойкостью, долговечностью, сопротивлением разрушению и улучшенной свариваемостью, возводимых в районах с повышенной сейсмической активностью, в районах Дальнего Востока и Крайнего Севера.

Для «Северного потока 2» совместно с ПАО «Газпром» производится разработка инновационной технологии сварки и проката листов для получения свойств свар-

ных швов и металла при крайне низких температурах.

Качество сварной трубы зависит от многих факторов – качества металла листовой заготовки, режимов сварки, химсостава флюса и электрода. Но первое, от чего зависит качество сварного шва, – это точная формовка трубной заготовки, точность схождения кромок сформированной заготовки перед сваркой.

Совместно с асп. Звонаревым Д.Ю. разработана математическая модель гибки кромки листа и модель шаговой формовки всей трубной заготовки, что позволило повысить качество готовых труб.

Разработка инновационных технических решений производства сварных труб большого диаметра позволила ПАО «ЧТПЗ» расширить географию поставок труб, повысить конкурентную способность, обеспечить Россию трубами данного сортамента и исключить поставки по импорту.

Производство бесшовных труб и трубных изделий из нержавеющей марки стали и сплавов, сплавов на основе титана для атомной, котельной, судостроительной, химической, машиностроительной промышленности и ВПК, шестигранных труб-заготовок из борсодержащих марок стали для хранения и транспортировки отработанного ядерного топлива, круглых и шестигранных труб из стали ЭП450, ЭП823 для АЭС, имеющих в своем составе реакторы на быстрых нейтронах, необходимых для дальнейшего развития страны, и лонжеронов лопастей для вертолетов Ми-26 является весьма актуальным.

В настоящее время проявляется заметная тенденция увеличения объемов разведки, добычи нефти и газа на шельфах и повышенных глубинах морей, а также в северных районах страны. Планируемая крупномасштабная добыча подразумевает применение труб из коррозионностойких материалов и сплавов на основе титана.

Такие задачи предопределили необходимость разработки инновационных технологий промышленного производства данного сортамента труб на ТПУ 8-16" с пилигримовым станом, что в свою очередь привело к решению комплекса сложных

научно-технических задач.

Впервые в мировой практике разработаны патентозащитные высокоэффективные инновационные технологии, комплекс способов, агрегатов и устройств, а именно, технология нагрева сплошных и полых слитков-заготовок ЭШП, технология прошивки в стане поперечно-винтовой прокатки, технология производства труб размером 290x12 мм на ТПУ 8-16" с пилигримовым станом, технология механической обработки труб размером 290x12x5000-5750 мм в круглые трубные заготовки размером 284,75x6+1,8/-0,8x5000-5750мм, оборудование для профилирования и технология профилирования круглых труб в шестигранные трубы-заготовки "под ключ" размером 257+2/-3x6+2/-1x4300+80/-30 мм, обеспечивающие снижение расходного коэффициента металла в два раза, повышение производительности ТПУ 8-16", при одновременном повышении качества труб и снижения их себестоимости (рис. 1).

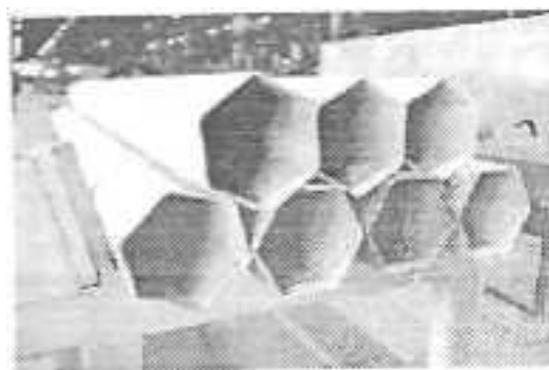


Рис. 1. Шестигранные трубы после травления

Выполненные исследования температурно-деформационных параметров и пластичности стали и сплавов позволили выбрать оптимальные режимы нагрева слитков-заготовок под прошивку, режимы деформации их в стане поперечно-винтовой прокатки за одну или две прошивки в гильзы и прокатку гильз на пилигримовом стане. Это позволило впервые в мировой практике на ТПУ 8-16" с пилигримовым станом освоить производство бесшовных горячекатаных товарных и передельных труб из нержавеющей марки стали и сплавов из сплошных и полых слитков - заго-

товок ЭШП. За 2001-2015 г.г. освоено производство передельных и товарных труб по ГОСТ 9940, ГОСТ 9941 и ТУ 14-3-197-2003 более 250 типоразмеров из 12 марок стали и сплавов.

Впервые разработана инновационная технология и освоено производство биметаллических износостойких труб из сталей 30+X12 размером 219x14 (7+7), 273x14(7+7), 325x16(8+8), 426x20(10+10) и 530x25(12+13) мм для транспортировки абразивных сыпучих материалов и пульп. Трубы прошли испытания в условиях Крайнего Севера (г. Мирный). Стойкость труб возросла в 7-10 раз.

Разработана и внедрена инновационная технология производства длинномерных передельных труб из полых центробежно-литых и слитков-заготовок ЭШП сталей 08X10H20T2 и 08X10H16T2 для выдвижных систем (перископов подводных лодок) с обеспечением ударной вязкости KCU более 100 Дж/см².

Разработана инновационная технология, не имеющая аналогов в мировой практике, и освоено производство биметаллических труб размером 351x36 и 426x40 мм из сталей марок 10ГН2МФА (наружный слой) и 08X18H10T (внутренний плакирующий слой) толщиной 7±2,0 мм для повышения рабочих параметров атомных энергетических установок.

Предложен и внедрен комплекс работ, направленный на совершенствование технологии производства горячедеформированных труб для паровых котлов, паропроводов и коллекторов, установок с высокими и сверхкритическими параметрами пара из углеродистых, низколегированных и легированных марок стали из слитков-заготовок ЭШП и НЛЗ.

Впервые в мировой практике разработана технология и изготовлены трубы с утолщенными концами из стали марки 17X18H11T для изготовления судовых длинномерных полых валов.

Впервые на ТПУ 8-16" с пилигримовым станом разработана и освоена технология производства труб размером 498x48 мм из титанового сплава BT-14 для изготовления механически обработанных труб размером 474x29,5x3550 мм для баллонов ВВД-400

атомных подводных лодок.

Впервые в мировой практике разработана и освоена инновационная технология производства передельных труб размером 426x34x10500±250 мм из титанового сплава Gr 29 для последующего передела механической обработкой - расточкой и обточкой в товарные трубы размером 406,4x14,38x10000+100/-0 мм для обустройства геотермальных скважин.

Впервые в мировой практике разработана инновационная технология и изготовлены опытные образцы труб размером 150x2x1200 мм и шестигранных труб размером "под ключ" 181,3x3,5x3750 мм из стали 12X12M1БФРУ-Ш, труб размером 125(вн.122±1,5)x1,5±0,25, 168(вн.162±2,0)x3±0,25 мм, шестигранных труб размером "под ключ" вн.161,6±0,4x2,7+0,6/-0,5 и вн.170±0,4x2,8+0,6/-0,5 мм из стали 16X12MBCФБР-Ш для реализации Федеральной программы "Ядерные энерготехнологии нового поколения", предусматривающей строительство и пуск в эксплуатацию реакторов нового поколения на быстрых нейтронах.

Впервые разработана и внедрена инновационная технология производства труб размером 245x30x2450 мм из титанового сплава ПТЗВ для изготовления паропроводов перегретого пара атомных реакторов подводных лодок.



Рис. 2. Труба размером 325x5 мм из титанового сплава BT1-0

Впервые разработаны и освоены инновационные технологии производства холоднокатаных труб размером 186,4x17x8000 мм из титановых сплавов Grade 9M и Grade 23M, холоднокатаных труб размером 273x5, 273x10, 325x5, 377x6 и 377x12 мм из титанового сплава BT1-0

из передельных сварных заготовок (рис. 2), холоднокатаных труб размером 273x10,15, 219x9,15 и 159x7,15 мм из титановых сплавов ПТ-1М и ПТ-7М.

Впервые в мировой практике на ТПУ 8-16" разработана и внедрена технология производства передельных труб размером 325x25 мм, а на стане ХПТ250 товарных труб размером 273x10,15, 219x9,15 и 159x7,15 мм из титановых сплавов ПТ-1М и ПТ-7М для ВПК.

Для производства труб диаметром 508, 530, 550, 610 и 630 мм разработаны и внедрены калибровки валков пилигримового стана, защищенные патентами РФ.

Впервые в мировой практике разработана технология и освоено производство цельнометаллических лонжеронов лопастей для самых грузоподъемных в мире вертолетов Ми-26 (рис.3 и рис.4).

В последние годы резко возрасли требования по нарезным соединениям на трубах. Требуется высокая прочность и герметичность соединений. Это потребовало разработки новых режимов резания и специального оборудования, которое должно обеспечить качественную резьбу и высокую производительность.

Практическое и научное значение выполненных работ состоит в создании и

широком промышленном внедрении современных способов, инновационных технологий, комплекса специализированного оборудования, которые соответствуют, а по некоторым параметрам и превосходят мировую практику производства сварных и бесшовных труб, приведенного выше сортамента.

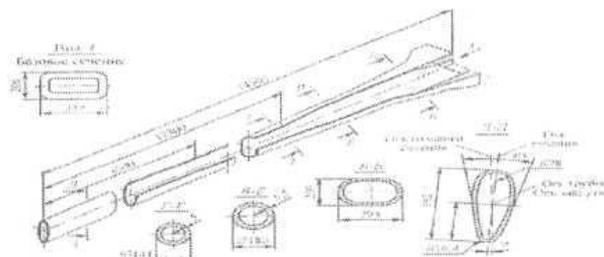


Рис. 3. Конструкция лонжерона вертолета



Рис. 4. Вертолет Ми-26

СЕКЦИЯ «НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА КОНДРАТЕНКО В.С.»

*Руководитель секции: Кондратенко В.С., д.т.н., профессор, советник ректората МИРЭА,
зав. кафедрой оптических и биотехнических систем и технологий
Физико-технологического института МИРЭА*

УДК 621.373.8

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ КРИСТАЛЛОВ ОСИД ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖЕК

**Кондратенко В.С., д.т.н., профессор;
заведующий кафедрой
Иванов В.И., аспирант**

*Московский технологический университет,
Физико-технологический институт*

*© Автор для переписки: Иванов В.И.
e-mail: ivi061@gmail.com*

Статья посвящена управлению качеством кристаллов с органическими светоизлучающими диодами (OLED - Organic light emitting diode или ОСИД) за счет использования нового метода лазерной резки кремниевых подложек на основе лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ)

Ключевые слова: лазерное управляемое термораскалывание (ЛУТ); органические светоизлучающие диоды (OLED или ОСИД); разрезание кремниевых подложек.

QUALITY MANAGEMENT OF CRYSTALS OLED THROUGH THE USE OF NEW METHOD OF LASER CUTTING OF SILICON WAFERS

**Kondratenko V.S.;
Ivanov V.I.**

*Moscow technological university. Physico-
technological institute*

*@ Corresponding author Ivanov V.I.
e-mail: ivi061@gmail.com*

The article is devoted to the quality management of crystals with OLEDs by using a new method of laser cutting of silicon wafers based on laser controlled thermocracking (LCT).

Key words: laser controlled thermocracking (LCT); organic light-emitting diodes (OLEDs); cutting silicon wafers

Технология изготовления дисплеев и элементов отображения на основе органических светоизлучающих диодов (ОСИД) является дорогостоящей. Основная задача производства ОСИД – это повышение выхода годных изделий и соответственно повышение надежности ОСИД, которая решается производителями разными методами. В данной работе сделан акцент на новой технологии лазерной резки кремниевых подложек на кристаллы ОСИД в сборе с защитным стеклом, поскольку кремниевая подложка с ОСИД загерметизированная стеклянной крышкой, поступающая на операцию разделения, обладает большой себестоимостью, а традиционные методы резки, применяемые большинством передовых производителей, даже при оптимальных технологических параметрах не позволяют управлять качеством ОСИД [1-3], в то время как метод ЛУТ позволяет управлять качеством кристаллов из различных хрупких материалов [1, 4-8].

Новый метод лазерной резки кремниевых приборных пластин с ОСИД в сборе с защитным стеклом [4, 6] позволяет:

- управлять качеством кристаллов с ОСИД [9];
- уменьшить температуру нагрева органических структур во время процесса резки;
- уменьшить ширину дорожки реза с рабочей стороны практически до нуля;
- применять запатентованный способ герметизации ОСИД и микродисплеев ОСИД на кремниевой подложке [10], благодаря отсутствию сколов на рабочей поверхности кристаллов.

Обработка кремниевой подложки ведется с нерабочей стороны методом ЛУТ по предварительным надрезам, нанесенным с помощью УФ-лазера ($\lambda = 356$ нм) по краям линий реза в первом направлении и по всей длине резов во втором направлении. Обработка происходит в одном технологическом цикле, процесс контролируется при помощи ИК камеры CCD Near IR AnalogCamera CCIR NT56-848 с диапазоном чувствительности в спектре 1460–1625 нм и объективом 1.5X AuxiliaryLensfor VIS 7X ZoomLenses 1,5X, которая позволяет получать 12-ти кратное увеличение изображения пластины на дисплее ПК установки РТ-350 [11].

При разработке метода, была рассчитана математическая модель [12], позволяющая:

- оптимизировать технологические параметры процесса ЛУТ кремниевых приборных пластин с ОСИД в сборе с защитным стеклом;
- определить максимальную температуру нагрева рабочей стороны пластины, исключая деградацию структур ОСИД.

При ЛУТ оптимальные параметры лазерного пучка должны составлять $2a \times 2b \approx 1400$ мкм \times 200 мкм, что соответствует эллиптичности 7:1, плотность мощности лазерного излучения ≈ 1190 Вт/мм², скорость 50 мм/с. Для нанесения предварительных надрезков УФ-лазером ($\lambda = 356$ нм), его мощность должна составлять $\sim 4,5$ Вт с частотой модуляции порядка 100 кГц, параметры лазерного пучка должны быть $0,05 \times 0,05$ мм², скорость обработки 30 мм/с. Нанесение предварительных надрезков значительно улучшает качество кристаллов, получаемых после ЛУТ, более того ско-

рость ЛУТ во втором направлении увеличивается до 80 мм/с.

На рис. 1 представлен схематический чертеж кристаллов микродисплея МДО 01 [13], из которого видно, что минимальное расстояние от линии реза до органических структур области отображения составляет 1,68 мм.

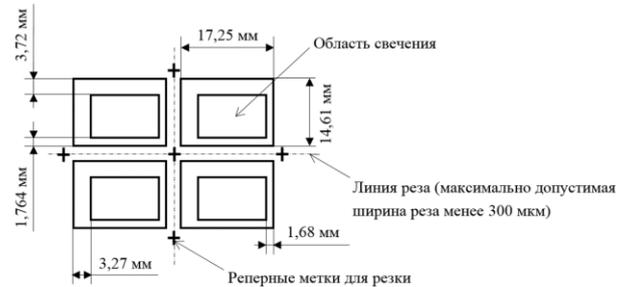


Рис. 1. Схематический чертеж кристаллов микродисплея МДО 01

Благодаря математическому моделированию процесса лазерной резки [12], установлено, что при лазерной резке максимальные температуры нагрева рабочей стороны пластины на расстоянии 1,68 мм ниже критической ($T_{крит.} = 90^\circ\text{C}$).

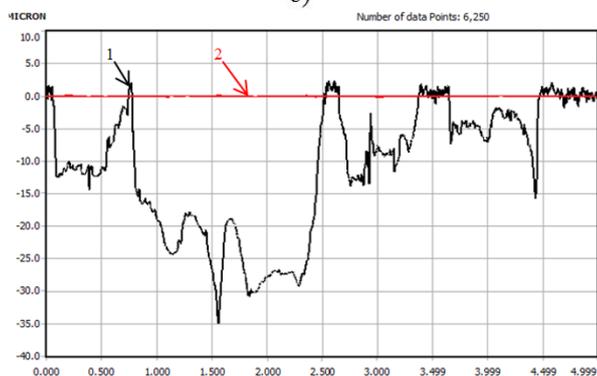
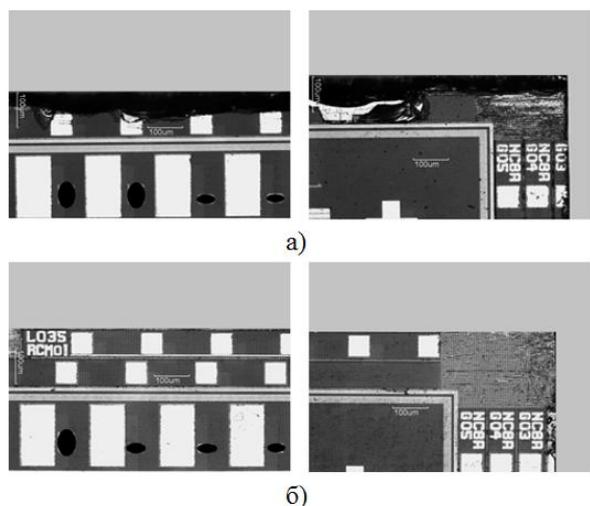
Проведено сравнение и количественная оценка качества торцов кристаллов, после механической резки и после ЛУТ была измерена шероховатость поверхности кристаллов по трем направлениям (рис. 2) с помощью профилометра модели ХР-200 фирмы Ambios (США).

Шероховатость по рабочей поверхности кромок кристаллов после дисковой резки составляет $R_a = 23,4079$ мкм, а после ЛУТ не более $R_a \sim 0,005$ мкм.

Произведено сравнение выхода годных кристаллов для МДО 01 при применении дисковой алмазной резки и нового метода лазерной резки на основе ЛУТ (рис. 3).

Средний выход годных кристаллов для микродисплеев на ОСИД при лазерной резке кремниевых пластин составил 96,6%, а при дисковой алмазной резке – 73,9%. Метод ЛУТ по предварительным надрезам устраняет проблему отклонения резов в местах пересечения. При этом качество рабочих кромок кристаллов существенно лучше (шероховатость поверхности после ЛУТ на 5 порядков ниже по сравнению с

резкой алмазным диском), а выход годных кристаллов выше на 22,7%.



в)

Рис. 2. Фотографии кромок кристаллов после алмазной дисковой резки (а), после ЛУТ (б), и профилограммы рабочих поверхностей кромок пластин после дисковой резки (в – 1) и после ЛУТ (в – 2).

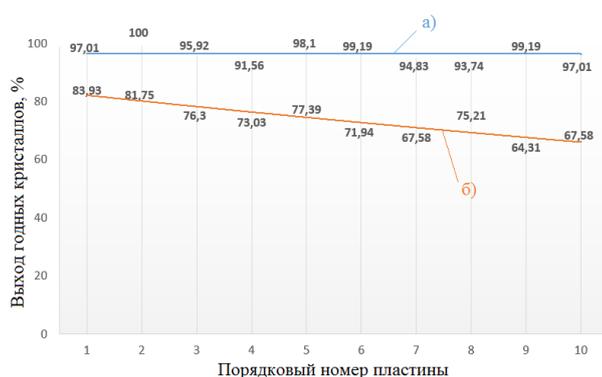


Рис. 3. Выход годных кристаллов после резки кремниевых пластин: а) лазерная резка методом ЛУТ; б) резка алмазным диском

Для качественного внедрения нового технологического процесса лазерной резки в производство была разработана и вне-

дрена система межоперационного технического контроля (рис.4) [14].

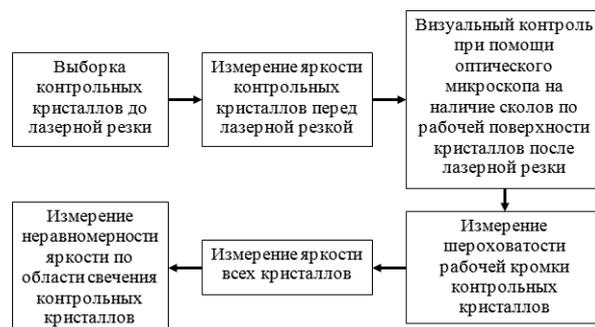


Рис. 4. Система межоперационного контроля качества кристаллов ОСИД

Помимо выхода годных кристаллов, на общий выход годных микродисплеев на основе ОСИД существенно влияет соответствие получаемых изделий основным параметрам и нормам [13]. В ОАО ЦНИИ «Циклон» была разработана и сертифицирована методика измерений электрофизических, светотехнических и спектральных характеристик твердотельных источников освещения. После полного производственного цикла тестовых образцов монохромных микродисплеев МДО 01 белого цвета свечения с применением нового метода лазерной резки было отобрано 5 контрольных образцов с пластины для проведения сертифицированных измерений. Результаты измерений основных параметров контрольных образцов МДО 01 при номинальных режимах эксплуатации представлены в Таблице 1.

Таблица 1
 Результаты измерений основных параметров контрольных образцов МДО 01

Контрольный образец №	Напряжение, В	Ток, мА	Световой поток, мЛм	Энергетический поток, лм/Вт	Яркость, кд/м ²
1	4	5	350	25	540
2			500	33	580
3			600	36	700
4			580	33	600
5			480	33	560

Результаты измерений контрольных образцов МДО 01, полученных при произ-

водстве с применением лазерной резки, соответствуют техническим требованиям при номинальных режимах эксплуатации.

В качестве дополнительного метода оценки влияния нагрева была измерена равномерность яркости по области свечения тех же образцов после ЛУТ при помощи люксметра/цветоанализатора LumiCam 1300 производства компании Instrument Systems (Германия). Неравномерность по яркости микродисплеев МДО 01 не должна превышать 15%, неравномерность по яркости измеренных контрольных образцов МДО 01 не превышает 10%.

Установлены следующие существенные преимущества лазерной резки методом ЛУТ по предварительным надрезам: 1) высокие скорости резки 50–80 мм/с; 2) высокая степень качества резки за счет отсутствия микротрещин и сколов по линии реза на рабочей поверхности кремниевой подложки; 3) структуры ОСИД не деградируют; 4) качество рабочей кромки изделий после ЛУТ по надрезам соответствует качеству финишной полировки; 5) резка методом ЛУТ по предварительным надрезам позволяет на порядок увеличить производительность процесса разделения кремниевых пластин на кристаллы и поднять на 22,7% выход годных изделий.

Список литературы

1. Кондратенко В.С., Иванов В.И. Влияние методов резки кремниевых подложек на качество органических светоизлучающих диодов // *Прикладная физика*, №1, 2017. 36-40 с.
2. Кондратенко В.С., Иванов В.И., Зобов А.К. Применение метода лазерного управляемого термораскалывания при разделении кремниевых приборных пластин с ОСИД в сборе с защитным стеклом // *Сборник научных трудов: материалы Всероссийской научно-технической конференции «Оптические технологии, материалы и системы» («ОПТО-ТЕХ-2016»): Московский технологический университет, Физико-технологический институт. Выпуск I (электронный ресурс) / Под редакцией д.т.н., проф. Кондратенко В.С. – М.: МТУ. 2016. 53-57 с.*
3. Иванов В.И. Методы резки кремниевых приборных пластин на чипы в производстве органических микродисплеев // *Интернет-журнал “Науковедение”*, 2014 №4 (23) [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2014 -

Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/87TVN414.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.

4. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Иванов В.И. Разделение органических светоизлучающих диодов на кремниевой подложке методом лазерного управляемого термораскалывания // *Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России*. №2. 2014. 76 - 81 с.
5. Кондратенко В.С., Зобов А.К., Наумов А.С., Лу Хунг-Ту Технология прецизионной лазерной резки сапфировых пластин // *Фотоника*. №2(50). 2015. М. 42-52 с.
6. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Иванов В.И., Зобов А.К. Повышение эффективности процесса лазерной резки кремниевых приборных пластин на кристаллы ОСИД // *Приборы*, №9 (183), М. 2015, 49-55 с.
7. Гамкрелидзе С.А., Кондратенко В.С., Стыран В.В., Трофимов А.А., Щаврук Н.В. Влияние разработанных базовых методов резки приборных пластин из сапфира и карбида кремния на выход годных нитридгаллиевых СВЧ монолитных интегральных схем // *Успехи прикладной физики*. №1. 2017. 80-85 с.
8. Гамкрелидзе С.А., Кондратенко В.С., Стыран В.В., Трофимов А.А., Щаврук Н.В. Влияние методов резки приборных пластин сапфира и карбида кремния на технико-эксплуатационные параметры монолитных интегральных схем // *Приборы*. №1. 2017. М. 43-50 с.
9. Стандарт организации Физико-технологического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московский технологический университет (МИРЭА)» СТО-31.260-001-2017 «Качество кристаллов с интегральными микросхемами и светоизлучающими структурами. Требования к технологическому процессу лазерной резки подложек из кремния и сапфира методом лазерного управляемого термораскалывания».
10. Кондрацкий Б.А., Усов Н.Н., Грачев О.А., Иванов В.И. и др. Способ герметизации OLED и микродисплея OLED на кремниевой подложке с помощью стеклообразной пасты // *Патент на изобретение РФ № 2594958*, 28.08.16.
11. Кондратенко В.С., Гиндин П.Д., Сорокин А.В., Хлызов В.А. Система видео контроля позиционирования заготовок на установках лазерного управляемого термораскалывания // *Приборы*. № 1(139). 2012. М. 50-53 с.
12. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Иванов В.И. Математическое моделирование процесса лазерной резки кремниевых прибор-

ных пластин с органическими светоизлучающими структурами // *Educatio*. № 7 (14). Ч.2. 2015. 24-29 с.

13. Усов Н.Н., Грачев О.А., Кондрацкий Б.А., Нуриев А.В. и др. Микродисплеи на основе органических светодиодов МДО 01 // *Современная электроника*. №1. 2016. 34-37 с.

14. Иванов В.И. Методы контроля качества кремниевых кристаллов с ОСИД после лазерной резки // *Результаты научных исследований: сборник статей VII Междунар. науч.-практ. конф. (5 октября 2015 г., г. Екатеринбург)*. – Уфа: АЭТЕРНА, 2015. 43-48 с.

УДК 699.88

ГИБРИДНЫЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ КАБЕЛИ - НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЯ НАД ПОЖАРАМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ АВАРИЯМИ

Кондратенко В.С., д.т.н., профессор
Сакуненко Ю.И., к.т.н.
Кобыш А.Н., к.т.н., доцент
Бурляй Д.А., аспирант

*Московский технологический университет,
 Физико-технологический институт*

© Автор для переписки: Кондратенко В.С.
 e-mail: vsk1950@mail.ru

Статья посвящена возможностям использования гибридных мультисенсорных кабелей.

Ключевые слова: гидросенсор, термокабель, рефлектометрия

HYBRID MULTITOUCH CABLES - NEW INSTRUMENT OF CONTROL OVER THE FIRES AND TECHNOGENIC ACCIDENTS

Kondratenko V.S.
Sakunenko Yu.I.
Kobysh A.N.
Burlyay D.A.

Moscow technological university, Physico-technological institute

© Corresponding author Kondratenko V.S.
 e-mail: vsk1950@mail.ru

The article is devoted to the possibilities of using hybrid multisensory cables.

Key words: hydrosensor, thermal cable, reflectometry

Традиционные полимерные композиты обладают хорошими тепло- и электроизоляционными свойствами, которые успешно используются в различных областях техники. Коэффициент их теплопроводности составляет порядка 0,2 W/m·K. С появлением теплопроводных полимерных композитов с коэффициентом теплопроводности от 2 до 20 W/m·K последовало их активное внедрение для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов вместо традиционных алюминиевых радиаторов [1-15].

Разработан и запатентован [16] «интеллектуальный» гибридный кабель, позволяющий одновременно получать информацию о возникновении перегревов, появлении огня, воды и водяного пара по всей его длине, а также определять конкретное место их появления.

Кабель состоит из трёх пар сенсорных жил, выполняющих различные функции.

В качестве несущей основы кабеля используется пара т.н. сорбционных гидросенсорных жил [17], представляющих собой металлический провод с двойной оболочкой из высоко электропроводящего полимерного композита и капиллярно-пористого материала (рис. 1,а). Капли влаги сорбируются на поверхности капиллярно-пористой оболочки, пропитывают её и делают электропроводной. При подведённом к металлическим проводам напряжении через это место начинает течь электрический ток, сигнализируя тем самым о появлении

на поверхности жил воды. Обладая, по существу, молекулярным уровнем чувствительности гидросенсорные жилы способны генерировать электрический сигнал при появлении на их поверхностях практически любых малых количеств воды и водяного пара (от 0,1гр).

Вторая пара сенсорных жил является модификацией известных и хорошо зарекомендовавших себя термокабелей [18]. В качестве сенсора температуры в них используется термочувствительный материал, нанесённый на два механически напряжённых провода (витая пара). Под воздействием температуры термочувствительный полимерный слой размягчается, и два проводника замыкаются, сигнализируя о достижении в контрольной точке некоторого критического значения температуры (рис. 1,б).

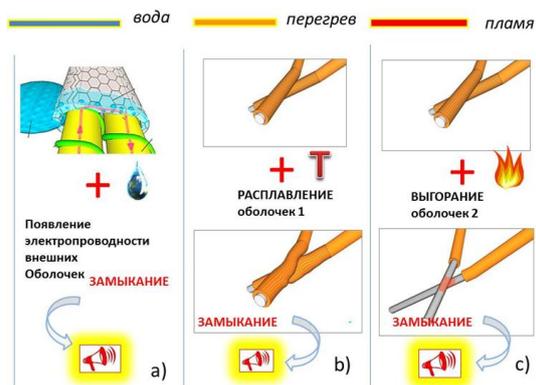


Рис. 1. Схемы оповещения о различных событиях с помощью гибридного кабеля

Назначение третьей пары сенсорных жил – извещение о воздействии на тот или иной участок кабеля открытого пламени. Она выполняет для близлежащего к кабелю пространства функцию датчика пламени. Внешне конструкция этой пары не отличается от теплового датчика (рис. 1,б), но в качестве изолирующего слоя используется специально разработанный высокотемпературный и высоковязкий в расплавленном состоянии полимерный композит. В результате воздействия пламени изолирующий слой полностью выгорает, позволяя механически напряженным проводам этих жил замкнуть контролируемую электрическую цепь (рис. 1,с).

Каждая пара сенсорных жил позволяет производить измерения по двум, качественно различным схемам:

а) пассивной, когда традиционно регистрируется лишь факт электрического замыкания на измеряемых линиях;

б) активной, основанной на периодической посылке по измеряемой линии зондирующих электрических импульсов и анализу отраженных сигналов (метод рефлектометрии). Это позволяет регистрировать не только факт возникновения события (перегрев, появление воды, пара или пламени), но и точно вычислить его координаты.

Таким образом, любой участок конструкции разработанного гибридного кабеля способен быть одновременно источником важнейшей информации о перегреве, появлении пламени, воды или пара, а также впервые в мире выполнять функцию своеобразного водяного датчика, сообщая о начале штатной процедуры пожаротушения.

Не вызывает сомнения, что возможность получения информации о появлении распылённой воды в горящем помещении, подтверждающей начало процедуры тушения пожара, имеет решающее значение для выбора правильной стратегии и тактики пожаротушения.

Основным целевым назначением нашего гибридного кабеля является выполнение функции датчика начала тушения пожара. Он может быть смонтирован практически в любом месте, в любой точке пространства. Это впервые предоставило возможность установки таких датчиков непосредственно у источника распыления воды – вблизи водораспыляющих форсунок (спринклеров или дренчеров) – рис. 2. Первые капли распыляемой воды замыкают гидросенсорные жилы кабеля и генерируют сигнал о начале тушения пожара.

При этом следует отметить, что один кабель может собирать информацию по всей своей многометровой длине с нескольких десятков спринклеров или дренчеров, т.е. может заменить несколько десятков классических датчиков, делает избыточным прокладку для них дополнительных дорогостоящих коммуникацион-

ных сетей и впервые достоверно и оперативно получить информацию о начале процедуры пожаротушения.

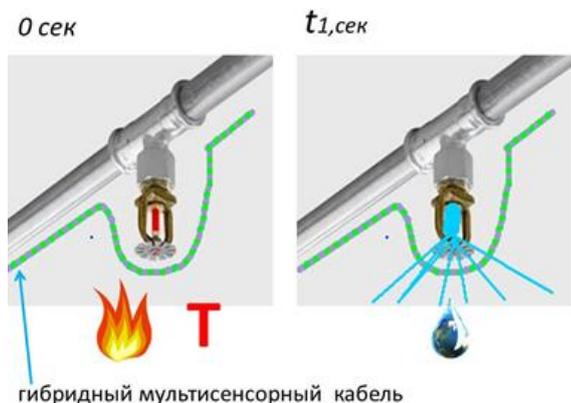


Рис. 2. Схема установки гибридного кабеля у источника распыления воды

Гибридный кабель может использоваться в двух режимах работы, условно названных режимом «будни» и режимом «чрезвычайных ситуаций» (режим ЧС).

В режиме «будни» кабель играет роль 3D гидросенсорного кабеля, т.е. реагирует на любое появление в контролируемых точках воды и водяного пара в результате утечек, заливов, прорывов трубопроводов и т.д.

Режим ЧС является целевым и рассчитан на формирование сообщений при возникновении и развитии в контролируемых помещениях таких признаков чрезвычайных ситуаций, как превышение температуры помещения выше некоторой критической, появление воды или пламени.



Рис. 3. Схема прокладки гибридного кабеля в виде потолочного контура защиты от затоплений помещений с верхних этажей.

На рис. 3 изображена схема прокладки гибридного кабеля в виде потолочного контура защиты от затоплений помещений с верхних этажей.

Типичное время срабатывания гибридного кабеля (время от начала воздействия внешнего фактора до момента выдачи кабелем сигнального извещения): по воде 1–3 сек, по температуре 5–10 сек, по пламени 10–15 сек.

Список литературы

1. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Лу Хунг-Ту, Наумов А.С. «Фронтальная система охлаждения высокомоощных светодиодных кластеров из теплорассеивающих полимерных композитов»//«Приборы». 2013. №11. С.30-33.
2. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Криваткин А. «Трансэнергопластики: новый вызов металлам»//«Пластик». №1-2. 2014. С.28-31.
3. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. «Двухстороннее охлаждение высокомоощных светодиодных кластеров»//«Полупроводниковая светотехника». №2. 2014. Москва. С.8-10.
4. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. «Необычные пластики – новые решения»//«Ритм». №10. 2014. Москва. С. 10-15.
5. Kondratenko V.S., Sakunenko Y., Lu Hung-Tu, Naumov A.S. New Approaches and Materials for the Effective Frontal Cooling of the Powerful Light-Emitting Diode Clusters//LED Japan Conference & Expo - Strategies in Light Japan 2014, Yokohama, Japan, October 15-17, 2014.
6. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. «Альтернатива алюминию - теплорассеивающие полимерные композиты, новые решения при охлаждении высокомоощных светодиодных кластеров»// «Наука и технологии в промышленности». №3. 2014. Москва. – С.46-49.
7. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. «Инновационные подходы к охлаждению высокомоощных светодиодных кластеров»//Фотоника. №2(50). 2015. Москва. – С.106-114.
8. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Бурляй Д.А. Трансэнергопластики и их инновационный потенциал//«Вестник МГТУ МИРЭА». № 3(8). 2015. Москва С.12-21.
9. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Металлогидридные термопрокладки – новый вид термоинтерфейсов для LED-кластеров//«Полупроводниковая светотехника» № 6. 2015. Москва. – С.72-77.
10. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. «Светодиодный светильник»//Патент РФ №130669 по заявке № №2012156727 от 26.12.2012.
11. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. «Светодиодный светильник»//Патент РФ

№129594 по заявке № 2013100008 от 09.01.2013.

12. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Устройство для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов»// Патент РФ № 2546963 по заявке №2013146798 от 21.10.2013

13. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Устройство для отвода тепла от электронных компонентов, размещенных на печатной плате»// Патент РФ №138222 по заявке №2013146799 от 21.10.2013.

14. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Устройство отвода тепла от тепловыделяющих объектов»// Патент РФ №2602805 по заявке №2015129660 от 21.07.2015.

15. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Устройство для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов»// Патент РФ № 2586620 по заявке №2015105924 от 24.02.2015

16. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Мультисенсорный датчик критических ситуаций»// Патент РФ №2536766 по заявке №2013155732 от 17.12.2013.

17. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Датчик утечек электропроводящих жидкостей»// Патент РФ №2545485 по заявке №2013155730 от 17.12.2013.

18. ГОСТ Р 53325-2012 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний.

УДК 621.92

ОБРАБОТКА СИТАЛЛА НОВЫМ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Кондратенко В.С.¹, д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой;
Кобыш А.Н.¹, к.т.н., доцент;
Бурляй Д.А.¹, аспирант;
Сакуненко Ю.И.², к.т.н.;
Бобков А.В.³, к.т.н.;

¹Московский технологический университет,
Физико-технологический институт

²ООО «Инжматик»

³АО «Геофизика-Космос»

® Автор для переписки: Бурляй Д.А.
e-mail: burljajj-dmitrij@rambler.ru

Статья посвящена использованию нового алмазно-абразивного инструмента на основе теплопроводного полимерного композита при обработке ситалла.

Ключевые слова: теплопроводные полимерные композиты; ситалл; шлифование; полирование.

PROCESSING GLASS-CERAMIC NEW DIAMOND TOOL

Kondratenko V.S.¹;
Kobysh A.N.¹;
Burlyay D.A.¹;
Sakunenko Yu.I.²;
Bobkov A.V.³;

¹Physical and Technological Institute of Moscow
Technological University

²LLC "Engimatik"

³Joint-Stock Company «ROSCOSMOS»

® Corresponding author e-mail: e-mail: burljajj-dmitrij@rambler.ru

The article is devoted to the use of the new diamond-abrasive tool on the basis of thermally conductive polymer composite in the processing of glass-ceramics.

Keywords: heat-conducting polymer composites; Sitall; grinding; polishing.

Технология обработки стекла и ситаллов является важным и трудоёмким элементом при изготовлении деталей. Вопросы обработки указанных материалов с помощью различных типов связанного алмазно-абразивного инструмента и с применением различных составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) посвящено большое количество работ [1-6].

С появлением нового класса полимерных композитов с относительно высокой теплопроводностью (4-20 Вт/м·К) был создан прецедент в использовании этих материалов в различных объектах современной техники [7]. Такой композит нашёл своё применение в процессе обработки в качестве связки для нового алмазно-абразивного инструмента (рис.1) [8]. В состав композиции для связанного алмазно-абразивного инструмента входит абразив, синтетическое связующее и смесь искусственного рекристаллизованного графита и пирографита.



Рис. 1. Алмазно-абразивный инструмент на основе теплопроводного полимерного Композита



Рис. 2. Шлифовальный станок Chennai Metco Vainpol-Auto

Обработка ситалла проводилась на современном станке Chennai Metco Vainpol-Auto (рис. 2) с высоким диапазоном рабочих скоростей 50-600 об/мин. Данное оборудование может быть использовано для грубого и тонкого шлифования и полирования поверхностей заготовок оптических деталей методом свободного притира и с использованием жестких осей.

Проведены испытания связанного алмазного инструмента зернистостью 80/63 мкм со связкой на основе теплопроводного композита (ТПК) с теплопроводностью 15

Вт/м·К при шлифовании ситаллового диска диаметром 80 мм. Обработка проводилась при удельной нагрузке в диапазоне от 0,3 до 0,5 кг/см² и скоростью вращения шпинделя от 60 до 120 мин⁻¹.

На рис. 3 представлен график зависимости съёма материала от времени шлифования при различных удельных давлениях при постоянной скорости вращения шпинделя 60 мин⁻¹. В качестве СОЖ в данном эксперименте использовалась водопроводная вода.

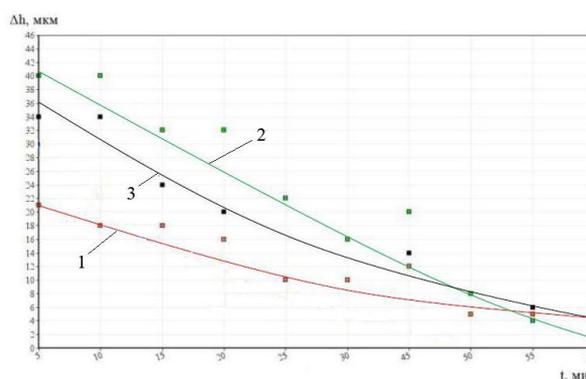


Рис. 3. График зависимости съёма материала от времени при разных удельных нагрузках:
 1 – 0,34 кг/см², 2 – 0,44 кг/см², 3 – 0,5 кг/см²

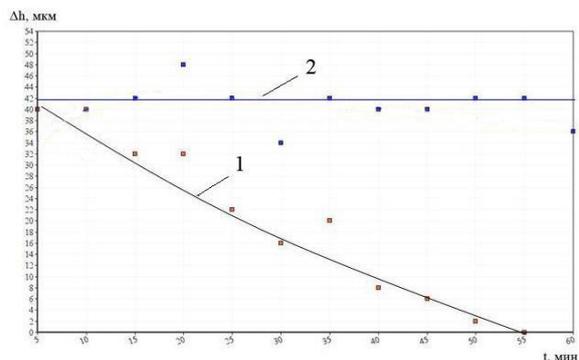


Рис.4. График зависимости съёма материала от времени:
 1 – с водой, 2 – с СОЖ на основе полиэтиленполиамин [5, 9]

Таким образом, оптимальный состав связанного алмазно-абразивного инструмента и оптимальный состав СОЖ обеспечивают оптимальные условия обработки, а именно: улучшенные условия теплоотвода из зоны обработки и охлаждения инструмента при высоких скоростях обработки и повышенных нагрузках на инструмент,

высокую абразивную способность инструмента, высокую износостойкость инструмента и высокое качество обработки оптической поверхности ситалла, стекла, сапфира и других различных материалов.

Список литературы

1. Кондратенко В.С. Шлифовальный инструмент и состав для его изготовления//Международная публикация WO02/34469 по заявке РСТ/RU 01/00424 от 22.05.2002
2. Кондратенко В.С., Котляров Ю.В., Алиферкина Е.М., Бобков А.В., Носачев И.В., Уваров С.В. Обработка подложек кремния связанным алмазным инструментом// Приборы. 2005. № 7. С. 36-38.
3. Кондратенко В.С., Кобыш Н.И. Шлифовально-полировальный инструмент// «Инструментальный мир». 2009. № 1(30). С. 24-25.
4. Кондратенко В.С. Алмазная обработка материалов//Монография. М.: «Машиностроение». 2011. 191 с. ISBN 978-5-94275-564-
5. Кондратенко В.С., Кобыш Н.И. Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки стекла и других материалов//Патент РФ №№2475522 по заявке № 2011150867 от 14.12.2011. Оpubл. 20.02.2013. Бюл.№5.
6. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н. Рогов А.Ю. Шлифовка и полировка по-новому// «РИТМ». №1. 2015. Москва. С.34-40.
7. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Криваткин А. Трансэнергопластики: новый вызов металлам//«Пластикс». №1-2. 2014. С.28-31.
8. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Кобыш А.Н., Бурляй Д.А. Алмазно-абразивный инструмент на основе теплопроводных полимерных композитов//Материалы МНТК «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике»; Московский технологический университет, ФТИ. Выпуск 2 (XXII) / Под редакцией Кондратенко В.С. – М.: 2016. – С. 69-71.
9. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н., Бурляй Д.А. Применение наноионизированной воды при изготовлении СОЖ//Сборник трудов ВНТК «Оптотех – 2016». Москва. 2016. С.119-121.

УДК 628.1.034.4

ЩЕЛОЧНО-ИОНИЗИРОВАННАЯ ВОДА, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Кондратенко В.С.¹, д.т.н., профессор;
Кобыш А.Н.¹, к.т.н., доцент;
Рогов А.Ю.¹ зам. директора;
Кондратенко Е.В.², зам. ген. директора по маркетингу

¹Московский технологический университет.
Физико-технологический институт

²ООО «Инжматик»

© Автор для переписки: Рогов А.Ю.
e-mail: Rogov_AY@mguipi.ru

Статья посвящена оценке возможностей и перспектив использования щелочно-ионизированной воды в различных промышленных применениях: вода для пригото-

вления СОЖ, разбавитель для водорастворимых СОЖ, экологичное средство очистки готовой продукции и технологического оборудования, средство дезинфекции и устранения неприятных запахов.

Ключевые слова: щелочно-ионизированная вода; СОЖ; очищающее средство; средство дезинфекции.

ALKALINE-IONIZED WATER, PROSPECTS INDUSTRIAL APPLICATIONS

Kondratenko V.S.¹;
Kobysh A.N.¹;
Rogov A.Yu.¹;
Kondratenko E.V.²;

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

²«Engimatic LLC»

© Corresponding author: Rogov A.Yu.
e-mail: Rogov_AY@mguipi.ru

The article is devoted to the evaluation of opportunities and prospects for the use of alkaline-ionized water in different

industrial applications: water for cooking coolant, thinner for water-soluble coolant, eco-friendly cleaning finished products and process equipment, means of disinfection and eliminate unpleasant-tion of odors.

Key words: alkaline-ionized water; coolant; cleaning agent; disinfectant.

К середине 20 века и, особенно в последние десятилетия, в результате быстрого развития промышленности, транспорта, энергетики резко усилилась антропогенная нагрузка на природу; стала очевидной опасность истощения естественных ресурсов, необратимого загрязнения и изменения окружающей среды. При этом масштабы загрязнений столь велики, что естественные способности биосферы к нейтрализации вредных веществ и самоочищению практически исчерпаны. Ведутся все новые разработки и преобразования в производствах и технологических процессах. Но все достижения прогресса теряют значение, когда они подвергают человека опасности и угрожают его жизни [1].

Выбор в пользу использования экологически безопасных продуктов, как альтернативы промышленной и бытовой химии – очевидный тренд обеспечения безопасности здоровья человека.

Современные производства не могут обойтись без широкого спектра промышленной химии: смазочно-охлаждающих жидкостей, средств очистки и консервации, подготовки поверхностей металлов (обезжиривание, активация, защита от коррозии), очистки сточных вод и др. Эффективность большинства вышеперечисленных продуктов основывается на их высокой щелочности, определяемой водородным показателем pH. Промышленные чистящие средства, средства защиты от коррозии имеют, как правило, сильнощелочную среду с pH больше 11,0 за счет наличия в своем составе химических компонентов – едких щелочей, небезопасных для окружающей среды и человека [2].

Существуют способы получения активных сред со значением pH более 11,0 нехимическим путем, например, с помощью электролиза воды, когда вода у анода становится кислой и приобретает положительный заряд, а у катода, наоборот, ще-

лочной и приобретает отрицательный заряд. Значение pH при этом может находиться в пределах от 2 до 12 [3].

Исследование свойств полученной с помощью электролиза щелочной воды со значением pH, превышающим 11,0, показало ее эффективность в бытовых применениях:

- приготовление пищи: мытье фруктов и овощей, разделочных досок;
- уборка в квартире: мытье полов, протирка пыли, очистка бытовой техники;
- использование щелочной воды в качестве пятновыводителя;
- при ручной мойке посуды, в целях экономии моющего средства [4].

Однако такая щелочная ионизированная вода практически не хранится, ее pH со временем быстро падает, что ограничивает ее использование в промышленности.

Существуют примеры создания оборудования для активации воды и научные исследования, направленные на промышленное применение электроактивированной воды, например, для стерилизации медицинских приборов и оборудования [5] и в птицеводстве [6]. В обоих применениях, оборудование, обеспечивающее производство и использование электроактивированной воды размещалось непосредственно в местах ее потребления для исключения фазы хранения.

В последние годы, в особенности за рубежом, наблюдается растущая тенденция производства продуктов на основе электроионизированной воды для массового потребителя в оригинальной упаковке и с продолжительным сроком хранения и использования. Таким образом в Китае тайваньской компанией «Nanoplus» под брендом «ОНTrust» производится широкая линейка потребительских товаров, использующих нано-ионизированную воду (NSIW): увлажнители воздуха для помещений, автомобильные внутрисалонные распылители для очищения воздуха от пыли, микробов и неприятных запахов, также NSIW реализуется как расходный продукт для вышеперечисленных товаров и в виде флаконов-распылителей для индивидуального использования [7].

Уникальная способность NSIW ингибировать (подавлять) болезнетворные микробы и вирусы подтверждается отчетами исследовательского центра новых вирусных инфекций университета Чангэн (Тайвань), размещенными на сайте компании производителя [8]. Исследования проводились в отношении вирусов гриппа А, гриппа В, энтеровируса 71 и коксаки-вируса В. Результаты экспериментов, проводившихся на протяжении трех месяцев, показали способность NSIW ингибировать штаммы вышеперечисленных вирусов. Вместе с тем протоколы испытаний центра тестирования SGS (Шанхай), размещенные на той же странице сайта, демонстрируют безопасность NSIW для человека и животных: наноионизированная вода не обладает оральной токсичностью и не раздражает кожу.



Рис. 1. Опытно-лабораторная установка производства NSIW с рН, равным $12,5 \pm 0,3$

По международному трансферту технологий компанией «Nanoplus Ltd.» российской стороне передана опытнo-лабораторная установка по производству NSIW по запатентованной технологии с автоматически поддерживаемым в готовом продукте значением рН равным $12,5 + 0,3$ (рис. 1).

Основным технологическим процессом получения NSIW является ионизация специальным образом подготовленной водопроводной воды. В результате процесса получается ионизированная вода с рН 12,5

и окислительно-восстановительным потенциалом (ORP: - 900 мВ), которую в России было решено назвать щелочно-ионизированная вода (ЩИВ), причем сильная щелочность ЩИВ достигается не химическим способом, как в случае растворения каустической соды или других едких щелочей, а увеличенной концентрацией отрицательных ионов.

Структурная схема процесса производства ЩИВ приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема процесса производства ЩИВ

Запатентованная технология производства ЩИВ основана на ионизации подготовленной водопроводной воды, к которой добавляется специальный ингредиент с условным названием «РОСА» и в автоматическом режиме поддерживается значение рН равное $12,5 + 0,3$.

Процесс ионизации подготовленной воды показан на рис. 3

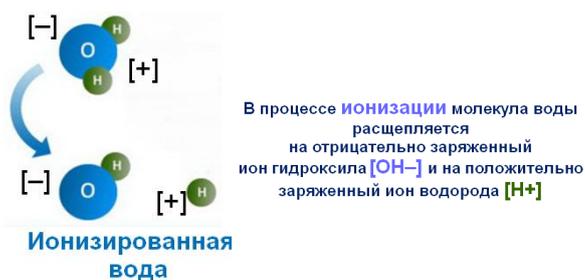


Рис. 3. Процесс ионизации воды

ЩИВ по своему показателю рН является сильнощелочной водой, которая, однако, не вызывает химических ожогов, раздражения кожи и абсолютно безопасна для человека при соблюдении правила: «использовать только для наружного применения». По результатам испытаний на безопасность, проведенных ФБУН НИИ Дезинфектологии Роспотребнадзора (г. Москва), ЩИВ относится к 4 классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76, т.е. безопасна для человека и животных.

Уникальные свойства ЩИВ, а именно:

- мощная очистительная способность;
- блокирует коррозию;
- убирает неприятные запахи;
- дезинфицирующее и стерилизующее средство;
- способность уничтожать разные виды грибков и бактерий;
- безопасна, экологична и безвредна для человеческого организма, обусловлены ее составом (H_2O – 99.83%; KOH – 0.17%; гидроксил – «ОН–») и видоизмененной кластерной структурой. Кластеры обычной воды состоят из 15–20 молекул H_2O , кластеры ЩИВ состоят из 4–6 молекул H_2O , поэтому из-за меньших кластеров ЩИВ имеет большую активность и способность к очистке – проникать в загрязняющие агломераты.

В Физико-технологическом институте Московского технологического института был проведен цикл исследований свойств ЩИВ, подтвердивших, в том числе, неизменность уровня pH в течение длительного времени (не менее полугода, при соблюдении правил хранения).

ЩИВ себя хорошо зарекомендовала в качестве основы для производства СОЖ и разбавителя для СОЖ. Замена обычной воды в составе СОЖ на ЩИВ никак не влияет на эксплуатационные показатели СОЖ, не происходит реакций с веществами, входящими в её состав, в тоже время, испытания по обработке подложек из стекла марки БК-7 таблетированным связанным алмазно-абразивным инструментом на основе органической связки марки РТ-100 показали, что использование СОЖ с ЩИВ позволяет повысить стойкость и эксплуатационный период режущего инструмента по сравнению с обычной СОЖ [9].

Были также проведены сравнительные испытания блокирующих коррозию свойств ЩИВ по сравнению с обычной водой (рис. 4).

Чистящие свойства ЩИВ испытывались в эксперименте по отмыванию салфеток, смоченных в красном вине, водой и ЩИВ. На рис. 5 показан результат очистки салфеток, предварительно смоченных в красном вине.

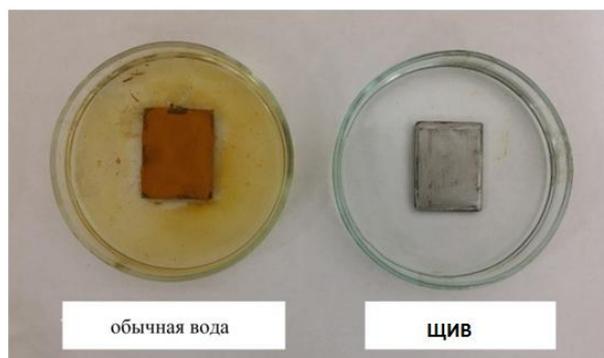


Рис. 4. Испытание стальной пластины на коррозию в обычной воде и в щелочно-ионизированной воде спустя неделю с начала эксперимента



а)



б)



в)

Рис. 5. Испытание чистящих свойств ЩИВ на примере очистки салфетки от красного вина: после первого смачивания (а), после 10 сек. смачивания (б), результат очистки (в)

Информационные материалы, представленные компанией «Nanoplus Ltd.» свидетельствуют, что NSIW все большее применение находит и в промышленности. Нано-ионизированную воду используют в следующих применениях:

- для очистки готовых изделий из стекла и оптического оборудования;
- для очистки изделий и оборудования электронной промышленности;
- в качестве разбавителя для СОЖ при металлообработке;

в качестве рециркулируемой воды на линиях покраски. В этих и других промышленных применениях использование NSIW позволяет значительно сократить потребление промывочной воды, предотвратить коррозию готовой металлической продукции и обрабатывающего оборудования, предотвратить процессы гниения и окисления СОЖ, улучшить рабочую среду.

Способность нано-ионизированной воды подавлять бактерии, вызывающие процессы гниения и окисления, следствием которых являются неприятные запахи, позволяет значительно сократить общие расходы предприятия на поддержание комфортной рабочей среды. Главной отличительной особенностью нано-ионизированной воды от других клининговых средств является то, что после использования, NSIW превращается в обычную воду и не требует дополнительных затрат на утилизацию.



Рис. 6. Установка обработки отработанных газов нано-микробузырьками NSIW

Следует отметить еще одну перспективную сферу применения нано-

ионизированной воды – использование ее в качестве нано-микробузырьков в системе обработки отработанных промышленных газов. Установка обработки отработанных газов нано-микробузырьками показана на рис. 6.

Нано-микробузырьки, имеющие диаметр от 10 микрон до сотен нанометров, обладающие большой удельной поверхностью и сильной окисляемостью, способны препятствовать попаданию в атмосферу мелких взвешенных частиц с размером до PM2.5, которые из-за своего малого размера и площади могут длительное время пребывать в атмосфере, вызывая смог. Система обработки также эффективно очищает отработанные газы от летучих органических веществ, таких как формальдегид, толуол и других веществ, а также задерживает неорганические загрязнители – сульфиды, нитриды, хлориды и другие загрязняющие вещества, которые в сочетании с влагой воздуха могут образовывать кислотные дожди.

В результате обработки вредные компоненты отработанных промышленных газов превращаются установкой в диоксид углерода и воду, а также связываются в гранулы, которые уже не растворяются и нетоксичны.

Таким образом представленные результаты испытаний и исследований NSIW и ЩИВ за рубежом и в России убедительно свидетельствуют об уникальных свойствах этого инновационного продукта и об огромном коммерческом потенциале щелочно-ионизированной воды с высоким рН и продуктов на ее основе.

Список литературы

1. Яхно А.С., Румянцева А.В. Экологические аспекты жизнедеятельности машиностроительных предприятий: проблемы и пути решения. [Электронный ресурс] // Уральский федеральный университет, Екатеринбург. URL: <http://greenconsumption.org/problemy-mashinostroeniya-v-rossii>, (дата обращения: 18.03.2017).
2. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е пер. и доп. в трех томах. Том III. Неорганические и элементоорганические соединения. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В.

Лазарева и докт. биол. наук проф. И.Д. Гада-
 скиной. Л. «Химия», 1977.

3. Ингуна Мукане. Ионизированная вода:
 действительно ли это полезно? [Электронный
 ресурс] <http://rus.jauns.lv/raksts/realno-neveroyatno/81567-ionizirovannaya-voda-deystvitelno-li-eto-polezno>, (дата обращения: 18.03.2017).

4. Применение щелочно-ионной воды. [Элек-
 тронный ресурс] http://microwater.com.ua/ru/alkaline_water/1/ (дата обращения: 18.03.2017).

5. Паничева С.А., Новые технологии дезин-
 фекции и стерилизации сложных изделий ме-
 дицинского назначения. Под ред. Бахира В.М.
 Академия медико-технических наук Россий-
 ской Федерации. Москва 1998 г.

6. Филоненко В.И. Электроактивированная
 вода в птицеводстве / В.И. Филоненко, С.И.
 Спирина, В.А. Офицеров и др. // Сб. науч. тр.

Всесоюз. н.-и. и технол. ин-т птицеводства.
 2000 - С.242-249.

7. Продукты под брендом «OHTrust».
 [Электронный ресурс] <http://www.ohtrust.asia/shop/> (дата обращения: 19.03.2017).

8. Сертификаты испытаний продуктов под
 брендом «OHTrust». [Электронный ресурс] <http://www.ohtrust.asia/validation-certification/>
 (дата обращения: 19.03.2017).

9. Кондратенко В.С., Кобыли А.Н. Бурляй
 Д.А. Применение наноионизированной воды
 при изготовлении СОЖ. Сборник научных
 трудов: материалы Всероссийской научно-
 технической конференции «Оптические тех-
 нологии, материалы и системы» («ОПТОТЕХ-
 2016»): Московский технологический универ-
 ситет, Физико-технологический институт.
 Выпуск I (электронный ресурс) / Под редакци-
 ей д.т.н., проф. Кондратенко В.С. – М.: МТУ.
 2016.

УДК 536.21

НОВЫЙ ТИП ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСОВ

Кондратенко В.С., д.т.н., профессор
Сакуненко Ю.И., к.т.н.
Высоканов А.А., аспирант

Московский технологический университет,
 Физико-технологический институт

© Автор для переписки: Кондратенко В.С..
 e-mail: vsk1950@mail.ru

В работе описан новый тип высокоэффективного ме-
 таллогибридного термоинтерфейса. Новое устройство
 для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов
 выполнено в виде тонких металлических перфорирован-
 ных пластин, пространство между которыми заполнено
 теплопроводящей пастой. Такая конструкция металло-
 гибридного термоинтерфейса (МГИ) позволяет резко
 повысить теплоотвод от тепловыделяющих компонен-
 тов и приблизиться по эффективности к жидким ме-
 таллам при существенном ценовом преимуществе.

Ключевые слова: термоинтерфейс, теплопроводность,
 охлаждение, тепловыделяющие компоненты, теплоот-
 вод.

NEW TYPE OF HIGH-EFFICIENT THERMOINTERFACES

Kondratenko V.S.
Sakunenko Yu.I.
Vysokanov A.A.

Moscow technological university, Physico-
 technological institute

© Corresponding author Kondratenko V.S.
 e-mail: vsk1950@mail.ru

A new type of high-performance metal-hybrid thermal inter-
 face is described. A new device for removing heat from fuel
 components is made in the form of thin metal perforated
 plates, the space between them is filled with heat-conducting
 paste. This design of the metal-hybrid thermal interface
 (MGTI) makes it possible to sharply increase the heat dissi-
 pation from the fuel-releasing components and to approach
 them in terms of efficiency to liquid metals at a significant
 price advantage.

Key words: thermal interface, thermal conductivity, cooling,
 fuel elements, heat removal

При эксплуатации практически любого
 прибора электронной техники необходимо
 решать важную задачу по отводу тепла от
 тепловыделяющих компонентов. Как пра-
 вило, для этого используются специальные

устройства для рассеяния тепла, так называемые радиаторы. Радиаторы до недавнего времени изготавливались из алюминия. В последние годы алюминиевые радиаторы стали успешно заменять аналогичными устройствами, выполненными из специальных теплопроводных полимерных композитов с коэффициентом теплопроводности от 2 до 20 Вт/м·К [1-6].

Однако при любом типе теплорассеивающего радиатора существует задача обеспечения теплового контакта между тепловыделяющим элементом и теплорассеивающим радиатором. Для выполнения этой задачи и предназначены термоинтерфейсы. Они могут быть выполнены в виде теплопроводящих паст, теплопроводящих прокладок и даже жидких металлов. Любой тип термоинтерфейса должен обладать следующими основными параметрами:

- минимальным тепловым сопротивлением;
- стабильностью своих свойств в течение всего периода хранения и эксплуатации в широком диапазоне рабочих температур;
- практичностью и простотой нанесения, удаления и утилизации.

Всем перечисленным требованиям удовлетворяет новое устройство для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов, выполненное в виде тонких металлических перфорированных пластин, пространство между которыми заполнено теплопроводящей пастой [7].

Перфорированный металлический лист выполняет две основные функции. Во-первых, он является промежуточным носителем термопасты, а во-вторых, приспособлением для выдавливания и подачи пасты при монтаже на обе сочленяемые поверхности. Эта термопаста заполняет собой все воздушные промежутки и обеспечивает надежный термический контакт термоинтерфейса с сопрягаемыми поверхностями. Внешний вид МГТИ показан на рис. 1.

Главное же отличие МГТИ от существующих термоинтерфейсов – наличие мощного дополнительного механизма передачи тепла с помощью металлического каркаса. Непосредственно контактируя с

поверхностями, как источника тепла, так и радиатора, такой каркас напрямую, минуя термопасту, соединяет их и практически без потерь транспортирует тепло. Так как теплопроводность алюминия в среднем в 100 раз выше, чем у термопаст, то именно передача тепла металлическим каркасом является основным механизмом его передачи от тепловыделяющих компонент к теплорассеивающим устройствам – радиаторам.

Для выяснения реальных возможностей МГТИ были изготовлены и испытаны различные образцы таких изделий с использованием алюминиевой фольги различной толщины, разной плотности и диаметров перфорации этой фольги и, наконец, с заполнением пространства между двумя слоями фольги термопастами с различной теплопроводностью [8-10].



Рис. 1. Внешний вид МГТИ

Результаты испытаний показали высокую эффективность нового типа металлгибридного термоинтерфейса, близкую к параметрам жидкого металла [11]. Проведены сравнительные испытания зависимости теплопроводности термопаст КРТ-8 (1) (теплопроводность 0,7 Вт/м·К) и Dow Corning TC- 5121 (3) (теплопроводность 3,2 Вт/м·К) с металлгибридным термоинтерфейсом на основе пасты КРТ-8 (2) от давления их прижима (рис. 2).

Кроме того, были изготовлены и испытаны другие МГТИ, в которых в качестве металлического каркаса была использована та же алюминиевая фольга толщиной 0,015 мм, а в качестве заполнения другие теплопроводящие пасты.

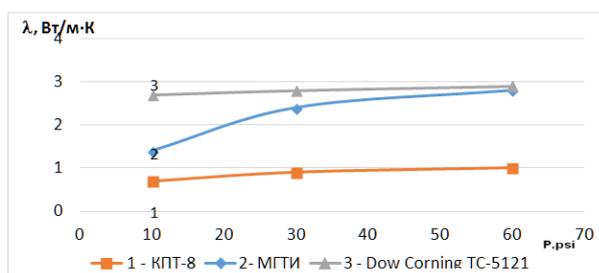


Рис. 2. Сравнительный анализ эффективности МГТИ (2) с термопастами КПТ-8 (1) и Dow Corning TC-5121 (3)

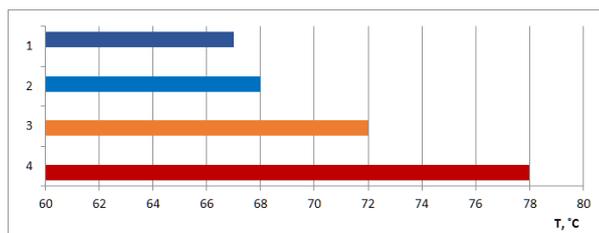


Рис. 3. Диаграмма эффективности теплоотвода различными термоинтерфейсами: 1 – жидкий металл Collaborator Liquid Pro (теплопроводность 82 Вт/м·К); 2 – МГТИ; 3 – термопаста Arctic Sliver 5 (теплопроводность 8,7 Вт/м·К); 4 – термопаста КПТ-8 (теплопроводность 0,7 Вт/м·К)

На рис. 3 приведены сравнительные результаты испытаний на нашем экспериментальном стенде лучшего предложения на рынке термоинтерфейсов в настоящее время – жидкого металла «Collaborator Liquid Pro» с термопастой КПТ-8, термопастой алмазного класса «Arctic Silver 5» и МГТИ, изготовленной на основе термопасты «Arctic Silver 5».

Как видно из рис. 3, изготовленный на основе предложенной технологии МГТИ (2), стоимость которого соизмерима со стоимостью термопасты заполнения Arctic Sliver 5 (3), имеет соизмеримую тепловую эффективность термоинтерфейсом на основе «жидкого металла». При этом стоимость разработанного МГТИ минимум на порядок ниже стоимости термоинтерфейса на основе жидкого металла, которая составляет 6100 руб./см³.

Выводы

Как следует из приведенных результатов исследований, используя в качестве металлического каркаса МГТИ один и тот же материал, а именно, алюминиевую

фольгу толщиной 0,015 мм, но заполняя пространство между двумя слоями фольги теплопроводящими пастами с различной теплопроводностью, можно получить широкий спектр МГТИ с требуемыми свойствами теплоотвода.

Данный результат показывает бесспорное преимущество разработанного нового инновационного МГТИ перед всеми другими известными термоинтерфейсами:

- высокая теплопроводность;
- низкая себестоимость;
- простота хранения и транспортировки;
- простота монтажа и демонтажа;
- возможность полной автоматизации процесса сборки;
- не требует высокоточной подгонки сопрягаемых поверхностей тепловыделяющего элемента и радиатора (кулера).

Список литературы

1. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Устройство для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов// Патент РФ № 2546963 по заявке №2013146798 от 21.10.2013
2. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. Устройство для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов// Патент РФ № 2586620 по заявке №2015105924 от 24.02.2015
3. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Лу Хунг-Ту, Наумов А.С. Фронтальная система охлаждения высокомоощных светодиодных кластеров из теплорассеивающих полимерных композитов//«Приборы». 2013. №11. С.30-33.
4. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Криваткин А. Трансэнергопластики: новый вызов металлам//«Пластик». №1-2. 2014. С.28-31.
5. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Двухстороннее охлаждение высокомоощных светодиодных кластеров//«Полупроводниковая светотехника». №2. 2014. Москва. С.8-10.
6. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Необычные пластики – новые решения// «Ритм». №10. 2014. Москва. С. 10-15.
7. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. «Устройство отвода тепла от тепловыделяющих объектов// Патент РФ №2602805 по заявке №2015129660 от 21.07. 2015.
8. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Металлогидридные термопрокладки – новый вид термоинтерфейсов для LED-кластеров// «Полупроводниковая светотехника» № 6. 2015. Москва. – С.72-77.

9. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Высоканов А.А. Металлогибридные термоинтерфейсы // *Материалы МНТК «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике»*; Московский технологический университет, ФТИ. Выпуск 2 (XXII) / Под редакцией Кондратенко В.С. – М.: 2016. – С. 76-78

10. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Высоканов А.А. Металлогибридные термоинтерфейсы // *Материалы НТК «Оптические технологии, материалы и системы»*/17 ноября 2016. МТУ ФТИ. – М.: 2016. – С.116-118.

11. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Высоканов А.А. Металлогибридные термоинтерфейсы с высокой теплопроводностью // *«Прикладная физика»*. №1. 2017. Москва. – С.85-89.

УДК: 621.373.8

ПРЕИМУЩЕСТВА ЛАЗЕРНОГО МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СЕТОК

**Кондратенко В.С., д.т.н., профессор;
Исай И.А., аспирант**

*Московский технологический университет,
Физико-технологический институт*

@Автор для переписки: Кондратенко В.С.,
e-mail: vsk1950@mail.ru

Работа посвящена преимуществам новых технологий лазерного нанесения оптических сеток и шкал. Предложена новая технология формирования высокоточных сеток и шкал в различных оптических приборах на базе метода лазерного управляемого термораскалывания и скрайбирования.

Ключевые слова: оптические сетки; лазерное управляемое термораскалывание (ЛУТ); скрайбирование, УФ – лазер, оптическое стекло

ADVANTAGES OF THE LASER METHOD OF PRODUCTION OF OPTICAL GRIDS

**Kondratenko V.S.;
Isai I.A.**

Moscow technological university. Physico-technological institute

@Corresponding author Kondratenko V.S.
e-mail: vsk1950@mail.ru

The work is devoted to the benefits of the new technology of laser deposition of optical grids and scales. The new technology of forming high-precision grids and scales in a variety of

optical devices based on the method of laser managed thermosplitting and scribing.

Key words: optical grids; laser controlled thermocracking (LCT); scribing, UV-Laser, optical glass

В большинстве оптических систем приборов, предназначенных для наблюдения, имеются детали для различных измерений и наведения прибора на объект. На такие детали наносят системы прямых или кривых линий, цифр, индексов или фигур различной формы. Эти системы располагают на поверхности плоскопараллельных пластинок, плоских поверхностях линз коллективов и в некоторых случаях на сферических поверхностях деталей. В зависимости от вида и взаимного расположения линий, фигур, индексов и прочих указанных элементов, систему их называют шкалой или сеткой [1].

Сетки предназначены, главным образом, для наведения прибора на объект. Простейшие сетки представляют собой обычные перекрестия.

В зависимости от назначения сетки и шкалы они делятся на три степени точности изготовления:

- грубые с допуском линейных размеров более 100 мкм и угловых свыше 5 угловых минут;
- средние с допуском линейных размеров в диапазоне от 10 до 100 мкм и угловых в диапазоне 1-5 угловых минут;
- точные с допуском линейных размеров от 1 до 10 мкм и угловых в диапазоне 1-60 угловых секунд.

Качество сетки, т.е. точность ее изготовления, зависит не только от точности исполнения линейных и угловых размеров

ее элементов, но и от свойств и качества стекла и чистоты поверхности детали, на которую наносится сетка.

В настоящее время в промышленности при изготовлении различных сеток и шкал используются следующие методы:

- механический метод;
- травления;
- фотолитографии;
- скрайбирование;
- лазерное управляемое термораскалывание.

В работе будут рассмотрены несколько методов нанесения сеток на стекло, которые в последнее время получили большое распространение: это метод лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) [2] и метод скрайбирования.

Процесс нанесения штрихов методом ЛУТ осуществляется следующим образом (рис. 1). При локальном нагреве заготовки стекла лазерным эллиптическим пучком, сфокусированным с помощью сферическо-цилиндрического объектива, в поверхностном слое материала создаются напряжения сжатия, которые не превышают прочность материала и не приводят к его разрушению. При последующем резком охлаждении зоны нагрева с помощью хладагента, подаваемого в зону нагрева форсункой, эти напряжения преобразуются в напряжения растяжения, которые превышают прочность стекла и приводят к возникновению на поверхности стекла микротрещины. Твёрдые дисперсные частицы, которые входят в состав хладагента, попадают в микротрещину, фиксируются внутри нее и препятствуют ее схлопыванию [3].



Рис. 1. Физическая модель процесса ЛУТ

В качестве хладагентов использовались водные суспензии различных мелкодис-

персных материалов: мелкодисперсного кремнезема (аэросила), сажи, органического красителя, полирита. Наименьшая глубина и ширина микротрещины получилась при использовании дисперсии органического красителя. Сажа имеет больший размер частиц, поэтому глубина и ширина микротрещины значительно увеличивается.

По сравнению с традиционными механическими способами нанесения сеток на оптическое стекло методом ЛУТ имеет ряд преимуществ, основными из которых являются:

- более экономическое использование материала и уменьшение количества отходов;
- отсутствие механического воздействия на материал;
- увеличение точности и воспроизводимости размеров нанесения сетки;
- изготовление линий сетки происходит в одном технологическом цикле, т.е. не требуется последующего травления и окраски штрихов (как в механическом методе) и отсутствуют сложные технологические операции (как при фотолитографическом методе);
- скорость нанесения штрихов составляет несколько сотен миллиметров в секунду;
- микротрещину можно заполнять практически любым материалом (в виде мелкодисперсных суспензий или органических красителей) с требуемыми оптическими свойствами, не беспокоясь о наличии или отсутствии адгезии к стеклу;
- экологичность процесса;
- надежность;
- 100% повторяемость процесса.

На рис. 2 представлены фотографии микротрещины (а – вид с торца, б – вид сверху).

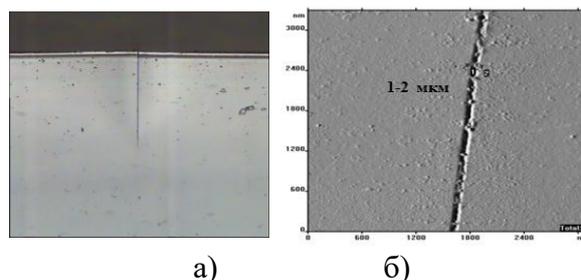


Рис. 2. Фотография микротрещины (а – вид с торца, б – вид сверху)

На рис. 3 представлены фотографии оптических штрихов с подсветкой (а) и без подсветки (б).

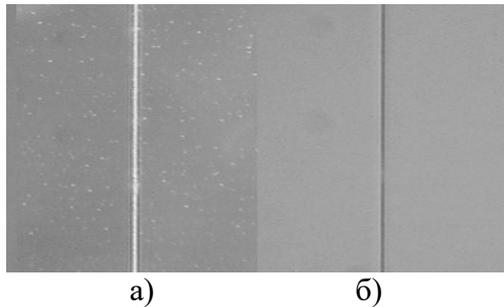


Рис. 3. Вид микротрещины с подсветкой (а) и без подсветки (б)

Для сеток с более сложной конфигурацией (рис. 4,а) была применена технология скрайбирования УФ лазером (рис. 4,б). Сфокусированный пучок УФ лазера с длиной волны 355 нм имеет плотность мощности достаточную для испарения материала вдоль линии реза, со скоростью 55 мм/с и частоте 100 кГц, образуя при этом канавку с заданной глубиной и шириной. Для светящихся сеток ее яркость можно регулировать, как внешней подсветкой, так и профилем канавки, получаемой после скрайбирования, изменяя ширину и глубину в рамках технического требования.

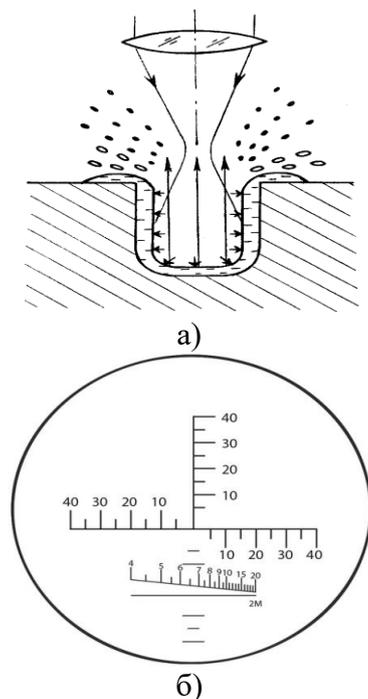


Рис. 4. Физическая модель процесса скрайбирования (а); сетка сложной конфигурации (б)

Лазерное скрайбирование, по сравнению с алмазным обеспечивает целый ряд преимуществ:

- значительно большая точность нанесения сетки на оптическое стекло;
- отсутствие микротрещин и сколов, остаточных напряжений за счет отсутствия механического контакта с режущим инструментом;
- отсутствие износа режущего инструмента;
- возможность получения насечек с ровными и чистыми краями без загрязнения канавки отходами резки;
- малая область воздействия и минимальная зона термического влияния;
- возможность нанесения более широких и глубоких канавок, используя несколько проходов с поправкой на смещение каждого последующего реза, по сравнению с механическими методами;
- экологичность процесса;
- надежность;
- 100% повторяемость.

Исследования и разработка методов проводились на новом промышленном лазерном технологическом комплексе МЛП1-1060/355. Технология скрайбирования и технология ЛУТ позволяют получать оптические сетки высокой точности, а также сетки сложной конфигурации, которые традиционными технологиями достичь невозможно [4].

Список литературы

1. Кондратенко В.С., Исай И.А., Стыран В.В. Нанесение сеток и шкал сложной конфигурации на поверхность оптических элементов // Материалы МНТК «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике»; Московский технологический университет, ФТИ. Выпуск 2 (XXII) / Под редакцией Кондратенко В.С. – М.: 2016. – С. 57-60.
2. Kondratenko V.S., Borisovsky V.E., Naumov A.S. Petruljanis N.E. New technology manufacturing of grids and scales for optical devices // Optics and Photonics Journal. 2012. 2. Pp. 163-166.
3. Кондратенко В.С., Исай И.А. Разработка новых технологий лазерного нанесения оптических сеток и шкал // «Приборы». №3. 2017. Москва.

4. Кондратенко В.С., Исай И.А. Лазерная технология изготовления сеток и шкал для

оптических приборов// «Вестник МГТУ МИРЭА». № 3(8). 2015. Москва. - С.22-28

УДК: 621.373.8

© Corresponding author e-mail: mr-marlen@mail.ru

ИЗМЕРЕНИЕ ФУНКЦИИ СИЛЫ, СОЗДАВАЕМОЙ ПЬЕЗОПРИВОДОМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ЛАЗЕРНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ

Мелкумян М.Т., аспирант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Мелкумян М.Т.
 e-mail: mr-marlen@mail.ru

Работа посвящена измерению функции силы от времени, создаваемой пьезоприводом, управляемым внешним напряжением. Получение таких характеристик может позволить оценить рациональность и возможность использования ударного механизма при доколе стекла в процессе резки методом лазерного управляемого термораскалывания или после нанесения микротрещины методом ЛУТ.

Ключевые слова: измерение функции силы; АЦП; инструментальный усилитель; датчик веса; лазерное управляемое термораскалывание (ЛУТ); стекло; микротрещина; докол стекла; пьезопривод

MEASUREMENT OF THE FORCE FUNCTION CREATED BY A PIEZO-DRIVER FOR EVALUATING THE OPPORTUNITIES OF IMPROVING EFFICIENCY OF THE LASER CONTROLLED THERMAL CRACKING METHOD

Melkumyan M.T.

Moscow technological university, Physico-technological institute

The work is devoted to measuring the function of force from time, created by a piezo drive, which is controlled by an external voltage. Obtaining such characteristics can allow one to assess the rationality and the possibility of using such a shock mechanism in time of glass cutting by the laser controlled thermal cracking method or after application of the microcrack by the LCT method.

Keywords: Measurement of the force function; ADC; Instrumentation amplifier; Weight sensor; Laser controlled thermal cracking (LCT); Glass; Microcrack; Glass cracking; Piezo drive

С целью повышения эффективности метода лазерного управляемого термораскалывания разработана экспериментальная установка для докола заготовок из стекла, основанная на воздействии на заготовку упругих волн.

Рассматриваемый способ докола стекла, а также метод ЛУТ подробно рассматриваются в работах [1-6].

В качестве электрического привода используется армированный актюатор продольного типа (пьезоэлектрический привод) ППУ-1 [7]. Ударник представляет собой алюминиевый цилиндр высотой 25 мм с продолжением в виде конуса с углом схождения 60 градусов и стальным шариком диаметром 2 мм в вершине.

На рис. 1. показана принципиальная схема экспериментальной установки для докола стекла. Стекло заготовка 7 с микротрещиной, нанесенной методом ЛУТ, устанавливается на столик 6. На пьезоэлектрический привод подается управляющее напряжение, за счет которого он растягивается. Упругая акустическая волна распространяется до микротрещины и создает растягивающие напряжения, за счет которых происходит докол стекла.

В рамках линейной механики разрушения, исходящей из модели идеально упругого тела и представляющей трещину в виде разреза нулевой толщины, поверхности которого свободны от напряжений,

рассматриваемая задача сводится к краевой задаче теории упругости. Рассмотрим сквозную трещину типа I длиной $2l$ в бесконечной пластине, как показано на рис. 2 [8, 9].

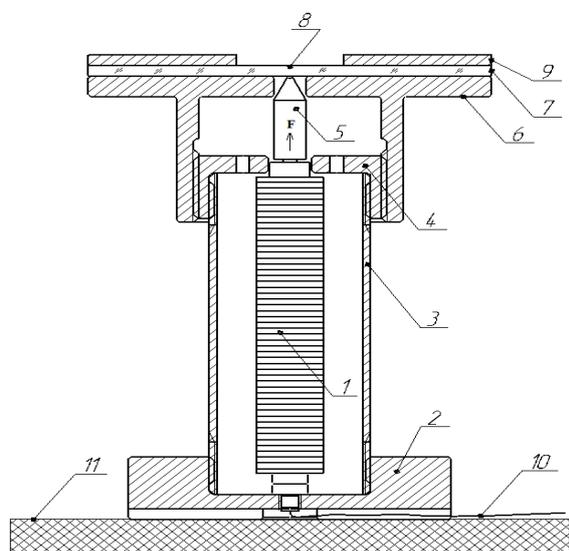


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для докола стекла: 1 – пьезоэлектрический привод, 2 – крышка нижняя, 3 – корпус, 4 – крышка верхняя, 5 – ударник, 6 – стол, 7 – стеклянная заготовка, 8 – микротрещина, 9 – прижимная пластина, 10 – провода к управляющей электрической части, 11 – стол

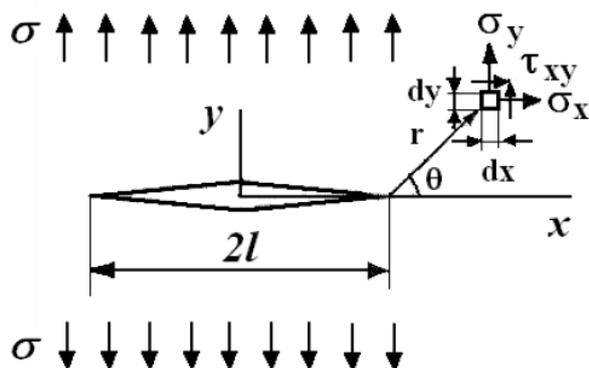


Рис. 2. Сквозная трещина типа I длиной $2l$ в бесконечной пластине

Пластина находится под действием растягивающего напряжения σ , которое вызывается приложенными в бесконечности силами. Элемент $dx dy$ пластины, расположенный на расстоянии r от вершины трещины и составляющий с плоскостью трещины угол θ , находится под действием

нормальных напряжений σ_x и σ_y , действующих в направлениях x и y , и касательного напряжения τ_{xy} .

В обобщенном виде решение будет выглядеть следующим образом [8]:

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta), \quad (1), \text{ где}$$

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi l} \quad (2)$$

Коэффициент K_I называется коэффициентом интенсивности напряжений (КИН), где индекс I обозначает тип разрушения. Когда известен КИН, поле напряжений при вершине трещины полностью определено. Применительно установки разрушение относится к нормальному разрыву. K_I есть мера всех напряжений и деформаций. При достижении K_I критического напряжения K_{IC} произойдет разрушение. КИН обычно представляется в виде:

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi l}, \quad (3), \text{ где}$$

Y – безразмерный множитель, который в механике разрушения называется «Y-тарировка» и зависит от конфигурации трещины и геометрии образца. Y обычно представляется таблицей или приближённой формулой, часто многочленом. Применительно установки наиболее подходящим является случай балки, нагружаемой тремя сосредоточенными силами на изгиб с краевой поперечной трещиной глубиной l .

Критический коэффициент интенсивности напряжения (вязкость разрушения) для листового стекла составляет $0,8 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ [10].

Электрическая схема установки состоит из персонального компьютера (ПК), усилителя звуковых частот и трансформатора. В качестве устройства измерения используется датчик веса с максимальной нагрузкой 20 кг, выполненный на тензорезисторах по мостовой схеме. Чувствительность датчика при напряжении питания 5 В составляет 2 мВ при нагрузке 20 кг. С целью усиления сигнала используется инструментальный усилитель на микросхеме INA333 с $K_u = 500$. Для оцифровки сигнала используется аудио АЦП РСМ1802 в режиме измерения с постоянной составляющей напряжения. Частота дискретизации АЦП составляет 88,2 кГц и по интер-

фейсу S/PDIF передает данные на звуковую карту ПК. Запись сигнала осуществляется звуковым редактором. Такое решение позволяет выполнять измерения с высокой частотой, а измерение постоянной составляющей с погрешностью не более 4% [11] позволяет откалибровать усилие по заранее известному грузу. Для текущего случая изменение шкалы АЦП на 5,4% эквивалентно нагрузке 1 кгс. Калибровка выполнялась по эталонному грузу 2 кг.

Для оценки создаваемого усилия пьезопривод и датчик веса стягиваются между собой до усилия 1 кгс. Пьезопривод приводится в действие функцией Хэвисайда (сигнал «ступенька») на половину шкалы. Используются амплитудное напряжение – 200 В. На рис. 3 представлена измеренная функция на выходе АЦП, создаваемое усилие 1,15 кгс.

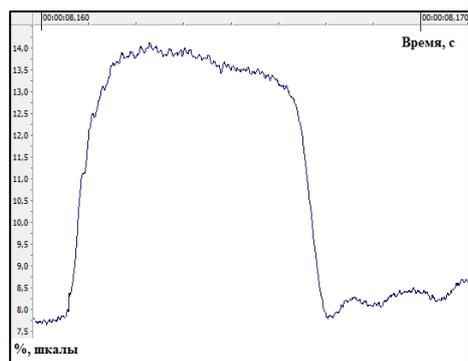


Рис. 3. Измеренная функция Хэвисайда с датчика веса при амплитудном напряжении на пьезоприводе 200 В

Для оценки создаваемого усилия полной шкалы пьезопривод и датчик веса стягиваются между собой до усилия 2 кгс. Затем на пьезопривод подается синусоидальный сигнал частотой 50 Гц с амплитудой напряжения 200 В (рис. 4), создаваемое усилие 2,02 кгс.

Для расчета коэффициента интенсивности напряжений можно использовать формулу КИН для балки с краевой поперечной трещиной (изгиб сосредоточенной силой) по [9] и формулу из раздела 3,4 по [8]. КИН для заготовки стекла длиной 50 мм, высотой 3 мм, с глубиной нанесенной микротрещины 0,3 мм и площадью контакта ударника со стеклом равной 50 мм² по обеим формулам будет около

270 МПа√м, что превышает K_{IC} стекла и позволяет выполнять докол стекла на установке.

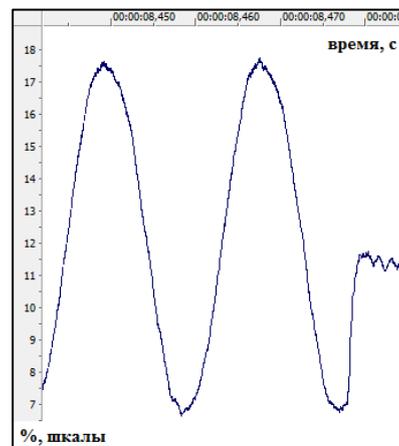


Рис. 4. Измеренная функция гармонического колебания 50 Гц по датчику веса при амплитудном напряжении на пьезоприводе 200 В

Выводы: предложена установка с управляемыми параметрами создаваемого усилия, приведена математическая модель разрушения стекла, численно оценен создаваемый КИН на установке для предложенного геометрического расположения, величина которого показывает возможность докола стекла с нанесенной микротрещиной ЛУТ. Запас создаваемого усилия позволяет увеличить площадь контакта ударника на противоположной стороне стекла, чтобы избежать сколов на стекле.

Список литературы

1. Кондратенко В.С. «Способ резки хрупких материалов». Патент РФ №2024441, М.Кл.5 C03 В 33/02. 1991.
2. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Гиндин П.Д., Наумов А.С., Сек-Джун Ли Разработка технологии лазерного управляемого термораскалывания плоских дисплейных панелей// «Приборы». 2005. № 4. С.35-38.
3. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Гиндин П.Д., Наумов А.С. Новые технологии лазерной обработки деталей оптического приборостроения//Приборы. 2008. № 3. С. 36-40.
4. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Новая технология лазерной резки сапфировых пластин на кристаллы//«Приборы». 2011. № 10 (136). С.37-41.
5. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Развитие и внедрение технологий лазерного управляемого

го термораскалывания на международном рынке//«Вестник МГТУ МИРЭА». № 3(8). 2015. Москва. С.1-11.

6. Кондратенко В.С., Мелкумян М.Т. «Пути повышения эффективности метода лазерного управляемого термораскалывания»//Материалы МНТК «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике»; Московский технологический университет, ФТИ. Выпуск 2 (XXII) / Под редакцией Кондратенко В.С. – М.: 2016. С.52-56.

7. Интернет страница компании ОАО «Эл-

на», Армированные актюаторы ППУ-1, ППУ-8, http://www.elpapiezo.ru/body.shtml?for_printing=1&

8. Броек Д. «Основы механики разрушения». – М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.

9. Николаева Е.А. «Основы механики разрушения». – Пермь, ПГТУ 2010 г.

10. Бутаев А.М. «Прочность стекла. Ионно-обменное упрочнение». – Махачкала, 199

11. Описание основных характеристик микросхемы АЦП РСМ1802 фирмы Texas Instruments,

<http://www.ti.com/product/PCM1802>.

УДК 621.9.22, 53, 519.6, 536.3, 666.1.05:
621.373.826, 378.14, 372,853

О ПОДХОДАХ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Лебедкин И.Ф.^{1,2}, аспирант, инженер;
Третьякова О.Н.³, к.ф.-м.н., профес-
сор

¹Московский технологический университет

²ЗАО НИИ «ЭСТО»

³Московский авиационный институт (нацио-
нальный исследовательский университет)

@ Автор для переписки: Третьякова О.Н.,
e-mail: tretiakova_olga@mail.ru

Работа посвящена обзору методик моделирования про-
цесса послойного лазерного сплавления, которая получа-
ет в последнее время все большее распространение и
признание во всем мире. Приведены некоторые примеры
моделирования послойного лазерного сплавления.

Ключевые слова: послойное лазерное сплавление, SLM,
моделирование.

ABOUT APPROACHES TO MODELLING OF PROCESSES LAYER-BY-LAYER LASER ALLOYAGE

Lebedkin N.F.^{1,2};

Tretyakova O.N.³

¹Moscow technological university, Physico-
technological institute

²ZAO OF SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE
“ESTO”

³Moscow aviation institute (national research uni-
versity)

@Corresponding author Tretyakova O.N.
e-mail: tretiakova_olga@mail.ru

The work is dedicated to a review of methods of selective
laser melting process modeling. This technology have a great
interesting the present time. Some examples of SLM
modeling are given here.

Key words: Selective Laser Melting; modeling

Введение

Технология послойного лазерного
сплавления (спекания) SLM (*selective laser
melting*) – относительно новая технология
изготовления деталей. В настоящее время
она находит все большее применение в
промышленности из-за возможностей по-
лучать изделия различных геометрических
форм, не прибегая к сложной и дорого-
стоящей механической обработке.

Создание нового промышленного ла-
зерного технологического оборудования
для реализации технологии SLM является
актуальной задачей. Неотъемлемой со-
ставной частью установки является систе-
ма управления, необходимая для контроля

и регулировки параметров технологического процесса. В связи с этим, необходимо решать задачу о распределении температур в детали сложной конфигурации в условиях переноса тепла одновременно теплопроводностью, излучением и конвекцией.

Рассматриваются задачи температурного контроля и регулирования процесса послойного лазерного сплавления. Обеспечение качества изделий, получаемых при помощи послойного лазерного сплавления, требует поддержания равномерного поля температур в теле изделия во время процесса «построения». В связи с тем, что изделия могут иметь самую разнообразную геометрическую форму, а также в связи с тем, что процесс происходит в достаточно узком окне технологических параметров, требуется совместное решение сложных и взаимосвязанных физико-математических задач.

Для создания системы управления параметрами может быть предложена адекватная физическая модель *SLM* процесса. Первоначально рассматривается решение задачи о движении точечного источника нагрева по плоскости. Далее, задача усложняется введением модели поглощения лазерного излучения слоем порошка, а также введением модели плавления слоя порошка. В итоге, посредством численного решения данной задачи, может быть получено поле температур. Имея в своем распоряжении информацию о распределении температуры вблизи места плавления порошка, точечное измерение температуры в данном участке, а также знания о геометрии модели, можно предсказать участки перегрева или недогрева. Для поддержания необходимой температуры на этих участках возможно создание адаптивного регулятора параметров процесса послойного лазерного спекания, а именно – мощности, диаметра пучка лазерного излучения и скорости его движения при постоянных параметрах: толщина и расстояние между линиями нагрева.

Основы технологии *SLM*

Послойное лазерное сплавление – это технология для быстрого послойного изготовления механических деталей из метал-

лического порошка. Порошок сплавляется в твердое тело посредством локального нагрева и переплавления под действием сфокусированного лазерного излучения, сканирующего поверхность слоя порошка, размещенного тонким слоем на предыдущем отвердевшем слое. Полное переплавление порошка в зоне сканирования и его хорошая адгезия к подложке может обеспечить получение деталей с улучшенными механическими свойствами.

О моделировании *SLM*

Процесс послойного лазерного спекания чувствителен к определенному числу параметров: толщина слоя порошка, плотность мощности и диаметр пучка лазерного излучения, а также скорость сканирования. Для того, чтобы дать корректную оценку влиянию параметров на процесс послойного лазерного спекания разрабатываются математические модели этого процесса.

Первым естественным ходом стала модель образования единичного валика металла из порошка [1]. Строится она следующим образом. Рассматривается плоскость, образованная слоем порошка по которой движется лазерный луч. Ось *X* выбирается в направлении противоположном вектору скорости, ось *Z* направляется вовнутрь тела (рис.1) [1].

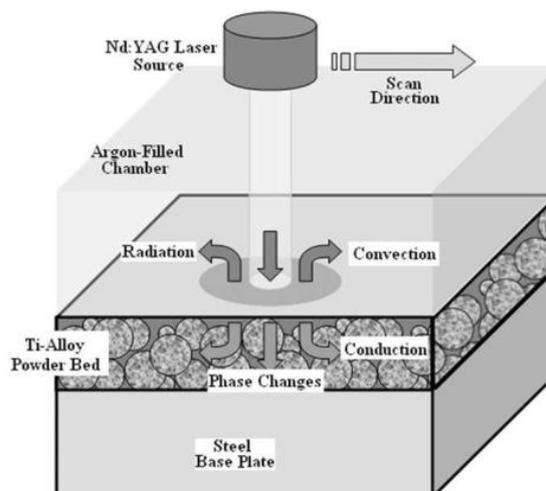


Рис. 1. Схематическое изображение процесса теплопереноса

Процесс переноса тепла в этом случае включает в себя: излучение от нагретого слоя порошка, конвекцию между слоем порошка и окружающей средой, передачу

тепла за счет теплопроводности в слой порошка в твердую подложку. Излучением от порошка часто пренебрегают, ввиду его малости. Конвекция по данным некоторых исследований [2,3] существенна только на скоростях сканирования менее 100 мм/с. Уравнение теплопереноса в этом случае имеет вид:

$$dH/dt - v(dH/dx) = \text{div}(k \cdot \text{grad}(H)) + U,$$

где H – энтальпия, U – энергия, образующаяся за счет объемного поглощения лазерного излучения, k – коэффициент теплопроводности, v – скорость движения лазерного источника. Далее, исходя из модели переноса излучения в поглощающей среде с частицами, на которых происходит изотропное рассеяние, рассчитывается U . При этом излучение принимается коллимированным, падающим по нормали к поверхности, имеющим гауссово распределение. Исходя из этих предположений рассчитывается поле температур. По виду этого поля температур возможно понять какую форму примет область расплавленного металла после затвердевания, что существенно влияет на качество получаемого материала.

Теплопрочностный расчет

После моделирования процесса расплавления и затвердевания металла, и расчета температурных полей возникает еще задача оценки различных возможных тепловых деформаций детали в SLM процессе. Для этой цели, например, в работе [4] используется конечно-элементный анализ. Рассматривается задача движения точечного источника тепла по поверхности твердого тела. В качестве твердого тела каждый раз берется та часть, которая уже «построена».

Расчетом температурных полей для различных технологических процессов в различных постановках занимались многие авторы. Например, в работах школы В.С. Кондратенко [5-28] рассмотрены различные аспекты разработки лазерных технологий резки и прецизионной обработки, в том числе и вопросы моделирования тепловых процессов в различных материалах для выбора технологических режимов, оптимизации параметров технологических

процессов и упрочнения обрабатываемых материалов.

Список литературы

1. Zeng, K., Pal, D., Stucker, B., *A review of thermal analysis methods in Laser Sintering and Selective Laser Melting// In Proceedings of Solid Freeform Fabrication, Symposium Austin, TX. 2012.*
2. Gusarov, A. V., Yadroitsev I., et al. *Heat transfer modelling and stability analysis of selective laser melting.// Applied Surface Science. 2007, 254(4): 975-979.*
3. Gusarov, A. V., Kruth J. P. *Modelling of radiation transfer in metallic powders at laser treatment// International Journal of Heat and Mass Transfer. 2005, 48(16): 3423-3434.*
4. Li, C., Y. Wang, et al. *Three-dimensional finite element analysis of temperatures and stresses in wide-band laser surface melting processing// Materials & Design. 2010, 31(7): 3366-3373.*
5. Кондратенко В.С., Гиндин П.Д., Трубиенко О.В., Hsu Muchi, Наумов А.С. *Лазерное упрочнение кромки стекла// Оптический журнал. 2009. Т.76. № 11. С. 79-83.*
6. Kondratenko V.S., Gindin P.D., Trubienko O.V., Hsu Muchi, Naumov A.S. *Laser strengthening of the edge of glass// Journal of Optical Technology. 2009. Vol. 76. Issue 11, November. Pp. 733-736.*
7. Кондратенко В.С., Голубятников И.В., Жималов А.Б. *Новые лазерные технологии в машиностроении, приборостроении, микро- и оптоэлектронике// Интеграл. 2009. № 6. С. 6-9.*
8. Кондратенко В.С., Голубятников И.В., Жималов А.Б. *Развитие теории и практики метода лазерного управляемого термораскалывания// Приборы. 2009. № 12 (114). С. 1-6.*
9. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Сорочкин А.В. *Новая технология лазерного параллельного термораскалывания хрупких материалов// Приборы. 2011. № 2 (128). С. 57-63.*
10. Кондратенко В.С., Наумов А.С. *Новая технология лазерной резки сапфировых пластин на кристаллы// Приборы. 2011. № 10 (136). С. 37-41.*
11. Кондратенко В.С., Архипов П.Б. *Методы упрочнения кромок и поверхности стекла// Вестник МГУПИ. 2011. № 35. С. 143-156.*
12. Кондратенко В.С., Минаев В.В., Наумов А.С. *Лазерное управляемое термораскалывание. Отечественная технология международного масштаба// Наука и технологии в промышленности. 2011. № 3. С. 20-24.*
13. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е.,

Наумов А.С. Оптимизация процесса лазерного термораскалывания приборных пластин//«Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России». 2012. № 3. С. 61-66.

14. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е. Наумов А.С. Оптимизация процесса лазерного термораскалывания приборных пластин//Прикладная физика. 2012. № 5. С. 25-30.

15. Kondratenko V.S., Borisovsky V.E., Naumov A.S., Sorokin A.V. New Technology Of Laser Parallel Thermocracking Of Brittle Materials// Optics and Photonics Journal (OPJ) (ISSN Print: 2160-8881), 2013, Vol.3, No.2B, June 2013, pp. 6-10.

16. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Иванов В.И. Разделение органических светоизлучающих диодов на кремниевой подложке методом лазерного управляемого термораскалывания//Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. №2. 2014. Москва. – С. 76-81.

17. Kondratenko V.S., Sakunen Y., Lu Hung-Tu, Naumov A.S. New Approaches and Materials for the Effective Frontal Cooling of the Powerful Light-Emitting Diode Clusters//LED Japan Conference & Expo - Strategies in Light Japan 2014, Yokohama, Japan, October 15-17, 2014.

18. Кондратенко В.С., Зобов А.К., Наумов А.С. Лазерный раскрой неметаллических материалов//Ритм. №7. 2014. Москва. С. 34-37.

19. Kondratenko V.S., Borisovsky V.E., Naumov A.S. Optimizing the Parameters of Laser Controlled Thermocracking When Cutting Glass by a Non-Rectilinear Contour//Optic and Photonics Journal (OPJ), 2015, Vol. 5, No.10, October 2015, pp.295-302.

20. Кондратенко В.С., Наумов А.С., Борисовский В.Е. Оптимизация параметров лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) при резке стекла по криволинейному конту-

ру//Приборы. №3. 2015. Москва. – С.48-55.

21. Кондратенко В.С., Зобов А.К., Наумов А.С., Лу Хунг-Ту Технология прецизионной лазерной резки сапфировых пластин//Фотоника. №2(50). 2015. Москва. – С.42-52.

22. Кондратенко В.С., Иванов В.И., Борисовский В.Е., Зобов А.К. Повышение эффективности процесса лазерной резки кремниевых приборных пластин на кристаллы ОСИД//«Приборы. № 9. 2015. Москва. – С.44-49.

23. Кондратенко В.С. Моделирование процесса лазерной резки флот-стекла //Стекло и керамика. №11. 2016. Москва. – С. 3-6.

24. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Технология лазерного снятия фасок со стекла // Стекло и керамика. №1. 2017. Москва. – С.3-6.

25. Кондратенко В.С., Гамкрелидзе С.А., Стыран В.В., Трофимов А.А., Щаврук Н.В. Влияние методов резки приборных пластин сапфира и карбида кремния на технико-эксплуатационные параметры монолитных интегральных схем // Приборы. №1. 2017. Москва. - С.43-50.

26. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Высочанов А.А. Металлогибридные термоинтерфейсы с высокой теплопроводностью // Прикладная физика. №1. 2017. Москва. – С.85-89.

27. Кондратенко В.С., Иванов В.И. Влияние методов резки кремниевых подложек на качество органических светоизлучающих диодов // Прикладная физика. №1. 2017. Москва. – С.36-40.

28. Кондратенко В.С., Гамкрелидзе С.А., Стыран В.В., Трофимов А.А., Щаврук Н.В. Влияние разработанных базовых методов резки приборных пластин из сапфира и карбида кремния на выход годных нитридгаллиевых СВЧ монолитных интегральных схем// Успехи прикладной физики. №1. 2017. – С.80-85

УДК 616-71

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МИКРОЧИПЫ ДЛЯ ФОТОАНАЛИЗАТОРА ФАБ-01

Кондратенко В.С.¹, д.т.н., профессор;
Гиндин П.Д.², д.т.н. генеральный директор;

Кирикова Т.Н.¹, аспирантка, инженер

¹Московский технологический университета,
Физико-технологический институт

²ОАО «Швабе-Фотосистемы», 117545, Россия,
Москва Днепропетровский проезд, 4А, стр. 3А.

© Автор для переписки: Кирикова Т.Н.
e-mail: imtiefengrass@gmail.com

В работе рассматриваются технологии производства биологических микрочипов и основные принципы анализатора для таких микрочипов, разработанного ОАО «Швабе-Фотосистемы».

Ключевые слова: биологические микрочипы, фотометрический анализатор, флуоресценция, пцр, технология изготовления биочипов

BIOSENSOR MICROARRAYS FOR BIOCHIP READER FAB-01

**Kondratenko V.S.¹;
Gindin P.D.²;
Kirikova T.N.¹**

¹*Moscow technological university, Physico-technological institute*

²*JSC "Shvabe-Photosystems" 117545, Russia, Moscow Dnipropetrovsk travel, 4A, page 3A.*

*© Corresponding author Kirikova T.N.
e-mail: imtiefengrass@gmail.com*

This article describes an technology of biosensor microarrays and basic principles of analyzer for this microarrays, developed by JSC "Shvabe-Photosystems"

Keywords: biological microchips, photometric analyzer, fluorescence, PCR, microarray manufacturing technology

Последние два десятилетия ознаменовались в современной медицине достаточно активным развитием лабораторной диагностической практики. Сейчас на нее выделяются миллиарды долларов во всем мире, потому что она несет в себе около 80% всей диагностической информации, что ускоряет и делает практически однозначным процесс постановки диагноза и назначения своевременного эффективного лечения.

Большинство важнейших методов молекулярной диагностики основано на применении полимеразной цепной реакции (ПЦР), позволяющей в миллионы раз увеличить количество целевых фрагментов нуклеиновых кислот, делая их доступными для анализа. Главным достоинством ПЦР является чрезвычайно высокая чувствительность и специфичность, но сейчас этого уже недостаточно. Стало необходимо проводить анализы одновременно на не-

сколько десятков и сотен различных биомаркеров, например, для оценки фармакогенетического статуса человека или определения различных инфекционных агентов с определением их подвида и лекарственной устойчивости.

И здесь на первый план выходят методы массового многопараметрического исследования биомолекул, в первую очередь, биологические микрочипы или биочипы.

В рамках НИОКР, проводимой на предприятии ОАО «Швабе-Фотосистемы», разрабатывается инновационный прибор для проведения анализов с помощью биологических микрочипов, получивший название Фотоанализатор ФАБ-01. На стадии разработки стало очевидно, что кроме самого прибора необходимо так же изготавливать биологические микрочипы и составлять тест-наборы для проведения лабораторных исследований для удобства потребителя.

Биочип должен состоять из стеклянной активированной подложки с нанесенными на нее зондами для молекулярно-генетической диагностики и идентификации грамотрицательных бактерий Enterobacteriaceae (*Escherichia coli*; *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter spp*, *Serratia narcescens*, *Proteus spp*, *Citrobacter spp*) и неферментирующих бактерий (*Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter spp*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Burkholderia cepacia*), а также определения наличия детерминант устойчивости к бета-лактамам антибиотикам (пенициллинам, цефалоспорином, карбапенемам), фторхлоринам и множественной лекарственной устойчивости. Так же на поверхности биочипа должны находиться контрольные метки для максимально точной интерпретации результата измерения и однозначного определения чипа в пространстве.

Главным элементом биочипов является матрица сотен и тысяч микрочипов, каждая из которых содержит молекулярные зонды, специфичные к одной из множества биологических молекул или их фрагментов. Такими зондами могут служить олигонуклеотиды, фрагменты геномной ДНК, РНК, белки, рецепторы, антитела, низкомолекулярные лиганды, олигосахариды и

др. Каждая ячейка биочипа является индивидуальной нанопробиркой, а иммобилизованный в ней зонд распознает индивидуальную мишень в анализируемом образце.

Таблица 1

Условная классификация микрочиповых платформ

Классификация	Классы платформ биочипов
По тестируемому субстрату	ДНК - на основе кДНК - на основе олигонуклеотидов РНК Белки Цельная ткань
По дизайну адсорбционного слоя	Двумерные Трехмерные
По принципу детектирования	Микроэлектронные Флуоресцентные Радиоизотопные

Таким образом, биочипы, подобно электронным микрочипам, обрабатывающим огромные массивы цифровой информации, предназначены для молекулярного считывания и обработки больших объемов биологической информации при многопараметрическом анализе микроколичеств биологического материала.

К настоящему времени число практически применяемых классов микрочиповых платформ (при всем разнообразии их типов) сведено всего к нескольким (Таблица 1). Некоторые из представленных типов применимы лишь для ограниченного числа приложений.

При этом каждый тип слоя (платформы) имеет как сильные, так и слабые стороны, и, таким образом, потребитель может выбрать технологическое решение, наиболее полно удовлетворяющее требованиям конкретного практического приложения или запланированного эксперимента.

Из представленных выше методов детектирования был выбран флуоресцентный метод анализа, который, в отличие от своих конкурентов, имеет более низкую стоимость за счет уменьшения времени регистрации реакции (в радиоизотопном методе, например, оно может достигать несколь-

ких суток, у флуоресцентного метода же время регистрации составляет около 10 минут), простоте использования и технической реализации систем для анализа и самого процесса исследования.

В качестве оптимальной конструкции микрочипа была выбрана конструкция 3D-биочипа на основе активированной подложки из стекла и капель биогеля, внутри которых находятся цепочки олигонуклеотидов возбудителей. Данный метод имеет как преимущества, так и недостатки. К достоинствам подобных биочипов могут быть отнесены высокая емкость иммобилизации лиганда и биосовместимость.

Анализатор для подобных биочипов состоит из оптического блока с видеокамерой, считывающей интенсивность флуоресценции точек, сменных светофильтров на колесе и полупроводниковых лазеров с длинами волн 532 нм для красителя Cy3 и 655 нм для красителя Cy5.

Типичный процесс проведения диагностики на биочипе представлен на рис. 1 и состоит в следующем: на готовый биочип с нанесенными на него ДНК-зондами наносится приготовленная особым методом ДНК из полученных для анализа материалов (слюна, кровь, моча и т.д.) для проведения на биочипе ПЦР-реакции. После ее проведения биочип промывается и на него наносится краситель (выбор красителя зависит от вида облучения в анализаторе) для формирования флуоресцентно-меченного комплекса. Далее анализ биочипа проводится на аппаратно-программном комплексе.

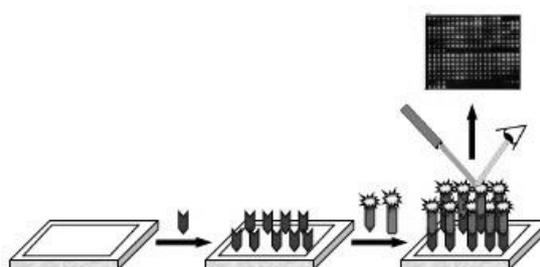


Рис 1. Схематическое представление принципа действия микрочипа

Как и в любые существующие конструкции в конструкции биочипов так же возможно внесение улучшений. Так, на-

пример, были предложены следующие изменения в существующих аналогах: упрощение метода производства и активации подложек; доработка метода нанесения олигонуклеотидных зондов на поверхность биочипа и состава так называемого геля; уменьшение шумового сигнала с помощью конструктивных изменений и дополнений биочипа при интерпретации результатов на фотометрическом анализаторе.

Производство биочипов сейчас находится на стадии разработки технологии изготовления. Работа выполняется по контракту с Минпромторгом.

Список литературы

1. *Guschin, D.Y. Oligonucleotide microchips as genosensors for determinative and environmental studies in microbiology / D.Y. Guschin, B.K. Mobarry, D. Proudnikov, D.A. Stahl, B.E. Rittmann, A.D. Mirzabekov // Appl. Environ. Microbiol. – 1997. – V. 63. – P. 2397-2402.*
2. *Ferguson, J.A. A fiber-optic DNA biosensor microarray for the analysis of gene expression / J.A. Ferguson, T.C. Boles, C.P. Adams, D.R. Walt // Nat. Biotechnol. – 1996. – V. 14. – P. 1681-1684.*
3. *Сорокин А.В. и др. Устройство оптическое для анализа биологических микрочипов, патент на полезную модель RU 162 184, 27.05.2016.*

УДК: 621.317

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

**Гренков В.Л., к.т.н., доцент;
Сафонов М.А., бакалавр**

*Московский технологический университет,
Физико-технологический институт*

*@Автор для переписки: Гренков В.Л.
e-mail: Grenkov@mgupi.ru*

В статье рассматривается задача аппаратной и программной реализации измерений

биомедицинских данных, снимаемых с оптоэлектронных датчиков.

Ключевые слова: биомедицинские измерения, биомедицинская техника, пульс, сатурация, Ардуино.

EVALUATION OF POSSIBILITY OF USING THE ARDUINO PLATFORM FOR THE DESIGN

OF DEVICES FOR MEDICAL DIAGNOSTICS

**Grenkov V.L.
Safonov M.A.**

*Moscow technological university, Physico-
technological institute*

@Corresponding author e-mail: Grenkov@mgupi.ru

This article is considered with the task of implementing measurement of hardware and software implementation of measurements Biomedical data removed from optoelectronic sensors.

Key words: Biomedical measurement, biomedical engineering, pulse, saturation, Arduino

Прибористская тематика выпускных квалификационных работ ВКР последних лет для студентов направления подготовки «Биомедицинская инженерия» Физико-технологического института Московского технологического университета была ориентирована в основном на применение PIC-контроллеров с использованием общедоступной интегрированной среды разработки MPLAB. Достоверность полученных результатов проверялась симуляцией спроектированных устройств в среде сквозного проектирования Proteus.

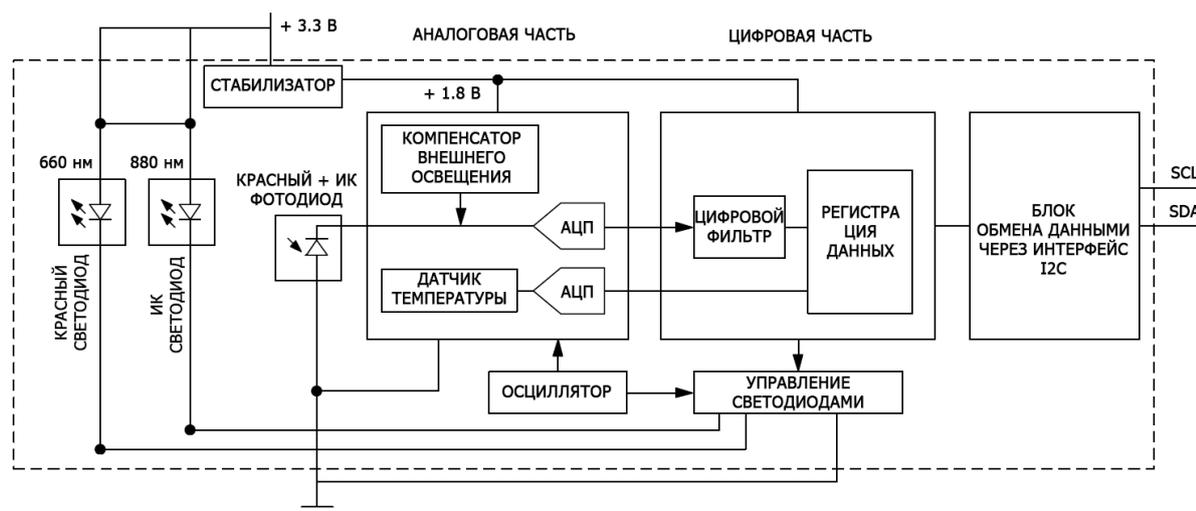


Рис. 1. Блок-схема модуля MAX30100

В настоящее время в России (и не только) приобрела высокую популярность аппаратно-программная платформа Arduino. В связи с этим появилась реальная возможность в рамках выполнения ВКР вместо виртуальных устройств создавать работающие макеты, что существенно повысит конкурентоспособность выпускников на рынке труда.

В качестве пробного шага в этом направлении была поставлена задача разработки и изготовления макета программно-управляемого устройства для получения данных о частоте сердечных сокращений (ЧСС) и о сатурации (степени насыщения крови кислородом) с использованием платформы Arduino [1, 2].

Задача была конкретизирована с учетом особенностей ее практического применения. Получение биомедицинских данных, упомянутых выше, имеет отношение к области спортивной медицины, в частности, речь идет о мониторинге состояния велосипедиста в процессе его движения. В связи с этим устройство должно быть компактным, поэтому в качестве базового модуля был выбран микроконтроллерный модуль Arduino Nano. В качестве датчика был выбран модуль MAX30100, блок-схема которого представлена на рис. 1, в силу его ценовой доступности и достаточной функциональности, а краткие сведения о нем – в [3].

Измерительные датчики представляют собой оптоэлектронные пары (светодиод-

фотодиод), а измеряемой величиной является интенсивность света, отраженного от места падения света от излучающего элемента (на область кровотока). В соответствии со сложившейся методикой используются два датчика, один – для работы с инфракрасным излучением, второй на длинах волн, соответствующих красной области оптического диапазона. MAX30100 комплектуется всеми необходимыми электронными компонентами, выполняющими функции преобразования аналоговых сигналов, снимаемых с датчиков, в массивы оцифрованных данных и передачи их в Arduino Nano по интерфейсу I2C. Данный модуль поставляется совместно с программным обеспечением, выполняющим обработку результатов измерений и отображение измеряемого процесса на экране монитора компьютера. Помимо предварительной обработки исходных сигналов в модуле MAX30100 осуществляется компенсация внешнего освещения, цифровая фильтрация сигналов и температурная коррекция.

Для работы с модулем MAX30100 пользователю предоставляется возможность программной настройки его конфигурации и режимов измерения. При этом можно программно изменять интенсивность импульсов излучения светодиодов, их длительность и частоту следования.

В краткой документации [3] приведены сведения о его регистрах, содержимое которых можно изменять программно. Благодаря этому можно настраивать модуль

на чтение и отображение различных данных: частоты сердечных сокращений, значения сатурации, температуры. Также имеется возможность программного управления аппаратными прерываниями и буфером чтения данных АЦП через интерфейс I2C. Затронутые здесь медицинские аспекты и методика измерений отражены в [4, 5].

Поскольку производитель модулей MAX 30100 не предоставляет полных данных по измерениям, обработке и интерпретации их результатов, возникла необходимость в получении недостающих сведений опытным путем. С этой целью был написан и исполнен ряд тестовых программ (скетчей) для качественной оценки результатов измерения частоты сердечных сокращений, температуры окружающей среды и значений сатурации кислорода.

В качестве примера можно привести алгоритм фрагмента программы для оценочного измерения частоты сердечных сокращений:

- очистить регистры 02,03,04 модуля MAX 30100;
- установить разрешение прерывания для ЧСС (бит 5, регистр 01);
- установить ток 7,6 мА через светодиод RED (светодиод IR-пассивен, регистр 09);
- установить время однократного свечения светодиода RED 400 мкс, регистр 07);
- проверить установку флага готовности по ЧСС (регистр 00);
- если флаг установлен, прочитать результат из буфера FIFO (регистр 05).
- результат вывести на дисплей.

На рис. 2 представлена фотография пульсовой волны, отображаемой на экране монитора компьютера, полученной как результат работы собранного устройства.

В целом, проверка показала его работоспособность, что позволяет сделать вывод о перспективности использования платформы Arduino при выполнении экспериментальных работ для биомедицинских применений. Что касается точности и стабильности результатов измерений, то ответ

на этот вопрос требует продолжения экспериментов с данным устройством и его программным обеспечением.

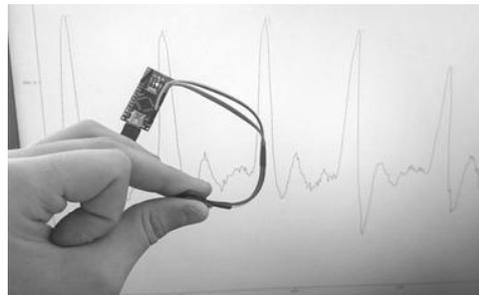


Рис. 2. Макет и экспериментальная временная диаграмма пульсовой волны

Для автономной работы устройства потребуется дополнительный модуль жидкокристаллического дисплея, например, Hitachi HD 44780, для которого имеется стандартная библиотека Liquid Cristal программной среды Arduino. Запись готовых программ в микроконтроллер платы Arduino Nano осуществляется с помощью собственного загрузчика, запускаемого из меню графического интерфейса программной среды Arduino.

Список литературы

1. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
2. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – СПб. : БВХ-Петербург, 2014. – 400 с. – (Электроника). – ISBN 978-5-9775-3337-9.
3. URL: <https://datasheet4u.com/pdf/MAX30100-pdf/950845>. (дата обращения 16.03.2017).
4. Calibration-Free Pulse Oximetry Based on Two Wavelengths in the Infrared — A Preliminary Study/ *jurnal/sensors/ Sensjrs* 2014, 14, 7420-7434. URL: [https://www/mdpi.com](https://www.mdpi.com) (дата обращения 16.03.2017).
5. Nitzan M., Babchenko A., Khanokh B., Taitelbaum H. The measurement of oxygen saturation in venous blood by dynamic near IR spectroscopy. *J. Biomed. Opt.* 2000, 5, 155–162., URL: <https://www.researchgate.net/publication/3421176>. *The measurement of oxygen saturation in arterial and venous blood* (дата обращения 16.03.2017).

СЕКЦИЯ «ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТОВОЛОКОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Руководитель секции: Гриднева Г.Н., к.т.н., доцент кафедры оптических и биотехнических систем и технологий

Физико-технологического института МИРЭА

УДК: 681.7.08

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ «ДУНАЙ» НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ

Цоколенко Д.В.¹, магистрант;
 Слепцов М.А.², к.т.н.;
 Дюжиков В.И.¹, к.т.н., профессор

¹Московский технологический университет,
 Физико-технологический институт

²ООО «Т8»

© Автор для переписки: Цоколенко Д.В.
 e-mail: dtsokolenko@mail.ru

В статье описана принципиальная схема работы системы мониторинга протяженных объектов «Дунай», представлены результаты измерений и сделаны выводы из проведенных экспериментов.

Ключевые слова: фазочувствительный рефлектометр, система мониторинга протяженных объектов, «Дунай».

THE APPLICATION OF THE SYSTEM OF MONITORING OF EXTENDED OBJECTS "DANUBE" ON THE TRAIN TRACKS

Tsokolenko D. V.¹;
 Sleptsov M. A.²;

Dyuzhikov V.I.¹

¹ Moscow technological university, Physico-technological institute

²ООО «Т8»

© Author for correspondence: D. V. Tsokolenko
 e-mail: dtsokolenko@mail.ru

The article describes the schematic diagram of the monitoring system of extended objects "Danube" presented the results and conclusions of conducted experiments.

Key words: phase-sensitive OTDR monitoring system of extended objects, "Danube".

Системы мониторинга, использующие в качестве чувствительного элемента оптоволокно, на сегодняшний день широко применяются. Система может выполнять широкий спектр задач, связанных с мониторингом различных объектов: охрана периметра, мониторинг и охрана нефте- и газопроводов, охрана линий связи, мониторинг вибраций мостов, зданий, ответственных промышленных объектов, мониторинг железнодорожных путей.

Принципиальная схема и результаты

Схема работы когерентного рефлектометра изображена на рис. 1. Принцип работы системы аналогичен принципу действия оптического рефлектометра или радара. В волокно поступает короткий световой импульс и регистрируется рассеянное и отраженное назад излучение. В когерентном рефлектометре используется более узкополосный и стабильный источник

излучения, за счёт чего отражённые сигналы складываются когерентно: разность их фаз друг относительно друга постоянна во времени. Суммарный сигнал при этом может иметь мощность от нуля (если отражённые сигналы сложились в противофазе) до максимума (если фазы двух отражённых сигналов совпали). Разность фаз очень чувствительна к колебаниям расстояния между центрами рассеяния: его изменение всего на 100 нм вызывает заметное изменение мощности суммарного сигнала. На этом эффекте и основано применение когерентного рефлектометра для задач мониторинга.

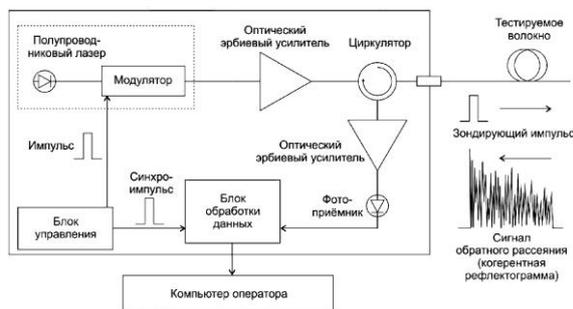


Рис. 1. Схема работы когерентного рефлектометра

При использовании кабеля, проложенного в грунте, система позволяет уверенно обнаружить различные источники воздействия на расстоянии до 100 м от кабеля и более. Чувствительность зависит от ряда факторов: глубина прокладки кабеля, тип кабеля, тип грунта и его состояние (сухой, влажный, мёрзлый), тип события, расстояние до рефлектометра. Оптимальная глубина прокладки кабеля составляет 30–40 см, поскольку при этом до кабеля доходят поверхностные акустические волны.

Система «Дунай» может фиксировать и различать разные события. Система отслеживает движение поездов, сцепку вагонов, может отслеживать случайные падения груза с ж/д состава, кроме того система ведёт анализ состояния почвы и выявляет повреждение полотна. Для того, чтобы система различала события, происходящие на участке, были проведены эксперименты на нескольких полигонах. Система может различить типы поездов, характер их движения и количество вагонов.

Данные экспериментов проведённых на полигонах

На рис. 2 и 3 представлены данные экспериментов с полигона в п. Фрязино.

На рис. 4 изображены результаты обработки сигналов с полигона в Сколково. Из полученных данных можно определить количество вагонов и наличие у них электродвигателей.

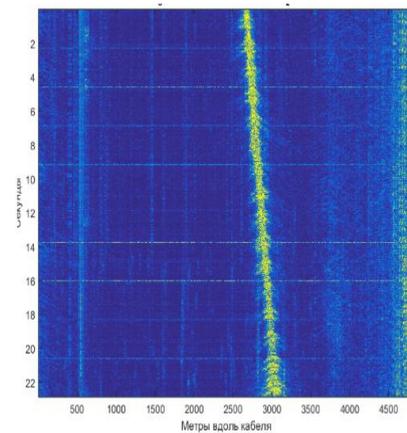


Рис. 2. Проезд дрезины

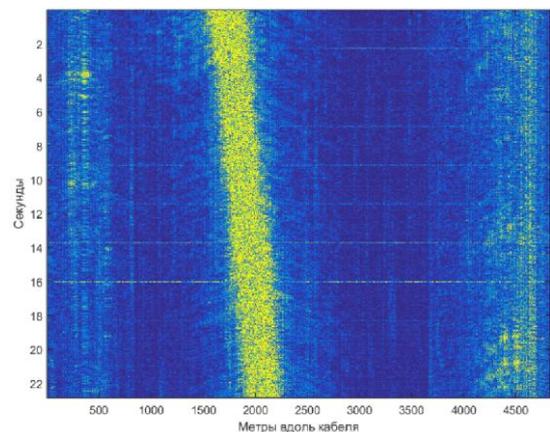


Рис. 3. Проезд электропоезда

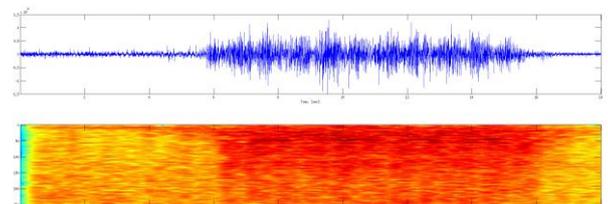


Рис. 4. Проезд поезда на полигоне в Сколково

В результате проведённых измерений и исследований установлено:

Система позволяет распознать и классифицировать подвижные транспортные средства на железной дороге с вероятностью 95–98%

Достигнута точность в 95–98% при подсчёте колёсных пар.

Благодарность:

**Хотелось выразить благодарность
компании «Ranberry»
за обработку данных.**

Список литературы

1. Нестеров Е.Т., Трещиков В.Н., Камынин В.А., Наний О.Е. Когерентный рефлектометр с полупроводниковым источником излучения / Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт,

спец. выпуск "Метрология: измерения и технологии", 2010. — С. 36.

2. Листвин А. В., Листвин В. Н. – Рефлектометрия оптических волокон./ - М.: ЛЕСА-Рарт, 205. 208 с., ил. Лицензия ИД № 01913 от 1 июня 2000 года.

3. Кондратенко В.С. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ ("ОПТОТЕХ-2016") сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции. Московский технологический университет, Физико-технологический институт. - Том. Выпуск 1 Москва, 17 ноября 2016 г.

УДК 681.7.068

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Симонов М.А.¹, к.т.н., начальник
ОРСС;

Заренбин А.В.², генеральный директор

¹Московский технологический университет,
Физико-технологический институт

²ООО ИП «НЦВО-Фотоника»

® Автор для переписки: Симонов М.А.
e-mail: Maxikrylia@yandex.ru

Работа посвящена разработке высокоэффективного комплекса для контроля технической диагностики промышленного оборудования в режиме реального времени на основе технологий волоконной оптики.

Ключевые слова: решетка Брэгга, унифицированный регистрирующий модуль, волоконно-оптический датчик, контроль.

FIBER-OPTIC TELEMETRY COMPLEX FOR TECHNICAL

DIAGNOSTICS OF INDUSTRIAL EQUIPMENT IN REAL TIME

Simonov M.A.¹;
Zarenbin A.V.²

¹Moscow technological university. Physico-
technological institute

²FORC - Photonics

®Corresponding author: Simonov M.A.
e-mail: Maxikrylia@yandex.ru

The work is devoted to the development of a highly effective complex for monitoring the technical diagnostics of industrial equipment in real time on the basis of fiber optic technologies.

Key words: Bragg grating, unified registration module, fiber-optic sensor, control

На сегодняшний день, в инновационном предприятии «НЦВО-Фотоника», разработаны и серийно выпускаются комплексы оборудования для проведения комплексной технической диагностики различного промышленного оборудования.

Основными преимуществами производимой продукции являются:

- надежность;
- воспроизводимость и широкий динамический диапазон измерений;
- высокая помехозащищенность, нечувствительность к электромагнитным по-

мехам, таким как СВЧ-поле, искровой ряд, магнитные поля, электро-магнитные импульсы различной природы и любой интенсивности;

- абсолютная электробезопасность, связанная с отсутствием электрических цепей между датчиком и регистрирующим модулем;
- взрыво- и пожаробезопасность.

Для получения наиболее полной информации о контролируемом объекте были разработаны волоконно-оптические датчики на основе волоконно-оптической решетки Брэгга таких физических величин, как: температура, деформация, давление, вибрация, крен.

Каждый тип перечисленных выше датчиков имеет различные диапазоны работы, например, датчики температуры, по своим техническим возможностям разделены на три основные группы, по температурному диапазону работы (Таблица 1).

Таблица 1

Технические характеристики волоконно-оптических датчиков температуры

Параметр / Артикул	OSCT	OSMT	OSHT
Диапазон измерения температуры, °С	-70 ÷ +150	-70 ÷ +300	-70 ÷ +500
Центральная длина волны, нм	1510 ÷ 1590		
Пределы допустимой абсолютной погрешности измерений, °С	± (0,1 + 0,0017*t)		
Класс точности по ГОСТ 6651-2009	AA		
Разрешение, °С	0,1		

Для организации регистрации сигналов с волоконно-оптических датчиков, на сегодняшний день в ООО ИП «НЦВО-Фотоника» реализовано производство линейки унифицированных регистрирующих модулей (УРМ).

Ключевые преимущества УРМ производства ООО ИП «НЦВО-Фотоника» – это высокая частота опроса (до 8кГц), надежная система регистрации показаний в реальном времени (ПЛИС), высокая плотность размещения датчиков в одном канале (до 16 датчиков) и большое количество

оптических каналов (до 16), максимальное время опроса всей системы (с максимальной нагрузкой из 256 датчиков) не превышает 1 секунды.

Все разработанные приборы и устройства ООО ИП «НЦВО-Фотоника» были соответствующим образом испытаны на соответствие заявленным характеристикам:

1. По результатам метрологической проверки унифицированного регистрирующего модуля на виброустойчивость в ФБУ «Ростест-Москва» получен протокол испытаний № 0279-261. Унифицированный регистрирующий модуль успешно выдержал синусоидальные вибрации с перегрузкой 1g в диапазоне частот 7–100Гц в течение 30 минут, что удовлетворяет требованиям технического задания проекта.

2. По результатам проведения метрологических оптических характеристик УРМ в ФГУП ВНИИОФИ был получен сертификат калибровки RU 01 № 215/16.

3. Испытания датчиков температуры проводились на метрологическом поверенном оборудовании: термостат переливной прецизионный серии ТПП–1 (предназначен для воспроизведения температуры в диапазоне от - 75 до + 300°С), калибратор температуры КТ-2 (предназначен для воспроизведения температуры в диапазоне от 40 до 500°С), измеритель температуры многоканальный прецизионный МИТ 8 (предназначен для измерения сигналов от первичных преобразователей температуры).

4. Успешно проведены испытания образцов датчиков вибрации серии OSA-520 в ООО «Новатест» в широком диапазоне изменения виброускорения от 10 м/с² до 400 м/с² с изменением частоты вибрации от 10Гц до 4000Гц.

Список литературы

1. Симонов М.А., Заренбин А.В., Васильев С.А., Медведков О.И. Волоконно-оптический щуп для измерения температуры // Патент на полезную модуль № 133294. Опубликовано: 10.10.2013. Бюл. №28.
2. Симонов М. А., Заренбин А.В., Васильев С.А., Медведков О.И., Костюков В.Н., Тарасов Е.В Опыт разработки и применения волоконно-оптического телеметрического комплекса

мониторинга состояния объекта коксования нефтепродуктов на нефтеперерабатывающем заводе. // Научно-технический журнал «Фотон-экспресс», 6 (110) октябрь 2013, ISBN: 37261, с.20-21.

3. Симонов М.А., Заренбин А.В., Гриднева Г.Н. Опыт разработки и применения волокон-

но-оптического телеметрического комплекса мониторинга состояния объекта коксования нефтепродуктов. // III всероссийская 19 конференция по фотонике и информационной оптике: Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2014, ISBN 978-5-7262-1904-2, с.197-198.

УДК 621.3

СИСТЕМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ПОСРЕДСТВОМ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Исупов Д.С.¹, инженер-конструктор;
 Игнатьев А.Д.¹, начальник ОЭУ;
 Заренбин А.В.¹, руководитель НТП;
 Кондратенко В.С.², д.т.н., профессор

¹Общество с ограниченной ответственностью Инновационное предприятие «НЦВО - Фотоника»

²Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Исупов Д.С.
 e-mail: isupovfotonics@gmail.com

Работа посвящена акустико-эмиссионному контролю состояния объектов. Предложено решение для предварительного АЭ контроля по средствам волоконных оптических датчиков на основе волоконного интерферометра Майкельсона с равными длинами плеч.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, мониторинг, интерферометр Майкельсона.

PRELIMINARY MONITORING SYSTEM OF THE OBJECTS VIA OPTICAL FIBER ACOUSTIC EMISSION CONVERTERS

Isupov D.S.¹;

Ignatyev A.D.¹;
 Zarenbin A.V.¹;
 Kondratenko V.S.²

¹Limited Liability Company "Innovative Enterprise" FORC - Photonics "

²Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail:
 isupovfotonics@gmail.com

The work is dedicated to acoustic emission monitoring of the objects. Proposed solution for preliminary AE monitoring by means of optical fiber sensors based on a Michelson fiber interferometer with equal shoulder lengths

Keywords: acoustic emission, monitoring, Michelson interferometer.

Метод акустико-эмиссионного неразрушающего контроля основан на регистрации и анализе сигналов, возникающих в результате появления дефектов в материале. Источником сигнала акустической эмиссии может быть любое динамическое явление (разрыв или восстановление атомных связей, образование и перемещение дислокаций), происходящее внутри и на границе контролируемого объекта.

Классическая система для акустикоэмиссионного контроля содержит: преобразователи АЭ, набор предварительных и основных усилителей, а так же средства идентификации и обработки сигналов. В качестве преобразователей АЭ используются пьезоэлементы с протектором, сопряженные с пьезотрансформатором.

Такие преобразователи имеют ряд ограничений, присущих пьезоэлектрическим системам: низкая радиационная стойкость, высокое выходное сопротивление и низкая помехозащищенность.

В качестве альтернативы пьезоэлектрическим преобразователям могут служить волоконно-оптические датчики акустических сигналов на основе волоконных интерферометров Майкельсона с равными длинами плеч (по ~1 м) с фарадеевскими зеркалами (ФЗ) на концах. Измерительное плечо каждого образцового сенсора длиной 1 м в виде многовиткового чувствительного элемента вынесено на расстояние 1 м от звукоизолирующего корпуса, в котором располагаются направленный разветвитель Y-типа, опорное плечо и фарадеевские зеркала.

Для решения задачи обработки сигналов волоконных датчиков в ООО ИП "НЦВО - Фотоника" (рис. 1) разработана система предварительного мониторинга. Устройство позволяет осуществлять контроль состояния объекта посредством как оптических волоконных, так и пьезоэлектрических вибрационных и АЭ преобразователей. В случае возникновения ситуации, приводящей к разрушению контролируемого объекта, системой осуществляется выдача управляющих сигналов для срабатывания предупредительной сигнализации.



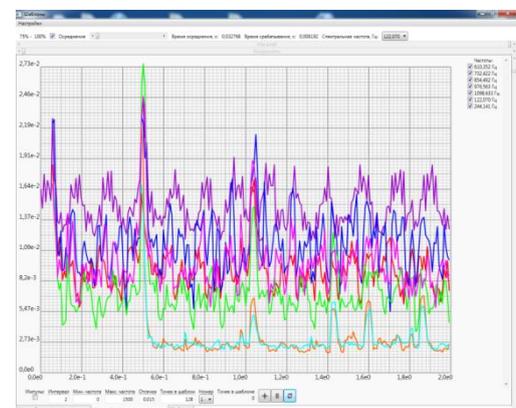
Рис. 1. Внешний вид устройства

Принцип действия системы основан на разложении входящего сигнала АЭ преобразователя в режиме реального времени методом быстрых преобразований Фурье. Устройство может работать в двух режимах: непрерывном и импульсном.

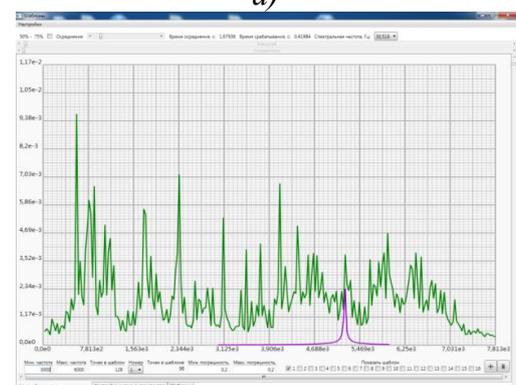
Непрерывный – в случае, если искомый сигнал обладает уникальной совокупностью гармоник и незначительно изменяет-

ся по времени (рис. 2,б). В этом режиме, пользователь может выбрать набор параметров амплитуда-частота, идентифицирующих в сигнале искомое событие (далее шаблонов) и сохранить до 16 таких наборов с целью определения момента наступления заданного события.

Импульсный применяется для коротких сигналов акустической эмиссии. Устройство позволяет пользователю идентифицировать такие события путем задания диапазона частот и минимального порогового значения амплитуды искомого события в сигнале. Посредством функции контроля частот происходит запись набора частот, превышающих заданный порог амплитуды в указанном диапазоне, в шаблон (рис. 2,а).



а)



б)

Рис. 2. Временная запись высокочастотных сигналов АЭ (а) и частотная характеристика непрерывного входного сигнала (б)

Разработанная система предварительного мониторинга позволяет проводить контроль состояния объекта путем изучения параметров акустической эмиссии и вибраций. Использование волоконных оптических датчиков позволяет расширить возможные применения АЭ контроля для

задач, где использование классических преобразователей невозможно.

Список литературы

1. В.И. Иванов, Г.А. Бигус, И.Э. Власов. *Акустическая эмиссия: учеб. Пособие / под общ. Ред. В.В. Клюева. – 2-е изд. М.: Издательский дом «Спектр», 2015. – 192с.: ил. – (Диагностика безопасности).*
2. Беловолов М.И., Дианов Е.М., Заренбин А.В., Туртаев С.Н., «Распределенная волоконно-оптическая система регистрации виброакустических сигналов», Патент на изобретение № 2485454, Заявка № 2011125945. Приоритет от 24.06.2011 г. МПК G01H 9/00. Опубликовано: 20.06.2013 Бюл.№ 17.
3. М.И.Беловолов, В.М.Парамонов, С.Н.Туртаев. *Распределенные волоконно-оптические системы мониторинга. Предельные возможности.- ФОТОН-ЭКСПРЕСС-НАУКА, № 6, октябрь 2014 г., стр. 27-54.*

Таблица 1

Технические характеристики системы предварительного мониторинга

№	Параметр	Значение	Ед. измерения
1	Частотный диапазон измерений	31 - 1000000	Гц
2	Разрешающая способность	31	Гц
3	Число каналов	1	
4	Предельное число сохраняемых шаблонов	16	
5	Режимы работы	Непрерывный и импульсный	
6	Предельная потребляемая мощность	<50	Вт
7	Рабочий диапазон температур	+10 ÷ +40	°С

УДК:621.39

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ОПТИЧЕСКИЕ ВЧ ПЕРЕХОДЫ ДЛЯ МОРСКИХ СПУТНИКОВЫХ АНТЕНН

Аксёнов Е.А.^{1,2}, магистрант 2-го курса;
Гриднева Г.Н.¹, к.т.н., доцент

¹Московский технологический университет,
Физико-технологический институт

²ООО «СИСТЕМ САТ»

© Автор для переписки: Аксёнов Е.А.
e-mail: det-iron@yandex.ru

Работа посвящена описанию разных путей распространения информации через вращающиеся переходы

Ключевые слова: контактное кольцо, VSAT антенна, волоконно-оптический вращающийся соединитель.

OPTICAL ROTARY JOINTS FOR MARITIME STABILIZED ANTENNA SYSTEMS

Aksenov E.A.^{1,2};
Gridneva G.N.¹

¹Moscow technological university, Physico-technological institute

²System Sat Ltd.

© Corresponding author e-mail: det-iron@yandex.ru

This paper presents several ways of transferring information through rotary joints”.

Key words: Slip ring, COBHAM, VSAT antenna, FORJ

Вращающиеся соединения нужны там, где ВЧ-сигналы необходимо передавать в последовательной ротации со стационарной на вращающуюся платформу. При этом они имеют широкий спектр применения, начиная от уже известной радарной

техники для наблюдения за воздушным пространством или ПВО, медицинской техники, систем VSAT и SatCom и заканчивая системами камер для телевидения и кабельными бобинами, где данные устройства гарантируют намотку чувствительного кабеля без перекрутки и тем самым повышают надежность.

Одним из важнейших элементов любой вращающейся установки является вращающееся соединение. В морских стабилизированных антеннах помимо высокочастотных сигналов через соединитель передается также и слаботочное питание радиочастотных элементов. Для этого используется более сложный соединитель, сочетающий в себе SLIP RING и ROTARY JOINT в одном корпусе. Задачу по созданию таких переходов взяла на себя такая крупная компания, как Spinner. В данной отрасли они являются поставщиками практически для всех производителей мобильных антенных постов, в частности KVH, INTELLIAN и SEATEL COBHAM.

В основном надежность достигается применением трех различных технологий, определяемых частотами передачи:

– **Контактная передача с помощью контактных колец** В зависимости от размеров конструкции с помощью такой контактной передачи можно передавать сигналы в диапазоне от DC до 120 MHz.

– **Коаксиальные контактные вращающиеся соединения** Посредством этих устройств SPINNER возможна передача сигнала в диапазоне от DC до 50 GHz.

– **Бесконтактные вращающиеся соединения** Эти устройства используются в коаксиальной и волноводной технике и отличаются особо длительным сроком службы. Передача сигналов возможна на ширине полосы, составляющей около 20% верхней передаваемой частоты.

– **Вращающиеся соединения для передачи оптических сигналов**, которые могут, например, передавать до 21 канала, а также объединять вышеперечисленные отдельные виды технологий в одном устройстве.

Ниже приводится схема конструкции подобного вращающегося перехода

На рис. 1–4 изображен оптический соединитель. Оптический соединитель (рис. 1) состоит из корпуса 1, в котором оппозитно размещены два узла 2 и 3, каждый с закрепленным в нем концом оптического кабеля 4 и 5. В корпусе 1, выполненном в виде втулки, имеется юстировочное окно 6, которое в собранном виде закрыто кожухом 7 с элементами крепления соединителя 8.

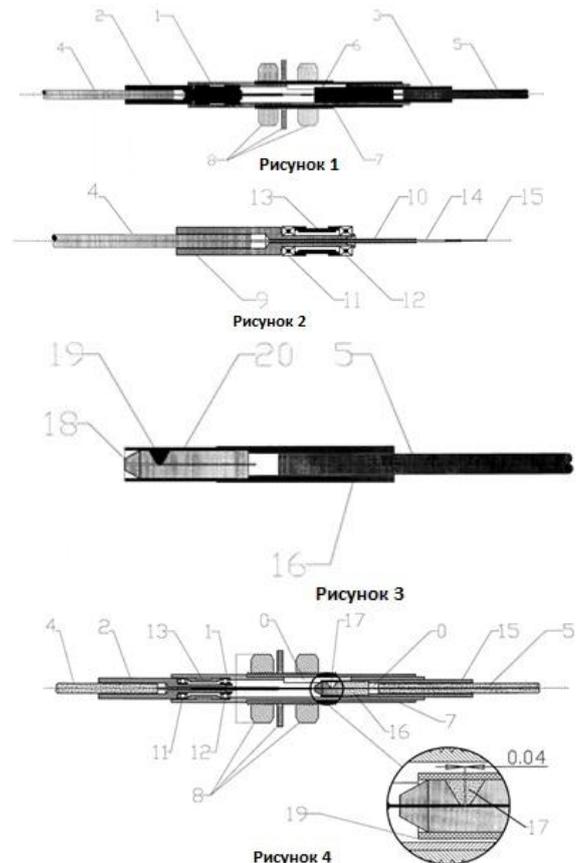


Рис1-4. Оптический соединитель

Узел 2 подробно изображен на рис. 2. Он состоит из вала 9 со ступенчатым отверстием вдоль оси, оптического кабеля 4, имеющего капилляр 10, подшипников 11 и 12 и распорной втулки 13. Внешняя оболочка конца оптического кабеля 4 вклеена в отверстие вала 9, а зачищенный конец 14 капилляра 10 вставляется в феррулу.

Узел 3 изображен на рис. 3 и состоит из втулки 15, которая совмещена с феррулой 16. Феррула 16 выполнена с вырезом 17.

Внешняя оболочка конца оптического кабеля 5 вклеена во втулку 15, а его очищенный конец 18 – в феррулу 16. Вырез 17 в ферруле 16 заполнен оптическим гелем и закрыт чехлом 19. Рабочее состояние со-

единителя предполагает точное взаимное расположение узлов 2 и 3. При сборке в вырезе 17 феррулы 16 (рис. 4) устанавливается расстояние между торцами оптических волокон 0,03–0,05 мм и удерживается в этих пределах независимо от температуры, так как соединитель выполнен из сплава, обладающего малым коэффициентом температурного расширения (например, «ИНВАР»).

Передача информации осуществляется при вращении узла 2 с закрепленным в нем оптическим кабелем. Очищенный от оболочек его конец 14 вращается в отверстии феррулы, передавая информацию на очищенный конец 18 оптического кабеля 5. При этом эксцентриситет при вращении торца волокна в ферруле не связан с радиальным биением вала 9 и определяется допусками на диаметры волокна и отверстия феррулы, что не превышает 0,001–0,002 мм, чем обеспечивается соосность оптических волокон кабелей и более точная передача информации, чем у ближайшего аналога, а также передача информации на больших скоростях вращения. Осевой люфт вращающегося кабеля, зависящий от фиксации вала 9 (рис. 2) в подшипниках 11 и 12, минимизирован распорной втулкой 13. Все это обеспечивает стабильность и

надежность работы соединителя. В результате выполнения соединителя в виде одного корпуса, исключения промежуточных подвижных элементов, фиксирующих оптические кабели и очищенные оптические волокна, уменьшаются габариты соединителя и стоимость его изготовления. Отсутствие указанных промежуточных элементов исключает их взаимное смещение при вращении и температурных перепадах, что увеличивает надежность соединителя.

Вывод

Так как применяемое антенное оборудование Sea Tel 6012-42 является наиболее технологически современной конструкцией, то применение данного соединителя уменьшает потери при передаче информации на стыковых соединениях. На антеннах предыдущего поколения применялись коаксиальные вращающиеся переходы, что увеличивало коэффициент затухания сигнала в кабеле.

Список литературы

1. 1.99-145041-A Installation Manual 6012-42 Fiber/Peter Blaney//COBHAM SEATEL.2016
2. http://spinner-elektrotechnik.ru/production/rotary_joints_slip_rings/Решения-Spinner-для-спутниковых-и-РЛС-систем-1.pdf

УДК 621.3.087.24

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ТЕЛЕЦЕНТРИЧЕСКИМ ХОДОМ ЛУЧЕЙ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАММ

Каменева Н.А., техник

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

© Автор для переписки: Каменева Н.А.
 e-mail: edgynordcordy@gmail.com

В докладе приводятся результаты исследования характеристик оптической системы с телецентрическим ходом лучей, предназначенной для регистрации

цифровых голограмм. Система основана на взаимной компенсации искажений, вносимых двумя объективами. В экспериментах показана линейность передачи изображения и высокая разрешающая способность.

Ключевые слова: цифровая голография, телецентрическая система, разрешающая способность, интерферометр сдвига, изофотометрия ФРТ

TELECENTRIC OPTICAL SYSTEM FOR RECORDING DIGITAL HOLOGRAMS

Kameneva N.A.

FSUE VNIIA

© Corresponding author e-mail:
 edgynordcordy@gmail.com

The report presents the results of a study of a telecentric optical system for recording digital holograms. The system is based on mutual compensation of distortions introduced by two lenses. In experiments, linearity of image transmission and high resolution are shown.

Key words: Digital hologram, Telecentric system, High resolution, Shear interferometer, Isophotometry PSF

Введение

Регистрация микрочастиц вещества в быстропротекающих процессах представляет собой сложную научно-техническую задачу. Образование микрочастиц при воздействии ударной волны на различные материалы называется пылением. На сегодняшний день для регистрации пыления существует значительное множество различных методов. Основное требование к ним – высокая разрешающая способность. Фраунгоферовская голография позволяет обеспечить высокое разрешение – до 0,5 мкм – благодаря использованию широкоапертурной телецентрической оптики. При этом предъявляются повышенные требования к методам контроля качества настройки и юстировки оптической системы.

Установка

Типовая установка для голографической регистрации пыления, описанная в статье [1], показана на рис. 1. Лазерный пучок распространяется слева направо через объем движущихся частиц. Часть света рассеивается на частицах, часть – проходит насквозь. Эти два волновых фронта интерферируют в плоскости светочувствительного элемента и формируют голограмму.

Преимущество данной техники в том, что требуется один лазерный пучок. Для обеспечения высокого разрешения используется оптическая система, переносящая изображение объекта в плоскость регистрации. Данная конфигурация представлена на нижней части рис. 1. Оптическая система соединяется с камерой, в которой проводится опыт. Рассеянные и нерассеянные волны проходят через выходное окно и взаимодействуют через систему линз. Регистратор располагается напротив исследуемого объема, где рассеянный и нерассеянный фронты интерферируют и образуют голографическую

картину.

При записи голограмм существует необходимость переноса и масштабирования волнового фронта для обеспечения корректной регистрации его структуры на цифровые матрицы. Оптическая система должна обеспечивать отображение исследуемого трёхмерного объёма без искажения пропорций и с одинаковым оптическим увеличением в пределах глубины регистрируемой области. Данный эффект обеспечивается в телецентрических системах (рис. 2).

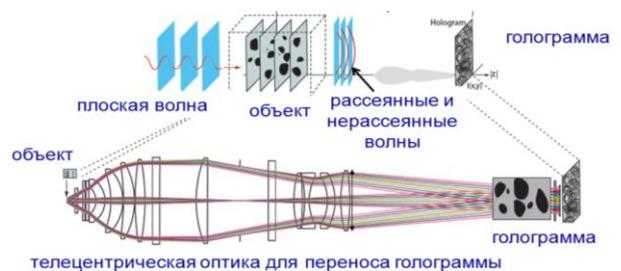


Рис. 1. Типовая установка для голографической регистрации пыления

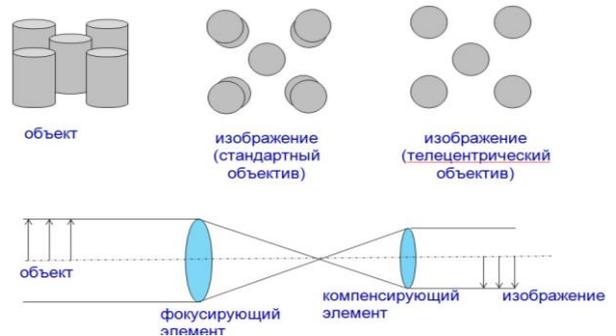


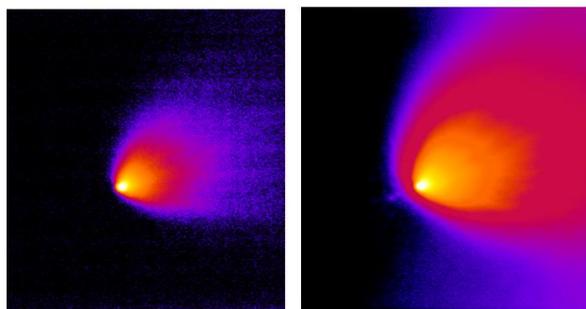
Рис. 2. Телецентрические системы

В такой системе главные лучи идут параллельно оптической оси. В пространстве предметов перемещение объекта вдоль оси не влияет на размер изображения, так как в пределах регистрируемой области изменение их линейного увеличения вдоль оптической оси взаимно компенсируется.

Методы контроля

Для контроля разрабатываемой оптической системы предложено использовать два метода: изофотометрию ФРТ с изменяющимся временем накопления и интерферометрию сдвига. Изофотометрия ФРТ с изменяющимся временем на-

копления отличается от стандартной изофотометрии ФРТ тем, что регистрируется серия кадров с разной временной экспозицией, что позволяет расширить динамический диапазон до 10^6 . Результаты регистрации функции рассеяния точки этими двумя способами представлены на рис. 3.



ФРТ с одного кадра

ФРТ из серии кадров с
изменяющимся
временем накопления

Рис. 3. Результаты регистрации функции рассеяния точки

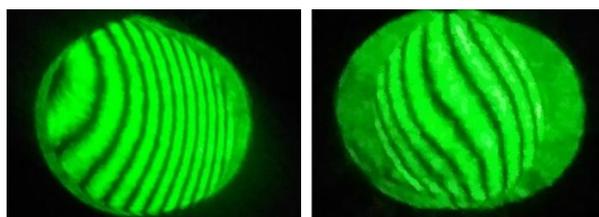


Рис. 4.

В интерферометре сдвига рабочая волна интерферирует сама с собой. В нем контролируемый волновой фронт накладывается на точно такой же, но сдвинутый. Интерферометры сдвига нечувствительны к вибрациям, так как интерферирующие лучи проходят один путь. На рис. 4 слева показана картина, наблюдаемая в интерферометре сдвига при наличии комы, кроме того, здесь имеет место быть расфокусировка, характеризующаяся сдвигом колец вбок. На второй

картинке присутствует сферическая aberrация.

Регистрация параметров системы двумя методами – сдвиговой интерферометрией и изофотометрией ФРТ с изменяющимся временем накопления – позволяет повысить точность контроля параметров оптической системы и выявлять различные виды aberrаций с более высоким качеством, чем каждый из методов в отдельности.

Выводы

1. Предложен вариант схемы телецентрической системы для оптической голографии, показана необходимость контроля качества юстировки для обеспечения высокого разрешения.

2. Предложен и экспериментально исследован метод контроля параметров оптической системы на основе интерферометрии сдвига и изофотометрии ФРТ с изменяющимся временем накопления.

Список литературы

1. *Ejecta Particle-Size Measurements in Vacuum and Helium Gas using Ultraviolet In-Line Fraunhofer Holography*. D. S. Sorenson, P. Pazuchanics, R. Johnson, et al. LA-UR-14-24722 2014-06-25 (URL: <http://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-14-24722>).
2. *Ejecta Particle Formation from Micro-Jets (U)*, D.S. Sorenson, P. Pazuchanics, R. Johnson, et al. LA-UR-14-23036, 2014-04-30 (URL: <http://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-14-23036>).
3. *Ejecta particle size and velocity distributions in vacuum and gas environments using in-line Fraunhofer Holography*. D. S. Sorenson, P. Pazuchanics, R. M. Malone, M. I. Kaufman, et al. LA-UR-11-03789, 2011-06-25 (URL: <http://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-11-03789>).

УДК 621.373.8

Key words: optical fiber, Brillouin scattering, distributed sensor

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ СЕНСОР РАСТЯЖЕНИЯ

Комаров Д.А.^{1,2}, начальник технического отдела;
Ширяев Д.А.^{2,3}, техник технического отдела;
Хахичев А.С.^{1,2}, техник технического отдела

¹Московский технологический университет,
Физико-технологический институт

²Закрытое акционерное общество «Лазер Солюшенс»

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

© Автор для переписки: Комаров Д.А.,
e-mail: dkomarov@lscot.ru

Рассмотрен волоконно-оптический распределенный сенсор деформации, основанный на оптическом волокне в плотном буферном покрытии, армированном арамидными нитями, и результаты сравнительных испытаний образца буфера с оптическим волокном в акрилатном покрытии.

Ключевые слова: оптическое волокно, рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, распределенный сенсор

FIBER OPTIC TENSION SENSOR

Komarov D.A.^{1,2};
Shiryayev D.A.^{2,3};
Khakhichev A.S.^{1,2}

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

²Closedjointstockcompany«Laser Solutions»

³National Research Nuclear University «MEPhI»

© Corresponding author: Komarov D.A.,
e-mail: dkomarov@lscot.ru

A fiber-optic distributed tension sensor based on an optical fiber in a tight buffered coating reinforced with aramid thread and the results of comparative tests of a sample with an optical fiber in an acrylate coating are considered.

Волоконно-оптические системы мониторинга с каждым годом получают все более широкое распространение: транспортные сети, строительство, нефтегазовая отрасль и т.д. Отдельным типом данных систем являются распределенные системы. Бесспорным преимуществом данного типа систем является возможность мониторинга объектов с большой протяженностью. Принцип действия такого рода систем основывается на регистрации параметров тонкой структуры обратного рассеяния по всей длине волокна [1].

Распределенные сенсоры деформации, на основе регистрации сдвига частоты рассеянного излучения Мандельштама-Бриллюэна, должны содержать оптические волокна, расположенные строго параллельно оси сенсора, в плотном механическом контакте с наружными оболочками сенсора и объектом мониторинга. Конструкция сенсора деформации должна исключать взаимное скольжение её элементов в диапазоне допустимых деформаций.

Данное требование жесткой механической связи между оптическим волокном и наружной оболочкой сенсора предъявляет серьезные требования к технологии производства. При отработке производства распределенного волоконного сенсора деформации [2], предназначенного для монтажа на поверхности трубопроводов (рис. 1), была выявлена проблема, связанная с эксцентриситетом оптического волокна в плотном буферном покрытии относительно плоскости силовых элементов.

В сенсоре возникало большое дополнительное, по отношению к измеряемому, растяжение оптического волокна сенсора вследствие возможного изгиба. А именно, при изгибе сенсора в плоскости расположения силовых элементов силовые элементы испытывают деформацию удлинения (сжатия), которая определяется удаленностью от недеформированной нейтральной линии. Так как расстояние между центрами силовых элементов в известном сенсоре не меньше поперечного размера плотного полимерного покрытия оптического

ского волокна и силового элемента, то деформация удлинения (сжатия) силовых элементов является неустранимой. Вследствие такой деформации, возникает деформация кручения сенсора и дополнительное удлинение оптического волокна. Следовательно, использование сенсора затруднено в случаях, когда предполагается его изгиб, например, для мониторинга деформации конструкций сложной формы или в качестве составного элемента сенсоров более сложных конструкций, содержащих, например, скрутку своих элементов, по причине невозможности разделения удлинения оптического волокна вследствие растяжения сенсора и вследствие изгиба сенсора.

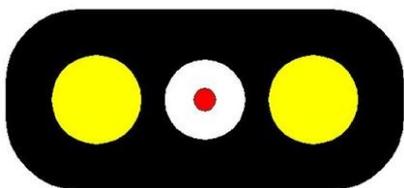


Рис. 1. Распределенный волоконно-оптический сенсор деформации

Применение для распределенного мониторинга непосредственно оптического волокна в качестве сенсора затруднительно в силу его недостаточной упругости и прочности. Даже применение оптического волокна в плотном полимерном покрытии бывает недостаточно по тем же причинам, поскольку сопротивление удлинению обусловлено в основном упругостью самого оптического волокна. Применение дополнительных наружных армирующих покрытий часто ограничивается недостаточной механической связью последних с плотным полимерным покрытием оптического волокна. Улучшить результаты возможно за счет применения жестких силовых элементов в общей оболочке сенсора, которые, в то же время значительно увеличивают собственную жесткость сенсора, а также расположены от оси оптического волокна не ближе, чем сумма радиусов плотного полимерного покрытия оптического волокна и силового элемента, что приводит к значительному дополнительному удлинению волокна при изгибе сенсора.

Для этого было предложено выполнять армирование арамидными силовыми нитями плотного полимерного покрытия оптического волокна непосредственно в процессе его нанесения (рис. 2). Это решает задачу дозированного увеличения сопротивления растяжению оптического волокна в плотном полимерном покрытии при сохранении высокой гибкости такого сенсора и отсутствии дополнительного растяжения оптического волокна при изгибе сенсора, что повышает в целом точность измерений.

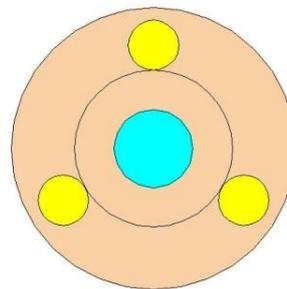


Рис. 2. Сечение буфера, армированного арамидными нитями

Испытания образца оптического волокна в плотном буферном покрытии, армированном арамидными нитями, происходили на испытательном стенде ЗАО «Лазер Солюшенс». При этом проводилось сравнение силовой характеристики образца с ранее полученными данными для оптического волокна в акрилатном покрытии (рис. 3).

Применение трёх арамидных нитей по 220 dtex, размещённых симметрично в радиальной толщине светоотверждаемой оболочки, с внешним диаметром не более 1 мм, позволяют увеличить допустимую растягивающую нагрузку до 60 Н (при удлинении сенсора не более 1%). Такая упругость уже обеспечивает возможность размещения сенсора на объекте мониторинга, а также возможность выполнения, при необходимости, последующих технологических операций.

Кроме того, арамидные нити, как элементы конструкции, не имеющие заданной формы поперечного сечения, могут быть расположены на минимальном расстоянии от оси оптического волокна, в отличие от

имеющих определенный поперечный размер стеклопластиковых или арамидопластиковых прутков, что позволяет снизить деформацию нитей и оптического волокна при изгибе сенсора.

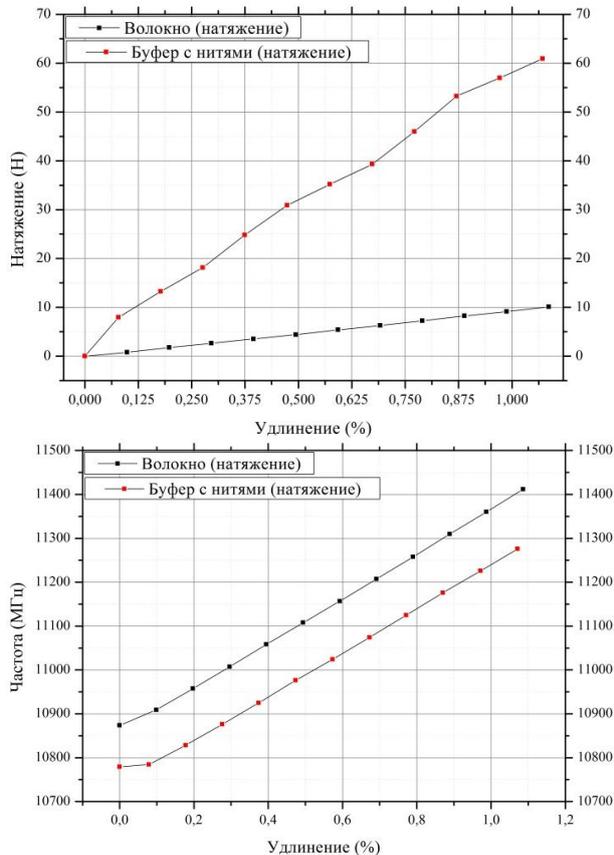


Рис. 3. Результаты испытаний образца буфера на стенде растяжения

Такой упрочнённый сенсор может применяться как самостоятельно, так и в качестве элемента более сложной конструкции. В отличие от стеклопластиковых или арамидопластиковых прутков, сохраняющих форму за счёт собственной жёсткости, арамидные силовые нити, являются гибкими элементами, способными работать только на растяжение, обладающими ничтожно малой жёсткостью на изгиб.

Список литературы

1. Исхаков Д.Р., Комаров Д.А., Ширяев Д.А., Хахичев А.С. Волоконно-оптическая система распределенного мониторинга / Сборник научных трудов: материалы Всероссийской научно-технической конференции «Оптические технологии, материалы и системы» («ОПТО-ТЕХ-2016»): Московский технологический университет, Физико-технологический институт. Выпуск I (электронный ресурс) / Под редакцией д.т.н., проф. Кондратенко В.С. – М.: МТУ.2016. 140 с.
2. Авдеев Б.В., Гречанов А.В., Наумов А.Н., Солодянкин М.А. Волоконно-оптический сенсор распределения продольных деформаций / Патент РФ №133303, МПК G01N 21/00/ – 2013.
3. Авдеев Б.В., Алексейчук И.М., Наумов А.Н. Волоконно-оптический сенсор растяжения / Патент РФ №152285, МПК G01N 21/00/ – 2015.э

УДК:681.2

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Ивашнёв А.А., магистрант;
Вигдорович Е.Н., д.т.н., профессор

Московский технологический университет,
Физико-технологический институт

© Автор для переписки: Вигдорович Е.Н. e-mail: evgvig@mail.ru

В работе рассмотрены основные принципы волоконно-оптической гироскопии, дана характеристика основных

элементов ВОГ различных типов и предложены методы компенсации некоторых погрешностей, обусловленных различными факторами.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, фотонные шумы, лазерные источники

ERROR ANALYSIS OF FIBER OPTIC GYROSCOPE

Ivashnev A. A.
Vigdorovich E. N.

Moscow technological University. Physico-technological institute. Stromynka 20, 107996, Moscow

© *Corresponding autor: Vigdorovich E.N.*
e-mail: evgvig@mail.ru

The paper discusses the basic principles of fiber-optic gyroscope, the characteristic of the basic elements of Vogue different types and methods of compensation of certain errors due to various factors.

Key words: fiber optic gyroscope, the photon noise of laser sources

Работа посвящена анализу погрешностей волоконно-оптического гироскопа и является попыткой последовательного рассмотрения принципов построения ВОГ исходя из минимизации влияния элементов на его точностные характеристики. Конструирование ВОГ на таких световодах определяет уникальные свойства прибора:

- потенциально высокая чувствительность (0.01 град/сек и менее);
- малые габариты и масса конструкции, благодаря возможности создания ВОГ на интегрально-оптических схемах;
- невысокая стоимость производства и относительная простота технологии по сравнению с роторными гироскопами;
- низкое потребление энергии;
- большой динамический диапазон измеряемых угловых скоростей;
- отсутствие вращающихся механических элементов (роторов) и подшипников, что повышает надежность;
- практически мгновенная готовность работы (не затрачивается время на раскрутку ротора);
- низкая чувствительность к линейным ускорениям;
- высокая помехоустойчивость.

В рамках *кинематической теории* рассмотрен плоский замкнутый оптический контур произвольной формы, в котором распространяются в противоположных направлениях две световые волны. Плоскость контура перпендикулярна оси вращения. При вращении контура с некоторой угловой скоростью кажущаяся длина участка для двух волн оказывается различной. Считая скорость света инвариантной величиной, связываем удлинение и сокращение путей с удлинением и сокращением отрезков времени и получаем выражение для относительного запаздывания, которое

можно выразить через разность фаз встречных волн. Суммирование по всей длине контура определяет итоговую разность фаз. Относительный фазовый сдвиг в данном случае определяется разностью частот волн, претерпевших доплеровский сдвиг, и также выражается через угловую скорость вращения контура. На основе рассмотренного эффекта можно построить принципиальную схему простейшего ВОГ. Излучение от источника попадает на светоделитель, где разделяется на две равные части, которые пройдя замкнутый контур, состоящий из многовитковой катушки волокна, попадают на фотодетектор. Выделенная фаза Саньяка преобразуется устройством обработки в угловую скорость вращения и при необходимости интегрируется с целью определения угла поворота системы. Интенсивность излучения на фотодетекторе пропорциональна косинусу разности фаз встречных волн, что определяет низкую чувствительность прибора к малым угловым скоростям.

Основными факторами, влияющими на условия распространения встречно бегущих волн, являются:

- флуктуации интенсивности и частоты источника излучения;
- изменение характеристик светоделителя;
- обратное рассеяние от лучей, движущихся в разных направлениях;
- электрооптические эффекты в волокне;
- магнитооптические эффекты в волокне;
- тепловые градиенты;
- поляризационные эффекты;
- тепловые шумы нагруженных элементов выходного тракта;
- дробовые шумы фотодетектора.

В работе проведена оценка предела чувствительности (точности) ВОГ, определяемая уровнем фотонных шумов и зависящая от интенсивности оптического излучения падающего на фотодетектор. Полученные теоретические выражения для ошибки, обусловленной дробовыми шумами позволяют сделать вывод о необходимости увеличения длины контура и уменьшения полосы пропускания НЧ-фильтра выходного каскада.

Использование высококогерентных лазерных источников позволяет снизить уро-

вень дробовых шумов, однако когерентная составляющая обратного (рэлеевского) рассеяния в волокне приводит к возникновению ошибки в разности фаз между двумя лучами. В работе рассмотрены дисперсионные свойства волокон с различными профилями показателя преломления, проведена качественная оценка зависимостей дисперсии профиля от корреляционных свойств для различных типов неоднородностей в волокне. Полученные соотношения позволяют по известным параметрам неоднородностей косвенно определить как вносимые потери так и характер невязимостей для различных участков волокна.

Важным источником шумов в ВОГ является также фотоприемник. Качественная оценка эквивалентной мощности шума фотоприемника для различных значений полосы пропускания системы позволяет сделать вывод о необходимости использования лавинных фотодиодов обладающих минимальным уровнем шума и позволяющих значительно увеличить отношение сигнал/шум при низких уровнях сигнала.

В качестве компенсации погрешностей предложены два схемотехнических метода и рассмотрены варианты использования некоторых элементов ВОГ. Проведена ка-

чественная оценка выигрыша в чувствительности прибора.

Одним из путей повышения точности ВОГ может быть использование в них суперфлуоресцентных источников излучения. Такие источники близки по свойствам к тепловым, но характеризуются высоким уровнем избыточного шума. Для обеспечения когерентного взаимодействия информативного и опорного сигнала можно использовать в качестве ответвителя направленный ответвитель 3×3 .

Оптический нелинейный эффект Керра проявляется в виде возмущения коэффициента преломления среды при изменении интенсивности воздействующего на среду электрического поля. Если мощности оптических лучей, распространяющихся в противоположных направлениях неодинаковы, а, следовательно, неодинаковы и постоянные распространения, то это приводит к фазовой невязимости контура и в результате к ошибке измерения угловой скорости. Компенсации этого эффекта можно достичь прямоугольной модуляцией источника излучения или выбором источника с соответствующими спектральными характеристиками.

УДК 621.373.8, 621.375

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛЬМИЕВОГО ВОЛОКОННОГО УСИЛИТЕЛЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 2016 НМ И 2045 НМ

Жлуктова И.В.^{1,2}, магистрант, инженер;

Титаренко Н.Ю.⁵, бакалавр;

Тавлеев А.А.⁵, бакалавр;

Камынин В.А.^{2,3,4}, к.ф.-м.н. научный сотрудник лаборатории;

Цветков В.Б.^{2,5}, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией

¹ Московский технологический университет (МГУПИ)

² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

³ Ульяновский государственный университет

⁴ Лаборатория фотоники Пермского научного центра УрО РАН

⁵ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

© Автор для переписки: Жлуктова И.В.
e-mail: iv.zhlyuktova@gmail.com

В данной работе продемонстрировано исследование волоконно-оптического усилителя, легированного ионами Но, работающего на длине волны 2016 нм и 2045 нм.

Усилитель накачивался волоконным лазером, легированным ионами Yb. Приведены выходные спектры и сравнение характеристик между усилением на длине волны 2016 нм и 2045 нм.

Ключевые слова: гольмиевый волоконный усилитель, активное волокно, усиление слабого сигнала

COMPARISON OF THE CHARACTERISTICS OF A HOLMIUM FIBER AMPLIFIER AT A WAVELENGTH OF 2016 NM AND 2045 NM

Zhlyuktova I.V.^{1,2} ;
 Titarenko N.Yu.⁵ ;
 Tavleev A.A.⁵ ;
 Kamynin V.A.^{2,3,4} ;
 Tsvetkov V.B.^{2,5}

¹ Moscow Technological University (MGUPI)

² Institute of General Physics, Prokhorov RAS

³ Ulyanovsk State University

⁴ Photonics laboratory of the Perm Scientific Center UB RAS

⁵ National Research Nuclear University "MEPhI"

© Corresponding author: e-mail: Zhlyuktova I.V.
 e-mail: iv.zhlyuktova@gmail.com

In this paper we demonstrate the study of a fiber-optic amplifier doped with Ho ions operating at a wavelength of 2016 nm and 2045 nm. The amplifier was pumped by a fiber laser doped with Yb ions. Output spectra and comparison of characteristics between amplification at a wavelength of 2016 nm and 2045 nm are presented.

Key words: holmium fiber amplifier, active fiber, weak signal amplification

Волоконные усилители 2 мкм диапазона широко используются как в системах волоконной связи, так и в медицине [1]. Одним из перспективных направлений являются усилители, работающие в 2 мкм спектральном диапазоне. Для реализации данных волоконных усилителей необходимы такие редкоземельные элементы, как тулий или гольмий. Тулиевые волоконные

усилители продемонстрировали высокий коэффициент усиления и низкий уровень шум-фактора при работе в спектральном диапазоне от 1720 до 2050 нм [2-4]. Однако, для расширения рабочего диапазона, а именно, для получения генерации на длинах волн больше 2050 нм, интерес представляют волокна, легированные ионами гольмия. Область люминесценции ионов гольмия лежит в диапазоне 1900–2200 нм [5]. Первый гольмиевый волоконный усилитель на длине волны 2100 нм был представлен в работе [6]. Усилитель накачивался от Yb волоконного лазера, была достигнута выходная мощность 1,65 Вт при входной мощности, равной 35 мВт.

Экспериментальная установка и результаты

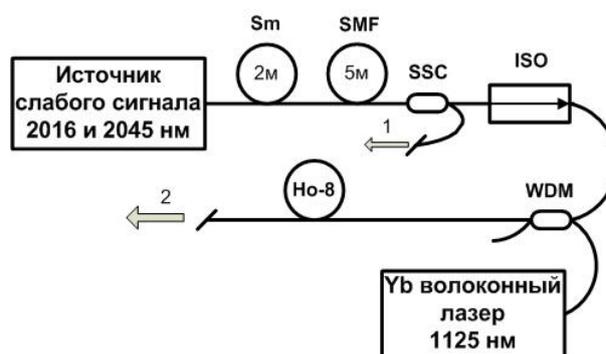


Рис. 1. Схема усилителя с лазерной накачкой

Для исследования характеристик гольмиевого усилителя, была собрана экспериментальная установка, представленная на рис. 1. В качестве задающего источника слабого сигнала был использован гольмиевый лазер, работающий в непрерывном режиме. В эксперименте задающий источник излучал на длинах волн 2016 и 2045 нм.

В данном исследовании для ослабления задающего сигнала было использовано SMF волокно длиной 5 м, скрученное в кольца диаметром 5 см. Так же в схему был добавлен разветвитель (SSC), с одного из выходов (1) которого, производился постоянный контроль мощности и выходного спектра. Для предотвращения паразитной генерации в усилителе был использован изолятор с индексом изоляции 30 дБ и вносимыми потерями 0,9 дБ, помещенный перед мультиплексором (WDM) 1125/2100

нм, который объединял импульсный сигнал от источника слабого сигнала и излучение накачки усиливающего лазера на длине волны 1125 нм. Для отсека остаточного излучения накачки задающего лазера, использовалось Sm^{3+} волокно, длиной 2 м. В качестве активной среды усилителя в работе использовалось гольмиевое волокно, разработанное в Пермской Научно-Производственной Приборостроительной Компании (ПНППК). На рис. 2 представлен выходной спектр для длин волн 2016 и 2043 нм.

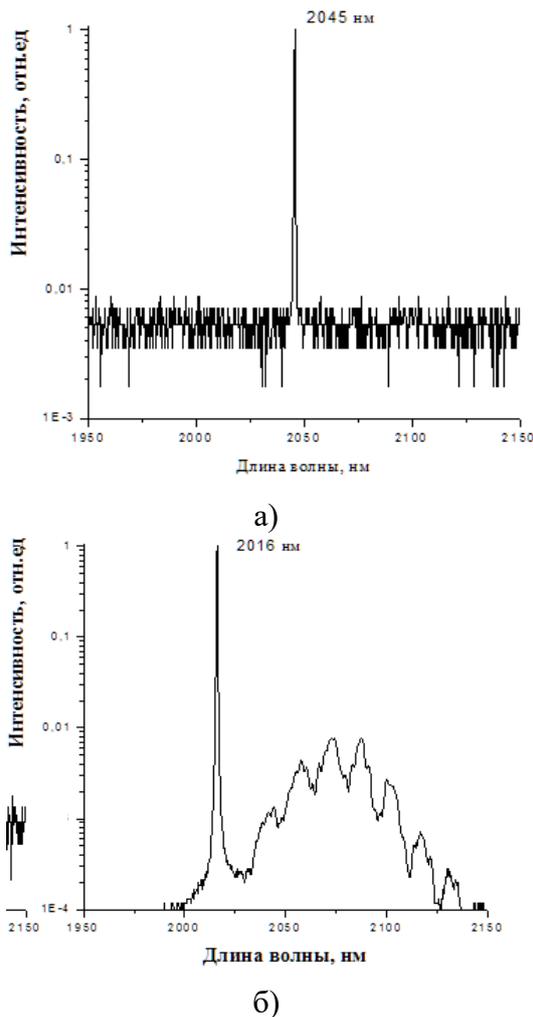


Рис. 2. Спектры усиления, а) спектр усиления на длине волны 2045 нм, б) спектр усиления на длине волны 2016 нм

Проводилась оптимизация длины активного волокна гольмиевого усилителя для получения коэффициентов усиления для длин волн 2016 и 2043 нм. Максимальный, на данный момент, коэффициент усиления составил 36 дБ (длина активного волокна равна 2 м) на длине волны 2016 нм, и на длине волны 2045 нм коэффициент усиления составил 22 дБ (длина активного волокна 6 м). На рис.2 представлены спектры усиления. Как видно при усилении на 2016 нм, есть усиленное спонтанное излучение, с подавлением более 20 дБ.

Заключение

Мы изучили усилители со слабым сигналом, легированные Ho, с длиной волны 2016 и 2045 нм при накачке Yb-легированным волоконным лазером. Максимальный коэффициент усиления 34,5 дБ был достигнут на длине волны 2016 нм.

Список литературы

1. R. Paschotta, "Fiber amplifiers – a technology for many applications". Part 1: introduction, Part 2: various technical issues, Part 3: examples for fiber amplifier designs;
2. A.M. Heidt, et al., High power diode-seeded fiber amplifiers at 2 μm – from architectures to applications," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* 20, 3100612 (2014).;
3. S.D. Jackson, "Midinfrared holmium fiber lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*,42, 187-191 (2006)
4. И.В. Жлуктова, С.А. Филатова, В.А. Камынин, В.Б. Цветков "Разработка гольмиевого волоконно-оптического усилителя": сб.трудов МНТК ИВТ-2016.-Москва,2016.-С.109-111.
5. S.A. Filatova, V.A. Kamynin, V.B. Tsvetkov, O.I. Medvedkov, A.S. Kurkov "Gain spectrum of the Ho-doped fiber amplifier" Article in *Laser Physics Letters* 12(9):095105 · September 2015.
6. S.O. Antipov, A.S. Kurkov. (2013) *Laser Physics Letters* 10 125106

УДК: 681.7.068

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИК
 ИСПЫТАНИЙ ВОЛОКОННО-
 ОПТИЧЕСКОГО
 ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО
 КОМПЛЕКСА. КАЛИБРОВКА
 ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ
 ВЕЛИЧИН В СОСТАВЕ
 ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО
 ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО
 КОМПЛЕКСА**

Кузнецов А.А.¹, инженер-
 конструктор, магистрант 2 года обуче-
 ния;

Симонов М.А.¹, к.т.н., начальник
 ОРСС;

Заренбин А.В.², генеральный дирек-
 тор

¹Московский технологический университет,
 Физико-технологический институт

²ООО ИП «НЦВО-Фотоника»

@Автор для переписки: Кузнецов А.А.;
 e-mail: toni4112@mail.ru

*Работа посвящена исследованию характеристик воло-
 конно-оптических телеметрических комплексов (ВоТК),
 а так же разработка методики испытаний для под-
 тверждения исследуемых характеристик с целью ут-
 верждения ВоТК как средство измерений.*

*Ключевые слова: волоконно-оптический телеметриче-
 ский комплекс, волоконная брэгговская решетка, воло-
 конно-оптический датчик.*

**DEVELOPMENT OF
 TECHNIQUES OF TESTS OF THE
 FIBER AND OPTICAL
 TELEMETRIC COMPLEX.
 CALIBRATION OF SENSORS OF
 PHYSICAL QUANTITIES AS A
 PART OF FIBER AND OPTICAL
 TELEMETRICHESOKGO OF THE
 COMPLEX**

Kuznetsov A.A.¹

**Simonov M.A.¹ ;
 Zarenbin A.V.²**

¹Moscow technological university. Physico-
 technological institute

²FORC – Photonics

@Corresponding author: Kuznetsov A.A ;
 e-mail: toni4112@mail.ru

*Work is devoted to research of characteristics of fiber-optical
 telemetric complexes, and also development of a technique of
 tests for confirmation of the studied characteristics for the
 purpose of the statement of a fiber-optical telemetric complex
 as a measuring instrument.*

*Keywords: fiber-optic telemetry complex optical fiber sensor,
 fiber Bragg grating, fiber-optical sensor.*

В настоящее время в мире сильно возросло количество предприятий, которые эксплуатируют опасные производственные объекты или компоненты, необходимые для работы различного производственного оборудования. К таким объектам относятся предприятия, которые работают в следующих областях:

- энергетика, в том числе – атомная и термоядерная;
- металлургия и химическая промышленность;
- нефтедобыча и газодобыча;
- трубопроводный транспорт;
- строительство;
- медицина;
- системы безопасности;
- научные исследования.

Для снижения степени опасности при работе на таких предприятиях, а так же контроля работы опасных производственных объектов, необходимы системы, которые могли бы собирать, регистрировать и обрабатывать информацию, контролируя состояние опасности на объекте.

На данный момент существует большое количество электрических систем контроля, которые не могут быть использованы в перечисленных областях, так как могут способствовать возникновению неполадок на опасных производственных объектах.

В настоящее время ВБР рассматриваются как один из наиболее перспективных

чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков физических величин.

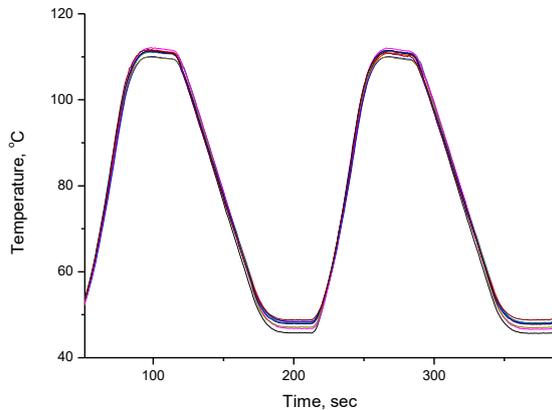


Рис. 1. Результаты испытаний

Для корректной работы волоконно-оптических датчиков физических величин производится калибровка посредством поверенного метрологического оборудования, соответствующего заданным требованиям к волоконно-оптическим датчикам. Принцип калибровки волоконно-оптических датчиков заключается в приравнивании относительного изменения центральной длины волны ВБР к самому изменению физической величины.

В рамках магистерской диссертации была разработана методика калибровки поверхностных волоконно-оптических датчиков температуры, а также прототипы поверхностных волоконно-оптических датчиков температуры в количестве 84 шт. Каждый из образцов прошел калибровку по разработанной методике и был испытан в климатической камере ТМН 31. Процесс проведения испытаний в климатической камере заключался в циклическом изменении температуры (+50...+120°C) в пределах рабочего диапазона поверхностного волоконно-оптического датчика (0...+150°C).

В процессе проведения климатических испытаний были получены показания со

всех прототипов поверхностных волоконно-оптических датчиков температуры. На рис. 1 и 2 представлены показания нескольких датчиков из партии. Исходя из полученных данных, разброс по показаниям поверхностных волоконно-оптических датчиков и эталонных термометров сопротивления находился в диапазоне температурного градиента внутри климатической камеры ($\pm 2^\circ\text{C}$), что подтверждает качество калибровки поверхностных волоконно-оптических датчиков температуры.

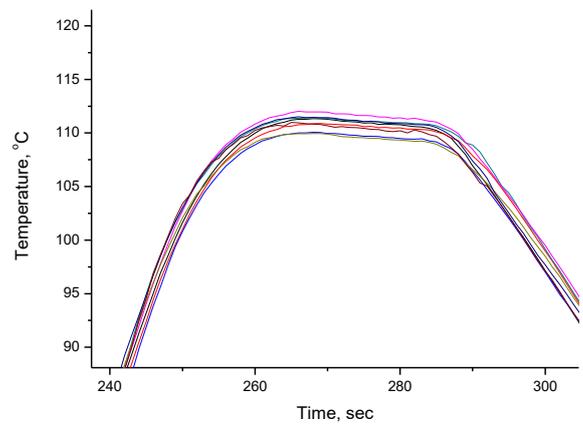


Рис. 2. Результаты испытаний в пределах одного цикла

Список литературы

1. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоци, К. Онамото, М. Оцу, Х. Нусихара др. Под ред. Т. Окоци: пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 256с.
2. A.D.Kersey, M.A.Davis, H.J.Patrick, M.LeBlanc, K.P.Koo, C.G.Askins, M.A.Putnam, E.J.Friebele "Fiber Grating Sensors", IEEE J. Lightwave Tech., vol. LT-15, no.8, 1442-1463, 1997.
3. N.Tanaka, Y.Okabe1, N.Takeda «Temperature-compensated strain measurement using fiber Bragg grating sensors embedded in composite laminates», Smart Mater. Struct. 12, 940–946, 2003

УДК:621.315

**ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА
СВОЙСТВА ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА
AlInGaN****Лакшин В.С., магистрант;
Вигдорович Е.Н., д.т.н., профессор***Московский технологический университет,
Физико-технологический институт, Стро-
мынка 20, 107996, Москва*© Автор для переписки: Вигдорович Е.Н.
e-mail: evgvig@mail.ru*Гетероструктуры и светодиоды облучались нейтронами, электронами и гамма-квантами. Изучены вольт-амперные и люмен-амперные характеристики гетероструктур на основе AlInGaN и AlInGaP. Определены темпы деградации после облучения.**Ключевые слова: гетероструктуры, инжекция, квантовые ямы, облучение, деградация.***EFFECT OF IRRADIATION ON
THE PROPERTIES of AlInGaN
EMITTERS****Lakshin V. S.;**
Vigdorovich E. N.*Moscow technological University. Physico-
technological institute. Stromynka 20, 107996,
Moscow*© Corresponding autor: Vigdorovich E.N.
e-mail: evgvig@mail.ru*Heterostructures and LED, were irradiated by neutrons,
electrons and gamma quanta. Studied the current-voltage
and lumen-voltage characteristics of heterostructures based
on AlInGaN and AlInGaP. Defined constant damage after
exposure.**Key words: heterostructures, injection, quantum well, irradiation, degradation.*

Гетероструктуры, излучающие в синезелёной области спектра, выращивали на подложках из лейкосапфира или карбида кремния. Активной областью гетероструктуры являлись квантовые ямы $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ с $X = 0,35-0,5$ для СД зелёного и $X = 0,1-$

$0,25$ – синего цвета свечения. Двойную инжекцию электронов и дырок в компенсированную область, содержащую одну квантовую яму, или инжекцию электронов (дырок) в переменнно-легированную в такт с изменением состава оптически активную $p(r)$ -область осуществляли гетеропереходы $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}/\text{GaN}$.

Гетероструктуры и СД облучали нейтронами, гамма квантами и электронами. Источником нейтронов с энергией 2,65 МэВ являлся горизонтальный канал реактора ИРТ-2000 Московского государственного физико-технического университета с устройством, позволяющим варьировать спектр нейтронов. Энергию измеряли активационным методом, а плотность потока – с помощью серных пороговых детекторов. Плотность потока составляла $5 \cdot 10^{10}$ н/см². Для пересчёта флуенса с энергией 2,65 МэВ в стандартный флуенс с энергией $\geq 0,1$ МэВ использовали соотношение $\Phi_{>0,1} = g_{0,1}\Phi_{2,65}$, где фактор $g_{0,1} = 4,7$. Источником гамма квантов с энергией 1,25 МэВ являлась кобальтовая пушка ГУ-2000. Облучение электронами проводили в Радиационно-ускорительном центре МГИФИ на ускорителе У-20. Энергия электронов равнялась 4 МэВ, плотность потока – $5 \cdot 10^{10}$ э/см². Поглощенная доза составляла

$$D = 1,6 \cdot 10^{-8} (dE/dx) \Phi$$

где $dE/dx = 1,7$; Φ – поток электронов.

Измерение профилей распределения примесей и ЛВАХ проводили в автоматическом режиме с использованием оригинальных методов и измерительных установок на базе персонального компьютера [1,2]. Профили распределения заряженных центров в гетероструктурах AlInGaN и для сравнения AlInGaP, излучающих в синей (В), зелёной (G1 и G2) и красной (R) областях спектра, до и после облучения нейтронами с энергией 2,65 МэВ и флуенсом 10^{15} н/см² представлены на графиках рис.1 [3]. Состав полупроводника и содержание заряженных центров в структурах G2 изменялись синхронно. Минимальная концентрация примесей наблюдалась в квантовых ямах, а максимальная – в барьерах.

Ширина квантовых ям и барьеров составляла 2–3 нм, а компенсированного

слоя AlInGaP гетероструктур 16 нм (R), возрастая на 25–30% после облучения нейтронами с флуенсом 10^{15} н/см².

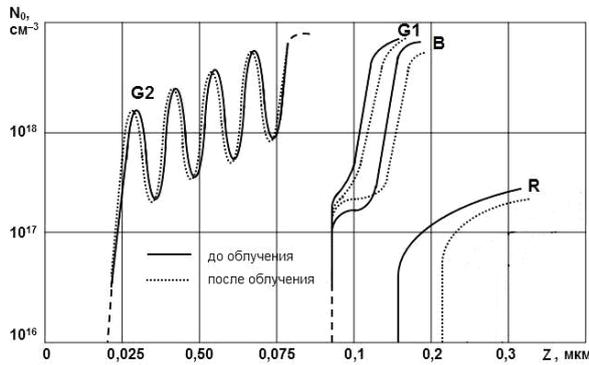


Рис. 1. Распределение концентрации заряженных центров в R, G1, G2, B1 and B2 of the p-n*-n- гетероструктур до и после облучения нейтронами ($f = 10^{15}$ н/см²)

У AlInGaN гетероструктур ширина компенсированного слоя составляла 70–80 нм (G1 и B1) и 20 нм (G2 и B2) и не менялась при облучении. Проводимость легированных слоев в AlInGaN гетероструктурах мало менялась при облучении, а в AlInGaP – снижалась.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) R, G и B гетероструктур, представленные на рис. 2, состояли из двух участков:

$$I = I_s \exp\left(\frac{eU}{\beta kT}\right) \text{ и } I = B(U - U_k)^n$$

Фактор «неидеальности» гетероструктур с зеленым цветом свечения лежал в пределах 2,2–4,7 у гетероструктур на подложках из сапфира и карбида кремния. У InGaN//GaN гетероструктур с синим цветом свечения фактор «неидеальности» $\beta \approx 2,0$ как до, так и после облучения.

ВАХ AlInGaP гетероструктур заметно изменялись при облучении, в то время как у AlInGaN они изменялись в значительно меньшей степени. Экспериментальные ВАХ находят естественное объяснение в рамках диффузионных и дрейфовых теорий двойной инжекции Холла, Клайнмена, Рашба-Толпыго, Параментера-Руппеля и др., что позволило использовать аналитические зависимости тока от электрофизических параметров материала активной области, проанализировать изменения этих

параметров при облучении.

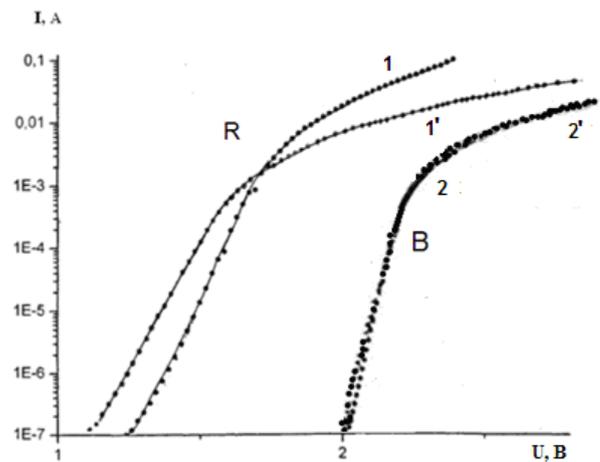


Рис. 2. ВАХ R и гетероструктур (1, 2) после (1', 2') нейтронного облучения ($f = 10^{15}$ н/см²)

Экспериментальные люмен-амперные характеристики являлись степенной функцией тока: $I_v = bI^m$, причем показатель степени m при токах, соответствующих экспоненциальному участку ВАХ, равнялся единице у AlInGaP гетероструктур с красным цветом свечения и AlInGaN гетероструктур с зеленым (G1) и синим цветом свечения. У AlInGaN с зеленым цветом свечения (G2) $m = 1,5-2,0$. На степенных участках ВАХ $m \rightarrow 0,5$. Считая, что основной причиной изменения параметров ВАХ является деградация времени жизни, и используя аналитические зависимости основных участков ВАХ от τ_p , были получены следующие значения ($\tau_0 K_T$): $(4,2 \pm 1,3) \cdot 10^{-14}$ см²/н для красных (R), $(2,3 \pm 1,3) \cdot 10^{-15}$ см²/н для зеленых (G1); $(0,5 \pm 0,17) \cdot 10^{-16}$ см²/н для синих (B). Для оценки степени воздействия нейтронного и электронного облучения на гетероструктуру с синим излучением и фотолуминофор одновременно с «белыми» облучались синие СД, имеющие аналогичную конструкцию. Экспериментально определенные константы повреждаемости ($\tau_0 K_T$) = $(4,3 \pm 1,2) \cdot 10^{-15}$ см²/н для «белых» и $(5,0 \pm 1,7) \cdot 10^{-15}$ см²/н для синих, т.е. в пределах погрешности эксперимента эти константы совпадают и деградация «белых» СД в основном имеет место вследствие снижения времени жизни в компенсированной области гетероструктур. По радиа-

ционной стойкости СД, изготовленные по RGB-технологии, уступают СД с гетероструктурой синего цвета с люминофором вследствие относительно низкой радиационной стойкости AlInGaP гетероструктур.

Список литературы

1. Электрические свойства и спектры люминесценции светодиодов на основе гетеропереходов InGaN/GaN с модулированно-

легированными квантовыми ямами / С.С. Мамкин, А.Э. Юнович, А. Б. Ватмана, Ф.И. Маняхин // ФТП. 2003. Т. 37. Вып. 9. С. 1131-1137.
 2. Кондратенко В.С., Абдуллаев О.Р., Рыжиков И.В., Виноградов В.С., Фирсов А.С. Сравнительное исследование воздействия проникающей радиации на светодиоды нового поколения на основе AlGaInP и AlGaInN гетероструктур//Приборы. 2009, № 3, с.24-36.

УДК: 535.371

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ФОТОАНАЛИЗАТОРА

Морозов Г.С.¹, магистрант;
 Сорокин А.В.²

¹ Московский технологический университет, Физико-технологический институт

²ОАО "Швабе-Фотосистемы"

В статье представлены результаты работы по рассмотрению принципа математической обработки данных, получаемых в процессе работы фотоанализатора.

Ключевые слова: фотоанализатор, изображение, математическая обработка, Московский технологический университет, Швабе-Фотосистемы.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF OPTICAL CIRCUITS OF PHOTOANALYZER

Morozov G.S.¹
 Sorokin A.V.²

¹ Moscow technological university, Physico-technological institute

²ОАО "Shvabe-Fotosistems"

The article presents the results of the work on the principle of mathematical processing of data obtained during the operation of the photoanalyzer.

Key words: photoanalyzer, picture, mathematical processing, Moscow Technological University, Shvabe-Fotosistems.

Сигнал получается в цифровом виде в формате RAW, содержащим необработанные данные, полученные с фотоматрицы. В таких файлах содержится полная информация о хранимом сигнале, не имеющая чёткой спецификации. Сигнал кодируется как цветовая модель YUV, в которой цвет представляется как 3 компоненты — яркость (Y) и две цветоразностных (U и V). Для этого пишется определённый массив (рис.1).

Закодировав сигнал в цветовую модель YUV производится захват данных изображения, загрузка данных в набор массивов, а также преобразование данных в формат RGB эффективным образом.

```
import time
import picamera

with picamera.PiCamera() as camera:
    camera.resolution = (100, 100)
    camera.start_preview()
    time.sleep(2)
    camera.capture('image.data', 'yuv')
```

Рис. 1. Массив кодировки цветовой модели

Получив обработанный сигнал формата RAW, следует уменьшить в нем уровень шума. Есть несколько методик – первая и самая простая – это выбрасывание и замена 60% пикселей на серые значения в диапазоне от чёрного до белого (рис. 2).

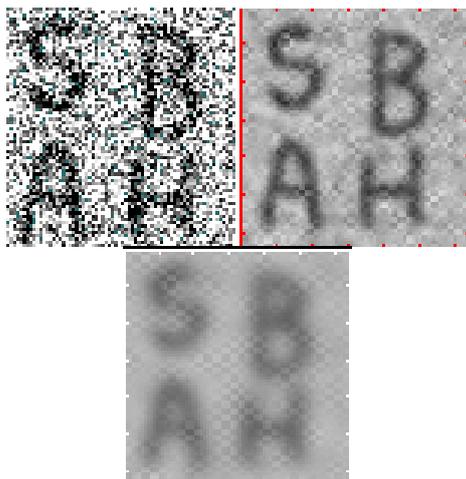


Рис. 2. Сглаживание изображения

Следующим действием является разбивка изображения на ячейки для обработки определённых областей. Сделать это можно путём нахождения границ ячеек.

Все методы основываются на одном из базовых свойств сигнала яркости – разрывности. Наиболее общим способом поиска разрывов является обработка изображения с помощью скользящей маски, называемой также фильтром, ядром, окном или шаблоном, которая представляет собой некую квадратную матрицу, соответствующую указанной группе пикселей исходного изображения. Элементы матрицы принято называть коэффициентами. Оперирование такой матрицей в каких-либо локальных преобразованиях называется фильтрацией или пространственной фильтрацией. Самыми распространёнными методами выполнения этой операции являются операторы Робертса, Собеля и Превитта.

Эти методы, применённые при обработке изображения, нужны для оптимального распознавания светового пятна от биопроб. После распознавания светового пятна необходимо вычислить его координаты путем нахождения центра масс. Для этого

складываем координаты всех ненулевых пикселей и считаем их количество. Получаем пятно с чёрной точкой посередине, которая является центром масс данного пятна.

После нахождения центров масс точек суммируются значения яркости каждой точки внутри границы и сопоставляются с точкой из таблицы, в которой отражены такие данные, как номер флуоресцентной метки по вертикали и горизонтали и координата точки относительно верхнего левого края кадра.

Выравниваться значения могут не только относительно края, но также и центра. Сопоставив значение точки с шаблоном, можно увидеть чему они соответствуют. Это определяется по ещё одной таблице, в ней отображаются данные – наименование определяемой бактерии.

Сопоставление производится путём сравнения заданного положения флуоресцентной метки в кадре и наблюдаемого положения.

Список литературы

1. Довгалец С. М., Мудрик Г. В. Распознавание световых пятен лазера на изображении // Молодой ученый. — 2014. — №18. — С. 50-53.
2. Ellmark P., Belov L., Huang P., C Soon Lee, Solomon M. J., Morgan D. K., Christopherson R. I. Multiplex detection of surface molecules on colorectal cancers// *Proteomics*.- 2006.-Vol.6.- P.1791-1802.
3. Malladi, R., and Sethian, J.A., *Image Processing via Level Set Curvature Flow*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 92(15), pp. 7046--7050, July 1995.
4. S. Lal, A. Brown, L. Nguyen, F. Braet, W. Dyer, C. dos Remedios *Using antibody arrays to detect microparticles from acute coronary syndrome patients Based on CD Antigen Expression// ASBMB, Molecular and Cellular Proteomics* 8.4.

УДК 681.7.068

ПАРАМЕТРА ОПТИЧЕСКИХ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ (СПЛИТТЕРОВ)

Ковалёва Е.А. магистрант

ООО «Неофотоникс Корпорейшн»

© Автор для переписки: Ковалёва Е.А. -
liza95595@list.ru

В данной работе рассмотрены параметры оптических разветвителей (сплиттеров) по которым оценивается качество и характеристики прибора по окончании его изготовления.

Ключевые слова: оптический разветвитель, потери при поляризации, спецификации, волокно

PARAMETERS OF OPTICAL SPLITTER

Kovaleva E.A.

LLC «Neophotonics Corporation»

© Corresponding author e-mail: liza95595@list.ru

In this paper, we consider the parameters of optical splitters for which the quality and characteristics of the instrument are evaluated at the end of its manufacture.

Keywords: optical splitter, polarization losses, specifications, fiber

В волоконной технике для перераспределения мощности оптического потока, то есть его деления на несколько оптических сигналов равной или разной мощности, используют оптические разветвители.

Оптический разветвитель это устройство, имеющее один или несколько входных полюсов (оптических полюсов), так и несколько выходов (выходных оптических полюсов), между которыми происходит перераспределение оптического сигнала.

Поляризационная зависимость свойств передачи оптических компонентов имеет много источников. Некоторыми наиболее распространенными эффектами являются:

- дихроизм;
- волоконно-изгиб;
- наклонные оптические интерфейсы; наклонное отражение.

Таблица 1
Спецификация сплиттера 1×16

Specification (Спецификация)	Definition (определение)	Units (единица измерения)	Specification Limit (Допустимый предел)
Max. Insertion Loss (Максимальные потери при вводе)	Уменьшение оптической мощности между входным и выходным портами разветвителя	dB	≤ 13
Loss Uniformity (потери на однородность)	Мера того, насколько выходная мощность равномерно распределена между выходными портами разветвителя	dB	≤ 0.9
PDL (Потери при поляризации)	Потери, которые соответствуют максимальной вариации вносимых потерь, вызванной вариацией состояния поляризации излучения при рассмотрении на множестве всех возможных состояний поляризации	dB	≤ 0.15
Return Loss (Обратные потери)	Часть входной мощности, которая возвращается из входного порта пассивного разветвителя	dB	≥ 55
Operating Wavelength (Рабочая длина волны)	Диапазон значений длины волны, в котором разветвитель должен работать с определенными значениями потерь	nm	1260 – 1360; 1450 – 1625

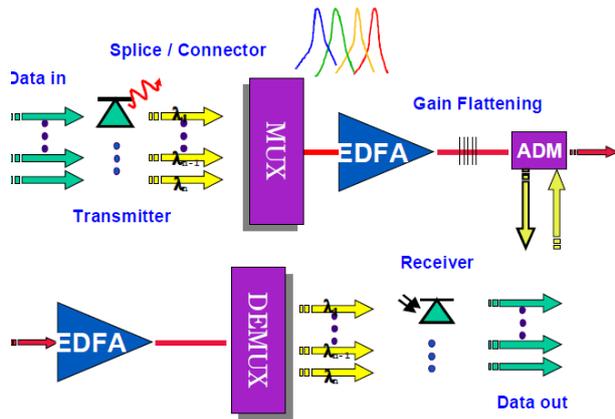


Рис. 1. Типичная структура WDM в волоконно-оптических сетях

Все вышеперечисленные эффекты проявляются в стандартных оптических компонентах, которые используются в волоконно-оптических сетях. Типичная структура сети волоконно-оптической передачи показана на (рис. 1). Линия передачи

включает в себя число различных пассивных и активных компонентов.

Наиболее распространенные пассивные устройства, которые обладают PDL – это оптические соединители, изоляторы, по длинам волн мультиплексоры (WDM) и фотодетекторы.

Главные параметры оптического сплитера (разветвителя) приведены в Таблице 1, рассматриваемый тип 1×16.

Список литературы:

1. Технологическая инструкция ООО «Неофотоникс Корпарейшн»
2. PDL Measurements using the HP8169A polarization controller., PN 5964-9937E, Agilent Technologies
3. State-of-the-Art characterization of optical components for DWDM applications., PN 5980-1454E, Agilent Technologies

УДК 621.37

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ И АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Щербаков М.О.^{1,2}, техник 2-ой категории;
Сорокин А.В.¹, к.т.н., доц.

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва, 107996, Россия

²ПАО "НПО "Алмаз", Москва, 125190, Россия

© Автор для переписки: Щербаков М.О. e-mail: hn333@yandex.ru

В работе описывается и исследуется комплекс волоконно-оптической линии связи для перспективных радиолокационных станций с применением решений на базе радиофотоники.

Ключевые слова: радиофотоника, АФАР, СВЧ, волоконно-оптическая линия связи

INVESTIGATION OF HARDWARE COMPLEX OF OPTICAL TRANSMISSION LINE FOR DIGITAL AND ANALOG SIGNALS IN RADAR APPLICATIONS

Shcherbakov M.O.^{1,2};
Sorokin A.V.¹

¹Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow, 107996, Russia

²PAO "NPO "Almaz", Moscow, 125190, Russia

© Corresponding author: Shcherbakov M.O. e-mail: hn333@yandex.ru

This work describes and explores complex of fiber-optic communication line for advanced radars systems using radiophotonics-based solutions.

Key words: Radiophotonics, AESA, Microwave, Fiber-optic communication

В решении задачи улучшения тактико-технических характеристик радиолокационных станций (РЛС) с активной фазированной антенной решёткой (АФАР) ведущую роль играет применение современных технологий, включая развивающееся направление радиофотоники.

Применение в антенных устройствах с АФАР технологий радиофотоники позволит повысить стабильность их основных параметров, помехозащищённость и улучшить массогабаритные характеристики антенных устройств.

Для демонстрации возможности применения решений на базе радиофотоники при разработке перспективных радиолокационных комплексов предприятие АО "Центр ВОСПИ" разработало макет волоконно-оптической линии связи для аналоговых и цифровых трактов АФАР (далее Макет), показанный на рисунке 1.

Была поставлена задача проверки данного макета на соответствие параметрам, заданных в техническом задании.

Основные блоки в составе Макета: модули передачи аналогового сигнала, оптические

усилители, оптические разветвители, модули приёмников, модули цифровой связи.

Основные характеристики блоков Макета:
 1) Модули передачи аналогового сигнала. Предназначены для преобразования аналоговых сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов зондирующего импульса ($F_{зи}$), первого гетеродина ($F_{Г1}$) и второго гетеродина ($F_{Г2}$) в оптические сигналы.

- входная мощность СВЧ сигнала не менее 7 дБм;

- выходная оптическая мощность сигналов $F_{зи}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$ не менее 5 дБм;

- длина волны оптического сигнала 1550 нм.

2) Оптические усилители EAU-CATV-100/1-C2. Предназначены для предварительного усиления оптических сигналов $F_{зи}$, $F_{Г1}$ и $F_{Г2}$ перед разделением оптических сигналов по ячейкам АФАР.

- входная мощность оптического сигнала $F_{зи}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$ не более 10 дБм;

- выходная оптическая мощность оптических сигналов $F_{зи}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$ до 20 дБм;

- спектральный диапазон 1535-1564 нм.

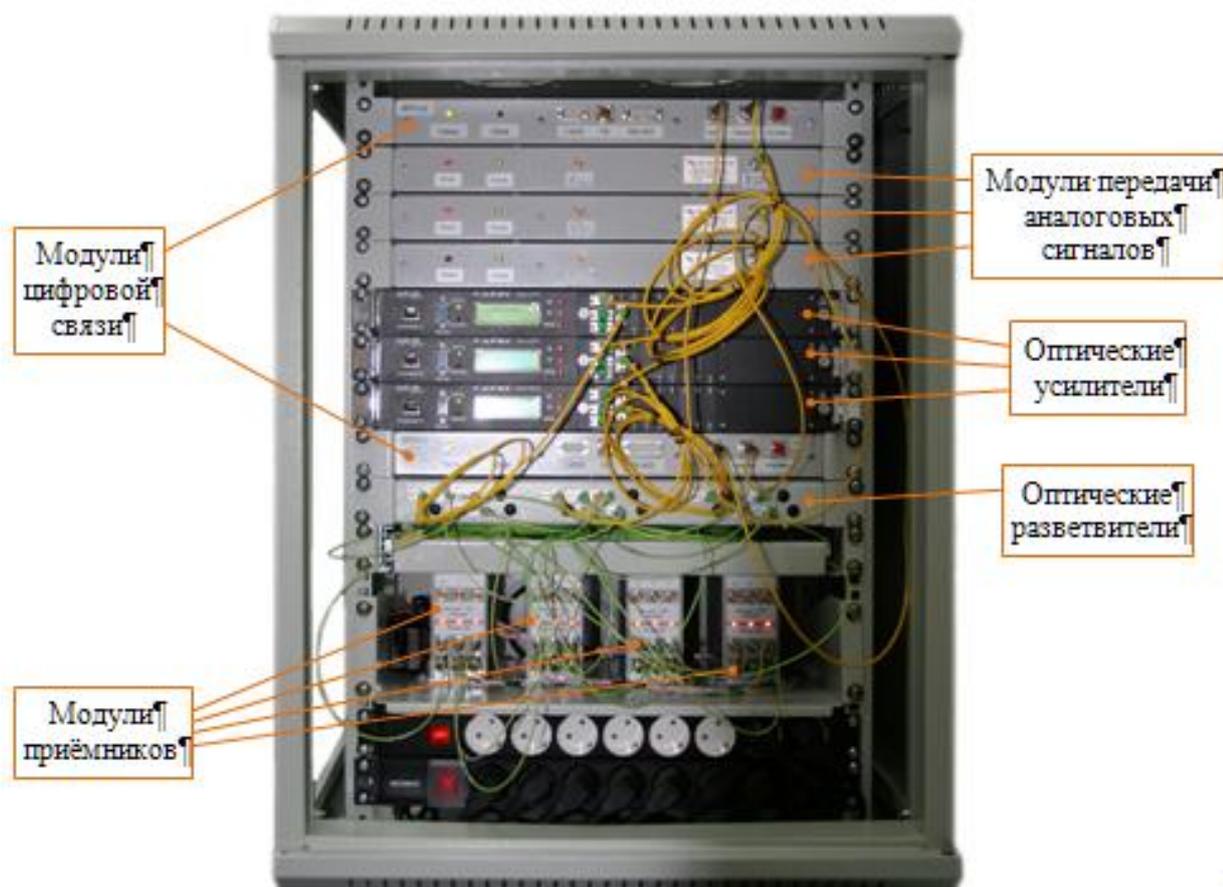


Рис.1. Внешний вид макета волоконно-оптической линии связи.

3) Разветвитель оптических сигналов. Предназначен для разделения оптических сигналов $F_{3и}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$ по ячейкам АФАР.

- входная мощность оптического сигнала $F_{3и}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$ до 27 дБм;

- дополнительное затухание выходной оптической мощности (помимо потерь на деление) оптических сигналов $F_{3и}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$ не более 3 дБм;

- различие уровней выходной мощности сигналов $F_{3и}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$ не более $\pm 0,3$ дБ.

4) Модули приёмников. Предназначены для приёма оптических сигналов $F_{3и}$, $F_{Г1}$, $F_{Г2}$, преобразования в СВЧ сигналы и предварительного усиления. Каждый Модуль приёмников содержит три блока оптических приёмников с усилителем, оптимизированных для работы с сигналами $F_{3и}$, $F_{Г1}$, и $F_{Г2}$.

- мощность входного оптического сигнала до 10 дБм;

- максимальная мощность выходного СВЧ сигнала не менее 10 дБм.

5) Модули цифровой связи. Предназначены для передачи между РЛС и АФАР в режиме многоканального временного уплотнения по трём оптическим линиям цифровых сигналов интерфейсов IEEE-802.3 100Base-T, 2-х LVDS и RS-422.

В данной работе были проведены измерения основных параметров Макета: коэффициент шума (КШ) и коэффициент стоячей волны (КСВ) для СВЧ блоков и джиттер сигналов в модулях цифровой связи.

При этом, в соответствие с ТЗ, предъявляются следующие требования:

- разброс КШ по всему измеряемому диапазону в пределах одного канала не более 3 дБ;

- КСВ по входу не более 2,5;

- джиттер сигнала на линиях синхронизации по интерфейсу LVDS не более 0,3 нс;

- джиттер сигнала на линиях передачи данных по интерфейсу LVDS не более 25 нс;

- джиттер сигнала на линиях передачи данных по интерфейсу RS-422 не более 50 нс.

Измерения КШ производились на векторном анализаторе цепей PNA-X N5241A,

с использованием калибровочного набора ECal N4691-60004 и калиброванного источника шума Agilent 346В.

Для измерения джиттера сигналов на линиях модулей цифровой связи Макета использовался осциллограф Infiniium 9000 DSO9254A.

Результаты измерений КШ приведены в таблице 1, КСВ по входу в таблице 2.

Таблица 1
Результаты измерения коэффициент шума

Объект измерений	$F_{3и}$, дБ			$F_{Г1}$, дБ			$F_{Г2}$, дБ		
	мин.	центр	макс.	мин.	центр	макс.	мин.	центр	макс.
Блок 1	43.70	44.10	44.90	44.30	45.05	45.90	39.00	39.70	40.45
Блок 2	44.30	44.80	45.65	44.30	45.00	45.85	39.30	40.00	40.70
Блок 3	43.60	43.95	44.90	44.40	45.10	45.95	39.10	39.95	40.60
Блок 4	43.70	44.15	45.00	44.35	44.90	45.85	39.10	39.90	40.45

Максимальный разброс КШ в пределах диапазона измерения одного канала составляет 1,6 дБ.

Таблица 2
Результаты измерения КСВ по входу

$F_{3и}$			$F_{Г1}$			$F_{Г2}$		
мин.	центр	макс.	мин.	центр	макс.	мин.	центр	макс.
1.30	1.45	2.12	1.05	1.08	1.70	1.15	1.25	1.30

Как видно из таблицы, максимальный КСВ по входу равен 2,12.

По результатам измерений сигналов на линиях модулей цифровой связи установлено, что:

- джиттер сигнала на линиях синхронизации по интерфейсу LVDS не превышает 0,28 нс;

- джиттер сигнала на линиях передачи данных по интерфейсу LVDS не превышает 5 нс;

- джиттер сигнала на линиях передачи данных по интерфейсу RS-422 не превышает 40 нс.

Как показали испытания, Макет соответствует требованиям технического задания, и пригоден для проведения дальнейших опытно-конструкторских работ (ОКР) по перспективному РЛС с АФАР на базе радиофотоники.

СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНО- СТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ»

Руководитель секции: Албагачиев А.Ю., д.т.н., профессор кафедры информационных технологий в машино- и приборостроении Физико-технологического института МИРЭА

УДК 621.777

СОРТАМЕНТ МЕДНЫХ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРО- ТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Белов В.Г., к.т.н., доц.

*Физико-технологический институт Мос-
ковского технологического университета*

*Проведен анализ сортамента и технологий производст-
ва медных полых профилей, используемых в электротех-
нических установках.*

*Ключевые слова: сортамент, профили полые, электро-
установки, медные сплавы, прессование, технология*

FEATURES ASSORTMENT OF COPPER HOLLOW PROFILES FOR ELECTRICAL INSTALLA- TIONS AND TECHNOLOGIES OF THEIR PRODUCTION

Belov V.G.

*Moscow technological university. Physico-
technological institute*

*The analysis of possible copper hollow profiles used in elec-
trical installations, and the technology to produce specialized
hollow profiles for the electrical industry.*

*Key words: size, hollow profiles, electrical installations,
copper alloys, extrusion technology.*

Анализ прокатной продукции из меди показал, что изделия из меди обладают целым рядом достоинств [1]:

- высокие электропроводимость и теп-

лопроводность;

- коррозионная устойчивость;
- способность выдерживать значительные перепады температур без разрушения;
- долговечность и эксплуатационная стойкость;

- хорошая обрабатываемость в горячем и холодном состоянии и др.

Благодаря этим достоинствам медный прокат широко применяется в различных отраслях производства: особенно в энергетике и электротехнике.

Наиболее распространенными видами проката из меди являются [1]:

- плоский прокат (лист, лента, фольга),
- профильный прокат сплошного сечения (прутки, профили, шины),
- полый прокат (трубы, полые профили, шины с отверстиями).

Медные полые профили используются в электротехнической промышленности и энергетике в основном в качестве охлаждаемых проводников тока.

Как охлаждаемые проводники тока медные полые профили широко применяются для обмоток роторов и статоров турбо- и гидрогенераторов повышенной мощности, водоохлаждаемых обмоток индукционных нагревательных и плавильных печей и электромагнитных перемешивателей; подводящих и отводящих шин высокоамперных выключателей, выпрямителей, силовых трансформаторов и др.

Наибольшее распространение полые профили из меди и ее сплавов нашли в электромашиностроении при проектировании и эксплуатации энергетического и электротехнического оборудования повышенной мощности.

Мощность электрических машин, агрегатов и установок ограничивается плотно-

стью рабочего тока, проходящего по их обмоткам. При использовании в качестве токопроводящих шин сплошных профилей увеличение мощности электроустановок за счет увеличения плотности тока приводит к сильному разогреву проводника. Вследствие этого, происходит уменьшение КПД установки за счет снижения электропроводности медного проводника, и резко ухудшаются условия работы изоляции при повышенных температурах.

Для электрических машин большой единичной мощности успешно применяют в качестве проводников тока в их обмотках полые медные профили, обеспечивающие эффективное непосредственное охлаждение проводника при большой плотности тока.

Немаловажным преимуществом генераторов с водяным охлаждением является значительное понижение пожароопасности и исключение взрывоопасности.

Использование полых разностенных медных профилей (вместо равностенной трубки) для водоохлаждаемых обмоток индукционных нагревательных и плавильных печей позволило повысить электриче-

ский КПД установок до 2 раз при снижении потребляемой мощности от 1,1 до 1,4 раза и сокращении расхода меди в 1,5 – 2 раза.

Аналогичные положительные результаты получены и при применении медных полых профилей для водоохлаждаемых проводников тока в других установках.

Для водоохлаждаемых проводников тока используют полые медные профили квадратного, прямоугольного и арочного сечения (таблицы 1, 2, 3) производимые промышленностью как по ГОСТу, так по Техническим условиям.

На рисунке 1 приведен сортамент полых медных профилей используемых в электротехнических установках и освоенных в производстве на заводах ОЦМ.

Анализ сортамента полых профилей из меди и ее сплавов показал, что наиболее экономичным и прогрессивным способом получения таких профилей является прессование [4]. Однако возможности прессования ограничены стойкостью инструмента (игл), качеством поверхности, допусками и механическими свойствами изделий.

Таблица 1

Трубы прямоугольного и квадратного сечения по ТУ48-21-295-82

Сторона А		Сторона В		Толщина стенки S	
Номинальное значение	Предельное отклонение	Номинальное значение	Предельное отклонение	Номинальное значение	Предельное отклонение
от 6 до 9 вкл.	±0, 10	от 6 до 9 вкл.	±0, 10	0, 80-1, 50	±10%.
св.9 до10 вкл.	±0, 15	Св.9до10вкл.	±0, 15	1, 00-2, 50	±10%.
Св.10до12вкл.	±0, 20	Св.7 до12вкл.	±0, 20	1, 00-2, 50	±10%.
Св.12до14вкл.	±0, 30	Св.8до14вкл.	±0, 30	1, 00-3, 00	±10%.
Св.14до30 вкл.	±0, 40	Св.9до30вкл.	±0, 40	1, 00-4, 00	±10%.
Св.30до45вкл.	±0, 50	Св.12до40вкл.	±0, 50	2, 00-4, 00	±10%.
Св.45до75вкл.	±0, 60	Св.12до40вкл.	±0, 60	2, 00-5, 00	±10%.
Св.75до95вкл.	±1, 00	Св.20до40вкл.	±0, 60	2, 00-5, 00	±10%.
Св.95до115вкл.	±2, 00	Св. 30 до 60 вкл.	±1, 25	2, 00-10, 00	±10%.

Примечания:
 Трубы изготавливают из меди марок М1, М1р, М2, М2р, М3, М3р с химическим составом по ГОСТ 859.
 Предельно допустимое отклонение по толщине стенки ±10%.
 По длине трубы изготавливают: немерной длины от 1, 0 до 7, 0 м; мерной длины или кратной мерной в пределах немерной; длиной более 7, 0 м в бухтах. Трубы изготавливают в твердом или мягком состоянии.

Таблица 2
Стандартные медные профили арочного сечения

Ширина профиля А, мм	Высота профиля В, мм	Диаметр отверстия D, мм	Толщина толстой стенки Т, мм	Толщина тонкой стенки t, мм
18	22	8	9	5
18	24	10	10	4
20	26	12	10	4
22	28	14	10	4
24	30	16	10	4
26	32	18	10	4
28	34	20	10	4
30	36	22	10	4
32	38	24	10	4
34	40	26	10	4
36	42	28	10	4

Таблица 3
Стандартные медные прямоугольные профили с прямоугольным отверстием (смещенным и центральным) для водоохлаждаемых проводников тока

Ширина профиля А, мм	Высота профиля В, мм	Ширина отверстия а, мм	Высота отверстия в, мм	Толщина толстой стенки Т, мм	Толщина тонкой стенки t, мм
38	50	22	31	11	8
40	45	26	31	7	7
42	50	26	31	11	8
50	50	28	28	11	11
54	50	32	28	11	11
62	50	40	28	11	11
62	60	46	41	11	8
70	50	54	34	8	8

Поэтому в ряде случаев рациональной является технология, включающая два процесса: заготовительный (горячий передел) – прессование и окончательный (холодный передел) – прокатка или волочение. Прессованием получают заготовку с отверстием, размеры которого не вызывают особых трудностей для этого процесса. Окончательную обработку этой заготовки на готовый размер осуществляют на ста-

нах холодной прокатки труб (ХПТ, планетарном) или волочильных. Использование таких технологических схем позволяет увеличить стойкость рабочего инструмента, и в первую очередь игл, при прессовании, получать изделия с отверстием малого сечения, повысить требования по качеству поверхности, допускам и свойства готового изделия. Однако, использование двойного передела – горячего и холодного приводит к увеличению технологических операций как основных, так и вспомогательных (перед холодным переделом), что усложняет и удорожает техпроцесс, увеличивает время и трудоемкость обработки, уменьшает производительность. А в ряде случаев, для профилей сложной геометрии, двойной передел технологически невозможен.

Учитывая проведенный анализ, с технологической точки зрения все полые профили из меди и ее сплавов можно разделить на несколько однотипных групп (рисунок 1): I – симметричные с центральным отверстием, II – с профильным отверстием, III – со смещенным круглым отверстием, IV – с профильным смещенным отверстием, V – тонкостенные профили, VI – с несколькими отверстиями (59, 61), VI – витые трубы (60).

к группе II (15-25) можно отнести полые толстостенные профили, для которых необходимо согласовывать расположение отверстия относительно внешнего контура. Эти профили можно получать прессованием при фиксации профиля иглы относительно профиля матрицы;

к группе III (26-39) относим профили с одной плоскостью симметрии и со смещенным круглым отверстием. Профили целесообразно получать прессованием, предусмотрев мероприятия по регулированию течения металла при прессовании, чтобы игла и отверстие профиля не сместилась с требуемого положения;

к группе IV (40-51) относятся полые профили с профильной геометрией как внешнего, так и внутреннего контуров. Толстостенные профили можно получать прессованием, предусмотрев мероприятия

по фиксированию профиля иглы относительно профиля матрицы и по регулированию течения металла при прессовании с целью исключения смещения иглы;

к группе V (52-58) относятся тонкостенные равностенные профили, которые целесообразно получать волочением – профилированием круглой тонкостенной трубы;

группа VI (59, 61) – профильные шины с несколькими отверстиями. Получают прессованием или с последующей прокаткой. При прессовании используют либо две длинные иглы, но их может сводить или разводить при прессовании. Поэтому лучше получать эти профили прессовани-

ем на бутылочной игле с двумя носиками, но при этом предусмотреть соблюдение всех требований для формирования качественного сварного шва в металле профиля между отверстиями (вытяжку в камере сварки не менее 20, необходимое расстояние между основанием иглы и поверхностью матрицы, отсутствие смазки по игле и других загрязнений, температурно-скоростной режим и др.);

группа VII (60) – витые трубы для теплообменников получают из тонкостенных цилиндрических труб путем обкатки в роликовой винтообразной головке на волочильном стане или ротационном станке.

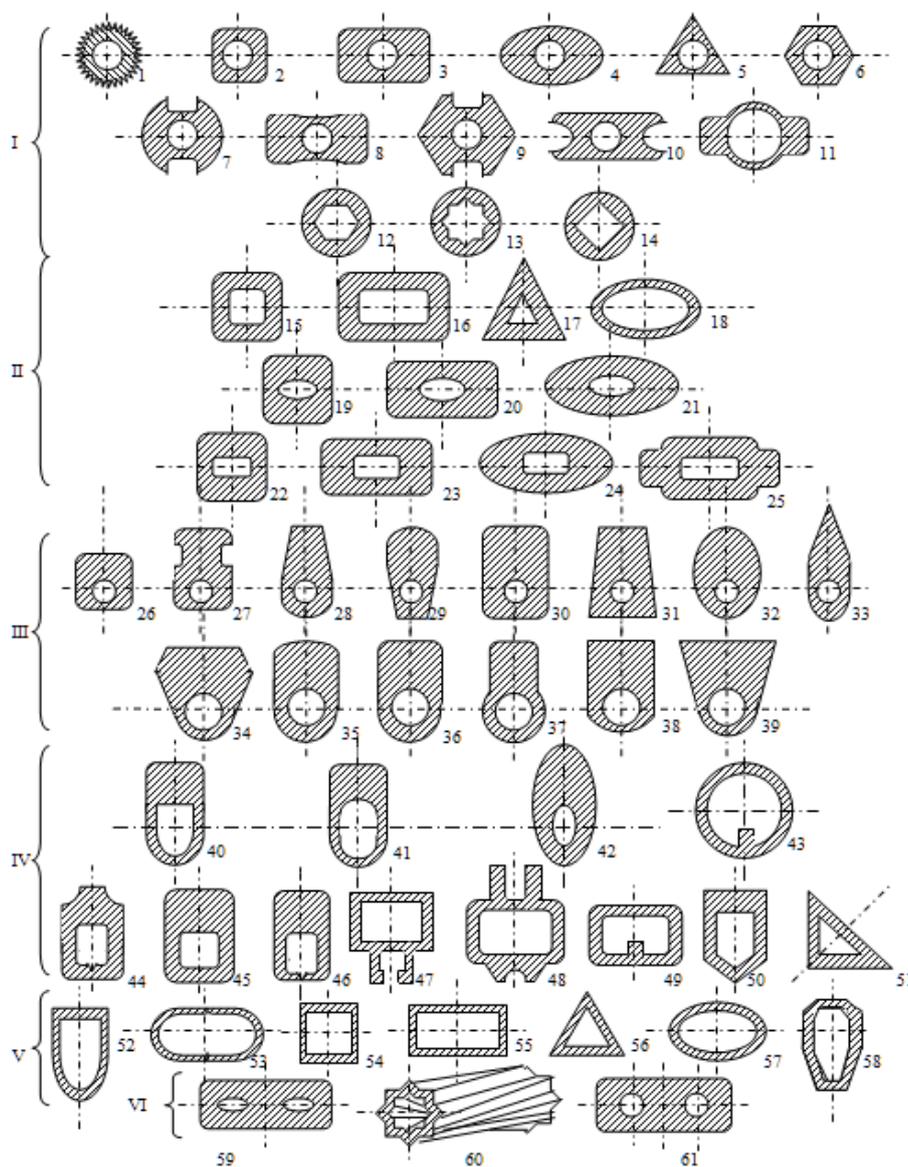


Рисунок 1. Сортамент полых медных профилей используемых в электротехнических установках и освоенных в производстве на заводах ОЦМ.

Конкретная технология и инструмент разрабатывается по каждый типоразмер полого профиля в соответствии с техзаданием.

Список литературы

1. «Прессование». Справочное руководство. Браузер М., Зауэр Г., Зигерт К. Перевод с немецкого под редакцией Бережного В. Л. Москва: «Алюсил МВuТ», 2009г., 918 стр.

УДК 621.3.049.75

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ПРИПОЯ ПРИ ПАЙКЕ ПОВЕРХНОСТНО-МОНТИРУЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ

Адамкович Д.А., магистрант;
Зерний Ю.В., к.т.н., доцент

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Зерний Ю.В.
e-mail: Zerni_uv@mail.ru

В работе рассматриваются способы расчета необходимого количества припоя при пайке компонентов поверхностного монтажа на контактные площадки печатных плат.

Ключевые слова: технология поверхностного монтажа, припой, пайка, компонент поверхностного монтажа.

CALCULATING THE AMOUNT OF SOLDER FOR SOLDERING THE SMDs

Adamkovich D.A., undergraduate;
Zerny Yu.V., Ph.D., Associate Professor

¹Physical and Technological Institute of Moscow Technology University

© Corresponding author: e-mail Zerni_uv@mail.ru

The paper considers methods of calculating necessary amount of solder for soldering the SMDs on printed circuit boards.

Keywords: surface-mount technology (SMT), solder, soldering, surface-mount device (SMD).

При поверхностном монтаже элемент-

ной базы (на этапе сборки функциональных узлов, расположенных на печатной плате) возникает задача рассчитать точное количество припоя (или припойной пасты) для поверхностно-монтируемых компонентов (ПМК). Это количество должно быть достаточным, чтобы обеспечить надежность паяного соединения и избежать холодной пайки, и в то же время не быть чрезмерным, чтобы не образовывать перемычек между выводами и быть экономически максимально выгодным.

В соответствии с техническими требованиями пайки ПМК припой должен смачивать боковую поверхность вывода и образовывать вогнутую поверхность – галтель, соединяющую край контактной площадки и верхний край вывода.

Для расчета требуемого количества припоя, объем припоя сложной формы, получающийся после оплавления припойной пасты, разобьем на отдельные объемы геометрических тел в соответствии с рисунком 1.

Прочность соединения двух деталей при пайке будет максимальной, если зазор между ними составляет около 75 мкм.

В соответствии с техническими требованиями пайки ПМК припой должен смачивать боковую поверхность вывода и образовывать вогнутую поверхность – галтель, соединяющую край контактной площадки и верхний край вывода. С учетом принятых допущений, рассчитаем объем припоя, необходимый при пайке компонентов.

Разобьем объем припоя на шесть объемов геометрических тел. Чтобы найти объем V_3 необходимо одну четвертую $V_{\text{цилиндра}} = \pi r^2 \cdot y$ вычесть из объема прямоугольной призмы. Эти объемы рассчитываются по формулам в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1.
 Формулы отдельных объемов припоя.

Объемы припоя	Формула для Вычисления	Значения величин, мм		
		X	Y	Z
$V_1 = V_5$	$\frac{XYZ}{3}$	$b - a$	$\frac{c - b}{2}$	$H + 0,075$
$V_2 = V_6$	$\frac{XYZ}{2}$	a	$\frac{c - b}{2}$	$H + 0,075$
V_3	$XYZ - \pi r^2 Y / 4$	$b - a$	B	$H + 0,075$
V_4	XYZ	a	B	0,075

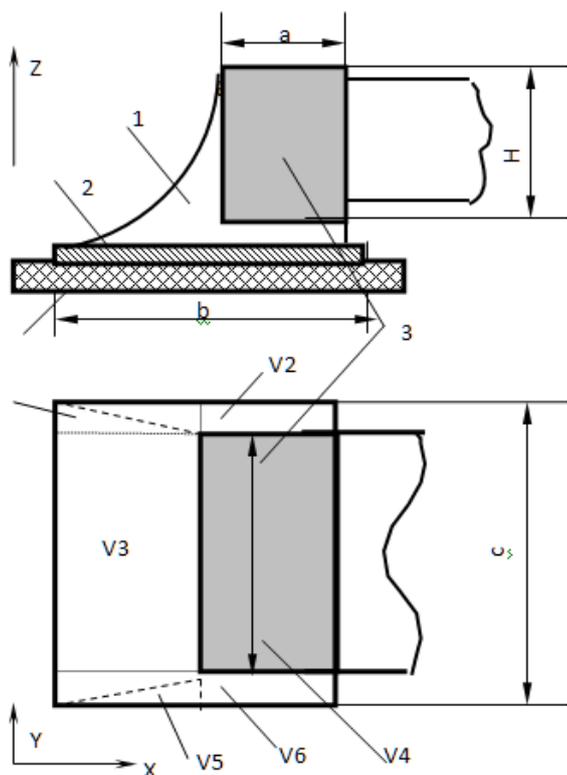


Рис. 1. Взаимное расположение выводов компонентов и контактной площадки

- B – ширина компонента
- H – высота компонента
- V_1 - V_6 – отдельные объемы припоя
- 1 – припой
- 2 – контактная площадка
- 3 – вывод
- 4 – печатная плата
- a – ширина вывода
- b – ширина контактной площадки
- c – длина контактной площадки

Рассчитав по формулам все элементарные объемы и сложив их по формуле (1), получим оптимальный объем припоя, необходимый для получения качественной пайки на данной площадке. Однако на контактные площадки наносится не припой, а паста. Объем пасты $V_{\text{п}}$ можно определить по формуле (2).

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{1-6} \quad (1)$$

$$V_{\text{п}} = 1,4 \cdot V_{\text{пр}} \quad (2)$$

Чтобы рассчитать массу припоя M на плате для припоя с содержанием олова и свинца Z_1 % и Z_2 % соответственно, нужно вычислить:

1) Полный объем припоя $V_{\text{пол.}}$, необходимого для пайки одной платы с компонентами, который рассчитывается по формуле: $V_{\text{пол.}} = V_{\text{пр1}} \cdot N_1$ (3)

где $V_{\text{пр1}}$ – объем припоя, приходящийся на одну контактную площадку поверхностно-монтируемого компонента, N_1 – количество контактных площадок для ПМК.

2) Количество объема припоя, которое приходится на Z_1 % олова, можно рассчитать через пропорцию: $X = \rho_1 \cdot Z_1 / 100$, г/см³, (4)

где ρ_1 – плотность свинца, г/см³.

И для свинца при Z_2 % содержания в припое: $Y = V_{\text{пол.}} - X$, г/см³. (5)

3) Массы олова M_1 и свинца M_2 , которые можно рассчитать по формулам:

$$M_1 = \rho_1 \cdot X, \text{ г} \quad (6)$$

$$M_2 = \rho_2 \cdot Y, \text{ г} \quad (7)$$

4) Масса припоя на плате
 $M = M_1 + M_2, \text{ г.} \quad (8)$

Использование формул расчета количества припоя можно проиллюстрировать примером.

Произведем расчет объема припойной пасты на контактной площадке (КП) для чип - резистора типоразмера 0805.

Исходные данные для расчета: $a = 0,4$ мм; $b = 0,975$ мм; $c = 1,5$ мм; $B = 1,25$ мм; $H = 0,5$ мм; $h = 0,075$ мм. При подстановке исходных данных в формулы таблицы 1 получаем следующие значения отдельных объемов припоя:

$$V_1 = V_5 = 0,019 \text{ мм}^3; \quad V_2 = V_6 = 0,0146 \text{ мм}^3; \quad V_3 = 0,0062 \text{ мм}^3; \quad V_4 = 0,0375 \text{ мм}^3.$$

Полный объем припоя определяем по формуле (1): $V_{\text{пр}} = 0,1103 \text{ мм}^3 = 0,00011 \text{ см}^3$;

Объем пасты по формуле (2): $V_{п} = 0,154 \text{ мм}^3$.

Масса припойной пасты для одной КП для чип – резистора типоразмера 0805:

Плотность олова Sn составляет $\rho_1 = 7,29 \text{ г/см}^3$; свинец Pb составляет $\rho_2 = 11,34 \text{ г/см}^3$. В припой входит: Sn 63% и Pb 37%. Полный объем припоя, необходимого для пайки одной платы с компонентами рассчитываем по формуле (3): $V_{пол.} = 0,249 \text{ см}^3$. Найдем, какое количество объема припоя приходится на 63% олова. Составим пропорцию (4): $X=0,249 \cdot 63/100 = 0,156 \text{ см}^3$. Тогда на свинец приходится (5): $Y = 0,249 - 0,156 = 0,093 \text{ см}^3$. Массу находим

из произведения объема на плотность вещества по формулам (6) и (7): $M_1 = 7,29 \text{ г/см}^3 \cdot 0,156 \text{ см}^3 = 1,137 \text{ г}$; $M_2 = 11,34 \text{ г/см}^3 \cdot 0,093 \text{ см}^3 = 1,054 \text{ г}$.

Сумма M_1 и M_2 (8) составит массу припоя на плате: $M = 2,19 \text{ г}$.

Список литературы

1. Мэнгин Ч.-Г., Макклелланд С. *Технология поверхностного монтажа: Пер. с англ.* - М.: Мир, 1990
2. *Технологии в производстве электроники. Часть 2. Справочник по производству печатных плат / Под ред. П. Семенова* – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007.

УДК 621.891

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ТРЕНИИ БЕЗ СМАЗКИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Алисин В.В., к.т.н., зав. лаб.

Лукьянов А.И., инженер

Рошин М.Н., к.т.н., в.н.с.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

*Автор для переписки: Алисин В.В.
e-mail: vva-imash@yandex.ru*

Работа посвящена высокотемпературным лабораторным трибологическим испытаниям ряда перспективных керамических материалов, а именно: наноструктурированных кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония, легированных редкоземельными элементами.

Ключевые слова: трение, керамические материалы, кинетическая склерометрия

TRIBOLOGICAL TESTING OF CERAMIC COMPOSITES DURING FRICTION WITHOUT LUBRICATION AT HIGH TEMPERATURES

Alisin V. V.;
Lukyanov, A. I.;
Roshchin M. N.

Institute of machines science named. A. A. Blagonravova of the RAS

*Author for correspondence: Alison Vladimir
e-mail: vva-imash@yandex.ru*

The laboratory work is devoted to the high temperature tribological tests of a number of promising ceramic materials, namely, nanostructured crystals partially stabilized Zirconia doped with rare earth element.

Key words: friction, ceramic materials, kinetic sclerometry

Тенденции развития узлов трения перспективных авиадвигателей определяются необходимостью освоения высоких температур газа, когда жаростойкость металлических относительно легких сплавов недостаточна для решения практических задач. В этих условиях альтернативы керамическим материалам нет. Поскольку, узлы трения работают в основном в динамических условиях, одним из важнейших требований к керамическим материалам является стойкость к образованию трещин. Интерес к керамикам и кристаллам на основе наноструктурированного диоксида циркония обусловлен тем обстоятельством, что их трещиностойкость наиболее высокая в сравнении с другими керамиче-

скими материалами.

Цель исследования – изучить влияние температуры на коэффициент трения керамического композита на основе диоксида циркония при трении без смазки по стали 40X13 в интервале удельных нагрузок 0,12 – 0,5 МПа при скорости 0,15 м/с, т.е. в условиях моделирующих работу шарнирного узла поворота лопаток осевого компрессора авиадвигателя.

Оборудование. Склерометрические испытания проводились на кинетическом микротвердомере (система микроиндентирования на основе компактной платформы CSM-instruments M H T – Z – AE – 0 0 0 (Швейцария), S/N 01-03586) Микро-Hardness Tester. Разработанная методика испытаний позволяет оптимизировать состав и количество легирующих элементов по критерию необратимых деформаций путем записи диаграммы нагружения и разгрузки индентора в соответствие со стандартом ISO/DIS 14577. Метод позволяет выявлять кинетические и структурные закономерности деформации образцов; Горячие испытания на трение проводились на специальном стенде с возможностью нагрева узла трения до 1000 °С по схеме «диск-пальчик». Регистрация момента трения и температуры осуществляется с использованием тензометрических датчиков ZET 7111 Tensometer CAN. Данные передаются в цифровом виде по интерфейсу CAN 2.0 используя протокол Modbus. Преобразователь интерфейса USB++CAN ZET 717 предназначен для подключения измерительных сетей на базе интеллектуальных датчиков и управляющих модулей ZETSENSOR с интерфейсом CAN к ПК. Точность измерения не менее 1 % от наибольшего предела измерений.

Результаты испытаний. Проведен комплекс исследований, направленных на выбор и оптимизацию составов керамики ЧСЦ по механическим характеристикам. Практически единственным методом оценки упругих и пластических свойств материала поверхностных слоев является метод определения кинетической микротвердости, основанный на непрерывной регистрации параметров процесса вдавливания индентора, а именно нагрузки на

индентор и глубины его погружения. Метод позволяет выявлять кинетические и структурные закономерности деформации образцов на участке нагружения, в частности микронеоднородность свойств, которую регистрируют по микроскачкам и статистическому разбросу кривых активного нагружения.

Важнейшими характеристиками механических свойств поверхностных слоев трущихся деталей являются твердость, модуль упругости и коэффициент необратимых деформаций, в литературе часто называемым коэффициентом пластичности, что не точно, т.к. он учитывает также затраты энергии на трещинообразование. В данных испытаниях кинетический микротвердомер настраивался для индентирования (наиболее универсальным и удобным для пирамидального индентора Виккерса) по методу У. Оливера и Дж. Фарра (степенной закон аппроксимации кривой индентирования).

В таблице 1 приведены результаты испытаний образцов кристаллов ЧСЦ с содержанием 2,8мол%Y₂O₃. Принятые обозначения: HV – твердость по Виккерсу; E – модуль упругости; W_{общ} – общая работа деформирования; W_{пласт} – необратимые потери энергии; K_н – отношение необратимых потерь энергии (в основном пластичность) к общей работы индентирования.

Проведенные опыты показывают, что наиболее перспективным для применения в узлах трения являются образцы составов ZrO₂-2,8 мол%Y₂O₃ +1вес% CeO₂; и ZrO₂-2,8 мол%Y₂O₃ +0,3вес% CoO.

На рисунке 1 приведен общий вид образцов ЧСЦ в держателе и контртело из стали 40X13. Измерение температуры нижнего образца 40X13 (нагреваемого до 1000 °С) осуществлялся термопарой хромель-алюмель с регистрацией на приборе с использованием датчиков температуры ZET 7120 Termo TC-CAN. Диапазон контроля при использовании на входе датчика ТХА 1200 °С, разрешающая способность 1 °С, предел допустимой основной погрешности измерения входного параметра (без учета погрешности датчика) 0,5 %. Результаты испытания материалов на тре-

ние в условиях нагрева поверхностей трения до 700 °С приведены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Образцы и контртело

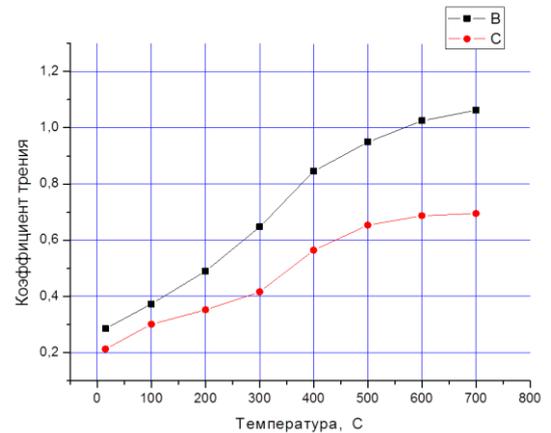


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от температуры при трении керамического образца по стали 40X13 (B – 0,5 МПа, C – 0,12 МПа)

Установлено, что в исследуемом интервале температур задира поверхностей не происходит и мощность приводного механизма достаточна для выполнения заданной функции шарнира, однако желательно снизить коэффициент трения за счет применения твердых смазочных материалов.

Таблица 1
Механические свойства образцов ЧСЦ полученные методом микроиндентирования

№	Образцы	HV, Vickers (micro)	E, (ГПа)	Wобщ (мкДж)	Wпласт, (мкДж)	K _H	HV*K _H
	Состав						
1	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +0,1вес%	1707	171	0.81	0.39	0,479	765
2	CeO ₂	1187	115	0.99	0.46	0,463	550
3		1679	199	0.74	0.38	0,516	866
4	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +0,6вес% CeO ₂	1667	209	0.71	0.37	0,521	860
5	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +1вес% CeO ₂ ;	1729	207	0.73	0.38	0,516	920
6	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +0,8мол% CeO ₂ ;	1741,6	216,71	3,87	1,8	0,533	928
7	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +0,1вес% Nd ₂ O ₃	1666	196	0.73	0.37	0,508	846
8	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +0,6вес% Nd ₂ O ₃	1774	208	0.72	0.36	0,503	893
9	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +0,9вес% Nd ₂ O ₃	1676	193	0.74	0.38	0,511	856
10	ZrO ₂ -2,8 мол%Y ₂ O ₃ +0,1вес% CoO	1855	236	0.67	0.33	0,50	927

УДК 621.9.04, 621.9015

strengthening processing

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УДАРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Албагачиев А.Ю., д.т.н., профессор,
Зуев В.В., к.т.н., доцент,
Преображенская Е.В., к.т.н., доцент,
Лутьянов А.В. к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Зуев В.В.
e-mail: oozon@bk.ru

В работе рассмотрены аспекты ударного упрочнения, обрабатываемой поверхности детали. Рассмотрены два процесса протекающие параллельно при упрочняющем ударе – это сам удар (возрастание силы) при котором генерируется тепло и поглощение деформируемого объема, т.е. упрочнение. Предложен метод расчетно-экспериментального определения поглощений энергии, который можно применять для установления закономерности упрочнения и разрушения металлов

Ключевые слова: энергия упрочнения, обработка ППД, отделочно-упрочняющая обработка

ENERGY BASES OF THE SHOCK HARDENING OF SURFACES OF PARTS

Albagachiev A. YU.;
Zuev V.V.;
Preobrazhenskaya E. V.;
Lutianov A. V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Zuev V.V.
e-mail: oozon@bk.ru

In the article aspects of the shock hardening of the processed detail surface are considered. Two proceeding in parallel with the strengthening blow processes are considered– it is the blow itself (increase of force) in case of which is generated heat and absorption of deformable amount, i.e. hardening. The method of settlement and experimental determination of absorption of energy which can be applied to establishment of regularity of hardening and destruction of metals is offered

Keywords: energy of hardening, PPD processing, finishing-

В процессе ударного упрочнения обрабатываемый поверхностный объем подвергается многократным циклическим воздействиям — упругопластическому нагружению и упругой разгрузке. Большая часть приложенной работы удара переходит в теплоту, которая распределяется между соударяющимися телами, а меньшая часть поглощается деформируемым объемом и идет на увеличение числа дислокаций, вакансий и др. (на упрочнение). Таким образом, при ударе протекают два противоположных процесса — упрочнение и разупрочнение. Преобладание того или иного процесса зависит от энергии удара, скорости, значения и знака остаточных напряжений. При деформировании поверхностного объема в условиях низких температур почти половина всей подведенной энергии может накапливаться в виде скрытой энергии деформации.

Удар условно можно разделить на два, не одинаковых по длительности, этапа. На первом (большем) этапе инструмент с момента касания до полной остановки осуществляет равнозамедленное движение. В момент, когда скорость от максимального значения уменьшается до нуля, он останавливается. За это время сила удара возрастает от нуля до максимального значения. Теплота генерируется именно на первом этапе.

На втором этапе скорость возрастает от нуля до какого-то значения, а сила уменьшается до нуля. Изменение мощности удара за безразмерное время можно описать следующим образом:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{t}{t\Delta}\right); P = P_0 t / \Delta t;$$
$$N_t = P_0 v_0 \left(\frac{t}{\Delta t} - \frac{t^2}{t\Delta^2}\right); \quad (1)$$

где v_0 и P_0 — максимальные скорость и сила удара; t — текущее время.

Теперь определим энергию пластической деформации за удар (так как энергия упругой деформации после разгрузки восстанавливается):

$$W_{\text{пл}} \int_0^t P_0 v_0 \left(\frac{t}{\Delta t} - \frac{t^2}{t\Delta^2}\right) dt = P_0 v_0 \Delta t / 6; \quad (2)$$

Отметим, что в расчетах, в которых принимают $P = \text{const}$, $v = \text{const}$, истинная работа пластической деформации за один удар завышена в 6 раз.

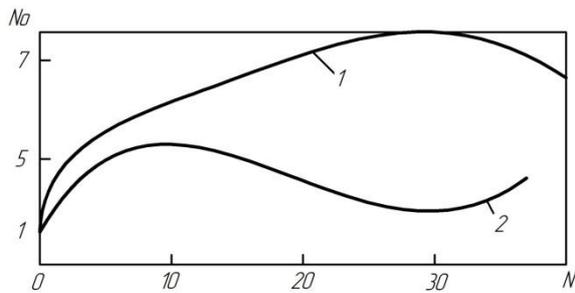


Рис.1. Зависимости микротвёрдости от числа ударов при $W=6$ Дж: 1 – $\Theta=-196^{\circ}\text{C}$; 2 – $\Theta=20^{\circ}\text{C}$

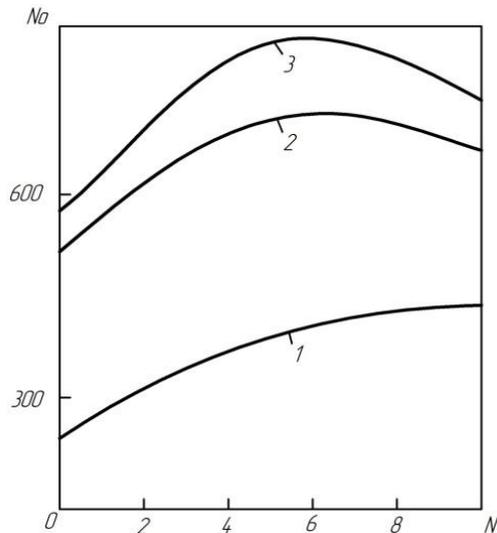


Рис.2. Зависимость микротвёрдости различных материалов от числа ударов: 1 – СЧ25; 2,3 – серый чугун с массовой долей марганца соотв. 9 и 12%

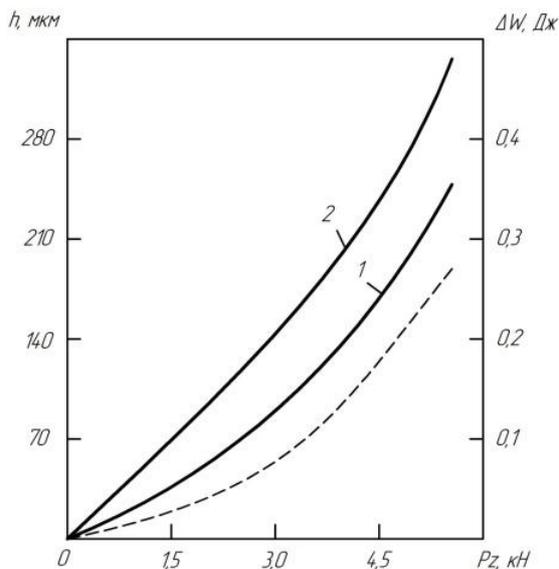


Рис.3. Зависимость перемещения (сплошные линии) и поглощенной энергии (штриховая линия) от приложенной силы для образцов из стали 12X18N10T: 1 – отожженной; 2 – после механической обработки

В результате исследований установлено, что при постоянных энергии и скорости удара микротвердость в зависимости от числа ударов сначала увеличивается, а после 30 ударов уменьшается (рис 1.), т.е. начинается перенаклеп. Это явление крайне нежелательно, так как приводит к ухудшению качества поверхности и возникновению трещин.

Чтобы выбрать оптимальное число ударов при упрочнении, помимо правильного назначения режимов нагружения необходимо знать энергетические показатели материала. Для этого примем известную точку зрения, в соответствии с которой объем материала разрушается при достижении критического значения внутренней энергии. Согласно М. Борну, деформируемый объем достигает предельной энергоемкости, если он поглощает энергию, равную теплоте его плавления. Таким образом, энергоемкость материала до разрушения можно определить следующим образом [1]:

$$W_3 = V \int_{T_0}^{T_{пл}} \Delta c_p dT; \quad (3)$$

где V — деформируемый объем; Δc_p — приращение удельной теплоемкости; T_0 — начальная температура; $T_{пл}$ — температура плавления материала.

Число ударов, необходимых для достижения максимального упрочнения,

$$N = W_3 W_{пл} = 6V \int_{T_0}^{T_{пл}} \frac{\Delta c_p dt}{\rho_0 v_0 \Delta t}; \quad (4)$$

По формуле (4) вместо N можно определить время обработки (если известен промежуток времени между ударами). Деформированный объем:

$$V = AN \quad (5)$$

Уравнение (4) использовали для расчета оптимального числа ударов при упрочнении чугуна СЧ 25, а также чугунов с массовой долей марганца 9 и 12 % (рис. 2). Для СЧ25 $N = 12$, для высокомарганцовистых чугунов $N=6$, что удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными.

Рядом авторов установлено, что энергоемкость сталей, определенная при механических испытаниях на разрушение, существенно отличается от энергии, необходимой для ее плавления. По-видимому, это связано с невозможностью учета началь-

ного состояния материала при теоретическом расчете энергии плавления (он считается отложенным). Обычно материал после предшествующей механической обработки или термообработки упрочняется. Энергия, поглощенная металлом, различается в зависимости от технологической обработки, поэтому возникла необходимость разработки методики и создания установки для оценки поглощенной энергии с учетом начального состояния металлов.

Спроектированная и изготовленная экспериментальная установка позволила осуществлять пластическую деформацию цилиндрического образца между твердосплавными пластинами.

На установке были проведены серии экспериментов для термообрабатываемых образцов из стали 12Х18Н10Т.

После аппроксимации кривых 1 и 2 (рис.3):

$$h_1 = 0,00915P^2 -$$

$$0,0003359P^3; h_2 = 0,00188P^2 - 0,001617P^3.$$

Площадь под этими кривыми:

$$W_1 = \int_0^P h dP = \int_0^P (0,00915P^2 - 0,0003359dP) = 0,00305P^3 - 0,00084P^4;$$

$$W_2 = \int_0^P (0,00188P^2 - 0,0016179P^3) = 0,00627P^3 - 0,0004P^4;$$

Энергия, поглощения в процессе течения образца из стали:

$$\Delta W = W_2 - W_1.$$

Следует отметить, что кривые 1 и 2 получены в условиях отсутствия нагрева.

Таким образом, разработанный метод расчетно-экспериментального определения поглощений энергии можно применять для установления закономерности упрочнения и разрушения металлов.

Список литературы

1. Абраменко Ю.Е., Албагачиев А.Ю. Ударное упрочнение чугунов / Вести машиностроения. 1988. №4

УДК 681.5:621.165:534.1+621.438:534

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ВЕКТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИ ВЕЛИЧИН

Скворцов О.Б.^{1,2}, к.т.н., с.н.с., начальник отдела
 Правоторова Е.А.², к.т.н., с.н.с.

¹Научно-технический центр «Завод баланси-
 ровочных машин»

²Институт машиноведения им.
 А.А.Благодрава РАН

© Автор для переписки: Скворцов О.Б.
 e-mail: skv@balansmash.ru

Рассмотрены вопросы повышения точности измерения трехмерных векторных физических характеристик: вибрации, магнитного поля, динамических сил и т.п. Повышение точности обеспечивается ортонормализацией матриц чувствительности первичных измерительных преобразователей. Повышение достоверности измерений векторных величин может также достигаться за счет оптимизации выбора осей чувствительности, обеспечивающей режим дублирования измерений.

Ключевые слова: многокомпонентные датчики, ортонормализация, резервирование измерений, противоаварийная защита, эргодичность процессов.

PROCESSING SIGNALS OF VECTOR SENSORS PHYSICAL VALUES

Skvortcov O.B.^{1,2};
 Pravotorova E.A.¹

¹Scientific and Technical Center "Zavod
 Balansirovochnykh mashin"

²Institute of Machines Science named after
 A.A.Blagonravov of the Russian Academy of Sciences

© Corresponding author e-mail: skv@balansmash.ru

The problems of increasing the accuracy of measuring three-dimensional vector physical characteristics: vibration, magnetic field, dynamic forces, etc. are considered. Increase in accuracy is provided by orthonormalization of the sensitivity matrices of primary measuring transducers. An increase in the reliability of measurements of vector quantities can also be achieved by optimizing the selection of the sensitivity axes, which provides a mode of duplication of measurements.

Keywords: multicomponent sensors, orthonormalization, measurement backup, emergency protection, ergodicity of processes.

Контроль вибрации роторных машин и механизмов с горизонтальным расположением ротора обычно предполагает независимое измерение поперечной, вертикальной и осевой вибрации [1-3]. Применение многокомпонентных датчиков вибрации позволяет существенно повысить точность таких измерений за счет коррекции взаимного влияния каждой из компонент первичного измерительного преобразователя [4,5]. Коррекция результатов измерения в некоторых случаях может обеспечить также компенсацию деградации характеристик первичного измерительного преобразователя [6], что особенно важно при построении систем противоаварийной защиты (ПАЗ) [7,8]. Создание таких систем в настоящее время предполагает использование резервирования для обеспечения высокой надежности. Такое резервирование систем с контролем трех компонент вибрации ведет к значительному росту затрат оборудования, а следовательно и стоимости систем ПАЗ.

Используя принцип векторной обработки сигналов от датчиков пространственной вибрации можно не только компенсировать недостатки датчика, но и обеспечить резервирование измерений без увеличения количества оборудования. Такой результат может быть достигнут поворотом векторов чувствительности к системе координат соответствующей равному вкладу поперечной, вертикальной и осевой вибрации, которые существенно различаются между собой. Последнее не позволяет непосредственно рассматривать их в качестве резервируемых замеров. Это решение иллюстрируется рис.1.

Поворот осей чувствительности может быть выполнен умножением вектора сигналов на матрицу коэффициентов обеспечивающих поворот осей. Эта операция может быть совмещена с операцией умножения на матрицу коэффициентов коррекции, обеспечивающую ортонормализацию чувствительности датчика [4,5].

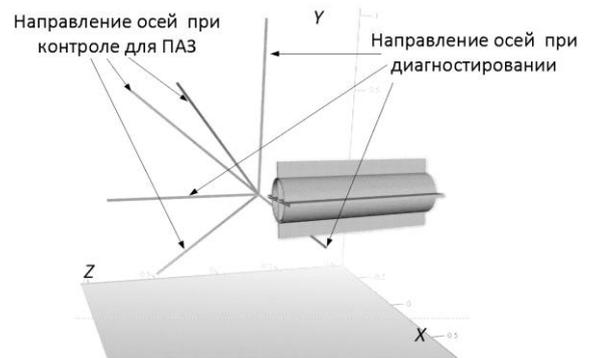


Рис.1. Поворот осей чувствительности датчика пространственной вибрации к ортогональной системе с равными вкладами поперечной, осевой и вертикальной вибрации для обеспечения резервированной ПАЗ

При реализации ПАЗ важное значение имеет сокращение время формирования достоверной оценки вибрации. Уменьшение этого времени позволяет сократить время между началом развития дефекта, вызывающего рост контролируемой вибрации, и срабатыванием автоматической ПАЗ. В настоящее время обеспечение оценки достоверности такого процесса обеспечивается повторными замерами во времени, что приводит к задержке срабатывания ПАЗ и неконтролируемому развитию аварии. Поскольку, как показали проведенные исследования [9], вибрационные процессы в большинстве случаев можно рассматривать как эргодические, последовательность измерений во времени может быть заменена оценкой по группе параллельно проводимых замеров, что позволяет существенно сократить задержку срабатывания ПАЗ. В качестве таких параллельных замеров можно рассматривать результаты, получаемые для формируемых резервированных отсчетов.

Высокое быстродействие современных процессоров цифровой обработки сигналов обеспечивает динамическую возможность обработки входных векторов с формированием одновременно результатов в системе координат для резервированной ПАЗ и для типовой системы (вертикальное, поперечное и осевое направления), принятой в системах диагностики. На рис.2. представлены выборки пространст-

венной вибрации оборотной частоты и аппроксимирующей кривой в виде плоского эллипса, который может быть использован для диагностики вибрационного состояния ротора.

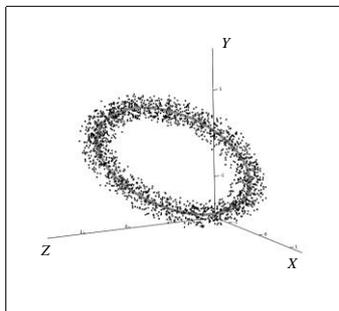


Рис.2. Аппроксимирующая траектория (серая кривая) среднего вектора пространственной оборотной вибрации при случайном аддитивном шуме в каналах для подшипника роторного агрегата с ортонормализованными сигналами трехкомпонентного акселерометра

Как было показано в [10], для горизонтального роторного агрегата, жесткости опор которого в поперечном и вертикальном направлениях существенно различаются, вертикальная и поперечная вибрации также могут существенно отличаться и траектория представляет собой эллипс. Несмотря на это, площадь этого эллипса может характеризовать амплитуду вибрации на оборотной частоте, например, при оценке величины дисбаланса.

Заключение

Гармоническая вибрация в пространстве при отсутствии шумов соответствует плоским эллиптическим траекториям радиусавектора. Аддитивный случайный шум в каналах добавляет случайный разброс вокруг указанных траекторий. При сборе сигналов с трехкомпонентных датчиков влияние поперечных чувствительностей для каждой из компонент может быть учтено умножением на матрицу корректирующих коэффициентов, обратную матрице коэффициентов чувствительности трехкомпонентного датчика. Аналогичный расчет с поворотом осей чувствительности может обеспечить построение быстро-

действующей резервированной ПАЗ без увеличения аппаратных затрат.

Список литературы

1. ISO 7919-2:2009. *Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts -- Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min.* 2009. 23 p.
2. ISO 10816-2:2009. *Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts -- Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min.* 2009, 25 p.
3. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. Энергоиздат 1982 г. - 352с.
4. Козлов В.В., Санин Е.И. Измерение характеристик случайной стационарной коррелированной вибрации с устранением влияния поперечных компонент вибрации. Вибрационная техника, МДНТП, 1980 г., —с.74-81.
5. Генкин М.Д., Голубев В.С., и др. Анализатор вибраций. Авторское свидетельство СССР № 1257411 приор. 17.07.1980, БИ № 34, 1986, G01H9/00
6. Правоторова Е. А., Скворцов О. Б. Компенсация деградации параметров многокомпонентного датчика вибрации методом сравнения статистических характеристик сигналов. / Научные труды IV Международной научной конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении» - М., Издательский дом «Спектр», 2015. С. 212 - 214.
7. Объем и технические условия на выполнение технологических защит теплоэнергетического оборудования электростанций с поперечными связями и водогрейных котлов (для оборудования, спроектированного до 1997 г. РД 153-34.1-35.116-2001 СПО ОРГРЭС, М.:, 2001. 46 с.
8. Гроза Л. О технологических защитах. / СТА, №1, 2014, с.90-97.
9. Правоторова Е.А., Скворцов О.Б. Моделирование виброиспытаний элементов обмоток мощного электрооборудования. / Проблемы машиностроения и надежности машин. № 5, 2015, с.103-110
10. Голубев В.С. Задачи в области измерения многомерной вибрации. / Виброметрия, М.: МДНТП, 1982. С.17-19.

УДК 681.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ НЕРАЗЪЕМНОГО ИЗДЕЛИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Валиев А.М., ст. преподаватель кафедры
машиностроения;

Панкратов Д.Л., д.т.н., доц., профессор
кафедры машиностроения

¹Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского (Приволжского) федерального
университета

© Автор для переписки: Валиев А.М.
e-mail: cct-ineka@yandex.ru

Работа посвящена разработке автоматизированной системы моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией, позволяющей производить точный расчет параметров соединяемых элементов изделия, осуществлять выбор параметров технологического процесса и обеспечивать поэтапную локализацию деформации в соединяемых элементах изделия при сборке в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: автоматизированная система, нечеткая логика, управление, сборка пластической деформацией

AUTOMATION OF PROCESS ASSEMBLY ONE-PIECE PRODUCTS BY PLASTIC DEFORMATION BASED ON FUZZY LOGIC

Valiev A.M.;
Pankratov D.L.

Kazan Federal University. Naberezhnye Chelny
Institute

© Corresponding author e-mail:
e-mail: cct-ineka@yandex.ru

The work is dedicated to the development of automated system for simulation and control of the assembly of a one-piece products by plastic deformation, allowing to make an accurate calculation of the parameters of the connected elements

of the product, to choose the parameters of the technological process and to provide a step-by-step localization of the deformation in the joined elements of the product during assembly in real time.

Key words: Automated system, fuzzy logic, control, assembling by plastic deformation

Автоматизация процессов сборки неразъемных изделий пластической деформацией широко внедряется в производстве изделий машиностроения, основным преимуществом которых является возможность сочетания в одном цельном изделии технических свойств различных марок сталей отдельных его элементов. Например, с помощью применения таких изделий можно решить задачу экономии дорогостоящих металлов при сохранении эксплуатационных свойств.

На рис. 1 представлена схема способа сборки осесимметричных неразъемных металлических изделий с бочкообразной формой соединяемых поверхностей, состоящего из четырех последовательных этапов [1, 2].

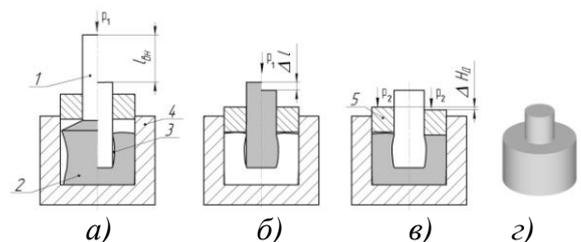


Рис. 1. Схема способа сборки неразъемных изделий

На первом этапе в нагретую до ковочных температур фасонную заготовку 2 на глубину $l_{вн}$ внедряют стержень 1 в матрице 4 (рис. 1, а). На втором этапе соединение выдерживают в течение времени $\tau_{кр}$ для прогрева внедренной части стержня с целью снижения предела текучести его материала. После чего, на третьем этапе осуществляют высадку внедренной части стержня на величину Δl , за счет чего происходит заполнение кольцевого зазора 3 материалом стержня (рис. 1, б). И на четвертом этапе производят окончательную сборку кольцевым инструментом 5 на ΔH_d (рис. 1, в). На рис. 1, г представлена 3D-модель элементов в сборе.

Однако существенным ограничением широкому распространению способа является сложность расчета геометрических параметров соединяемых элементов и выбора оптимальных технологических режимов процесса, а также необходимость обеспечения поэтапной локализации деформации в соединяемых элементах при сборке в реальных условиях.

Для решения данных задач предлагается использовать многоуровневую автоматизированную систему моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией, обеспечивающую как автоматизированную подготовку технологического процесса, так и управление самим процессом сборки изделия в режиме реального времени (рис. 2).

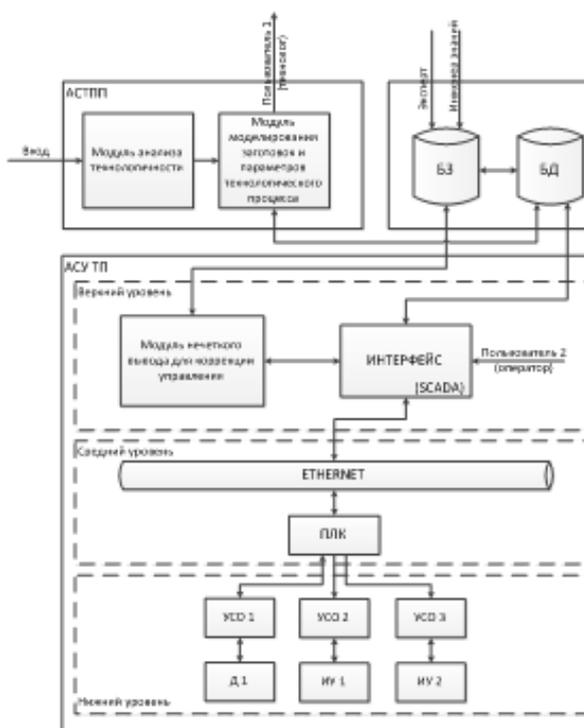


Рис. 2. Структурная модель автоматизированной системы моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией

БЗ – база знаний; БД – база данных; Д1 – датчик усилия на штоке; ИУ1 – исполнительное устройство «Шток прессы»;

ИУ2 – исполнительное устройство «Обойма»; УСО – устройство связи с объектом.

Исходными данными разработанной системы является САД-модель готового неразъемного изделия, а также сведения о материалах соединяемых элементов.

По исходным данным в информационной системе осуществляется поиск похожего прецедента в базе данных. При отсутствии полностью совпадающего прецедента производится либо создание нового прецедента, либо выбирается наиболее близкий, который в дальнейшем адаптируется. При разработке нового прецедента в модуле анализа технологичности изделия производится анализ: на применимость технологии по размерам; на совместимость прочностных свойств; на совместимость металлов по термообработке. Далее пользователю предлагается альтернатива по выбору материала корпусной заготовки. Необходимая для анализа информация по реологии и теплофизическим свойствам материалов, ограничениям технологии по размерам, а также параметры гидравлических прессов хранится в базе данных.

Далее в модуле моделирования заготовок и параметров технологического процесса производится расчет геометрических параметров фасонной заготовки и стержня, определяются значения $l_{вн}$, $\tau_{кр}$, Δl и ΔH_d осуществляется выбор технологического режима процесса, даются рекомендации по выбору оборудования и инструмента, формируется информация для заготовительного цеха (участка) в виде САД-моделей фасонной заготовки и стержня, а также формируются входные данные для работы АСУ ТП.

АСУ ТП состоит из верхнего, среднего и нижнего уровней (рис. 2). На нижнем уровне происходит согласование сигналов датчиков (Д) с входами устройства управления, а вырабатываемых команд с исполнительными устройствами (ИУ) с помощью устройств связи с объектами (УСО). На среднем уровне ПЛК (PLC, Programable Logic Controller) получает информацию с датчиков о состоянии технологического процесса и выдает сигналы управления на исполнительные устройства. Верхний уровень представляет собой интеллектуальную надстройку, производящую анализ и обработку информации поступающих с

нижних уровней и уровня АСТПП, а также осуществляющую управление технологическим процессом.

Интеллектуальная надстройка представляет собой модуль нечеткого вывода для коррекции управления на основе данных получаемых с датчика усилия с помощью нечетких правил. В системе нечеткого вывода верхнего уровня содержится база нечетких продукционных правил вида ЕСЛИ «реальное состояние объекта», ТО «корректировка управления нижнего уровня», в которой в нечеткой форме представлены знания экспертов по корректировке параметров управления нижнего уровня с целью обеспечения поэтапной локализации деформации в соединяемых элементах изделия в реальном масштабе времени.

Разработанная автоматизированная система моделирования и управления тех-

нологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией, позволяет производить точный расчет параметров соединяемых элементов изделия, осуществлять выбор параметров технологического процесса и обеспечивать поэтапную локализацию деформации в соединяемых элементах изделия при сборке в реальном масштабе времени.

Список литературы

1. *Technology of manufacturing of multiple core stamp tools by plastic deformation* Pankratov, D.L., Shibakov, V.G., Valiev, A.M., Valieva, R.F. 2015 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 86 012004
2. *Валиев А.М., Шибakov В.Г., Панкратов Д.Л. Методика проектирования и технология изготовления сборного стержневого штампового инструмента // СТИН. -2015. -№7. -с.20-23.*

УДК 535.15; 535.016

О ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ПЛОСКОЙ ГРАНИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕЛА ПО ИЗЛУЧЕНИЮ ИНФРАКРАСНЫХ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН- ПОЛЯРИТОНОВ

Герасимов В.В.¹, к.ф.-м.н., научный сотрудник

Никитин А.К.², д.т.н., ведущий научный сотрудник

Хасанов И.Ш.², к.ф.-м.н., научный сотрудник

Та Тху Чанг³, аспирант

¹ *Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, 630090, Россия*

² *Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 117342*

³ *Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, Россия*

© Автор для переписки: Никитин А.К. e-mail: alnikitin@mail.ru

В работе приведены результаты по наблюдению излучения испускаемого термостимулированными поверхностными плазмон-поляритонами (ТППП) - разновидностью поверхностных электромагнитных волн – с ребра плоской грани металлического образца. Установлено, что интенсивность и диаграмма направленности этого излучения зависит не только от размеров грани и температуры тела, но и от качества обработки поверхности.

Ключевые слова: поверхностные электромагнитные волны, тепловое излучение, проводящая поверхность

ON THE POSSIBILITY TO CONTROL FLAT FACET OF A METAL OBJECT VIA RADIATION OF THE INFRARED THERMALLY STIMULATED SURFACE PLASMON POLARITONS

**Gerasimov V.V.¹;
Nikitin A.K.²;**

**Khasanov I. Sh.²;
 Ta Thu Trang³**

¹*Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS,
 630090, Russia*

²*Scientific and Technological Center for Unique
 Instrumentation of RAS, 117342*

³*Peoples' Friendship University of Russia,
 117198, Moscow, Russia*

© *Corresponding author e-mail: e-mail:
 alnikitin@mail.ru*

The paper presents results on detection of radiation emitted by thermally stimulated surface plasmon-polaritons - a kind of surface electromagnetic waves - from an edge of the metal sample plane facet. It is established that the intensity and the radiation pattern of this emission depends not only on the size of the facet and body temperature, but also on the quality of surface treatment.

Key words: Surface electromagnetic waves, Heat radiation, Conductive surface

Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) - комплекс волны свободных зарядов на поверхности металла и эванесцентной (неизлучающей) p -поляризованной электромагнитной волны [1]. Генерация ППП возможна не только внешним излучением, но и оптическими фононами (квантами тепловых колебаний ионов кристаллической решётки) металлического объекта [2]. Спектр термостимулированных ППП (ТППП) смещён в длинноволновую область и подчиняется закону Вина с иной константой по сравнению со спектром АЧТ [3]. Известен ряд работ по наблюдению излучения ИК ТППП у края плоской грани металлической пластины [4, 5]. Однако к настоящему времени аналитическая модель, позволяющая рассчитывать спектр ТППП на крае грани образца с учётом её размеров и факта затухания ТППП по мере их распространения, не разработана. Нет исчерпывающих доказательств плазмонной природы наблюдаемого излучения, не изучена его температурная зависимость. Такие исследования необходимы для использования излучения ТППП в тепловидении, в спектроскопии

поверхности металла и контроля качества её обработки.

Для разработки модели спектра ИК ТППП, генерируемых линейкой излучателей с характерным размером r каждый, использована формула для спектральной плотности мощности излучения ИК ТППП, генерируемых на площадке с размером $\lambda_{max} \ll r \ll L_{min}$ (здесь λ_{max} - максимальная длина волны рабочего диапазона; L_{min} - длина распространения ППП с наибольшей частотой ω_{max} ; $L(\omega) = [2 \cdot \text{Im}(k_{ППП})]^{-1}$; $k_{ППП}$ - волновое число ППП):

$$u_{\omega}(T) \approx \frac{\hbar \cdot \omega^2 \cdot (\omega^2 - \omega_p^2)}{2\pi \cdot c^2 \cdot (2\omega^2 - \omega_p^2)} \cdot \frac{1}{\exp(\hbar\omega \cdot \beta) - 1}, \quad (1)$$

где c - скорость света в вакууме; ω_p - плазменная частота металла; $\beta = 1/(k_B T)$, k_B - постоянная Больцмана, T - температура образца. Чтобы рассчитать интегральную интенсивность I_{Σ} ТППП линейного излучателя длиной l в диапазоне частот от ω_1 до ω_2 необходимо учесть экспоненциальное затухание ТППП (из-за джоулевых потерь в металле) с расстоянием x :

$$I_{\Sigma} = u_{\omega} \times \int_0^l \int_{\omega_1}^{\omega_2} \exp\left(-\frac{r}{L(\omega)}\right) dr d\omega. \quad (2)$$

Эксперименты выполнены в Сибирском ЦКП синхротронного и терагерцового (ТГц) излучения (г.Новосибирск). Схема установки - на Рис.1, где: 1 - дюралевый образец ($120 \times 30 \times 25$ мм³) с внедрёнными в него нагревателем и термопарой; 2 и 3 - поглощающие экраны, отстоящие от плоскостей контролируемых граней на расстояние Δ ; 4 - обтюратор (10 Гц); 5 - регулируемый плёночный поляризатор; 6 - приёмник излучения (ячейка Голея GC-1D, рабочий диапазон $1 \div 8000$ мкм) на перемещаемой вдоль оси x платформе. Приёмник 6 подключен к синхронному детектору, настроенному на частоту обтюлятора 4; сигнал с детектора поступал на цифровой осциллограф Handy Scope HS 3.

На рис.2 - зависимости сигнала от координаты x , измеренные для неполяризованного излучения (кривая 1) и для обеих (p - и s -) его составляющих (относительно боковых граней образца), кривые 2 и 3. В

этих измерениях, выполненных при $T=209^{\circ}\text{C}$ образца, зазор $\Delta \approx 4$ мм. Для неполяризованного излучения и его p -составляющей наблюдаются пики интенсивности, а для s -составляющей их нет. Причём, в области торца интенсивности составляющих одинаковы, а пики отстоят от плоскостей граней примерно на 2.5° , что согласуется с данными о дифракции ТГц ППП на прямоугольном ребре образца [6, 7]. Таким образом, можно с высокой степенью уверенности утверждать, что эффект возрастания интенсивности p -поляризованного излучения, срывающегося с краёв граней металлического образца, обусловлен именно дифракцией ИК ТППП на рёбрах этих граней.

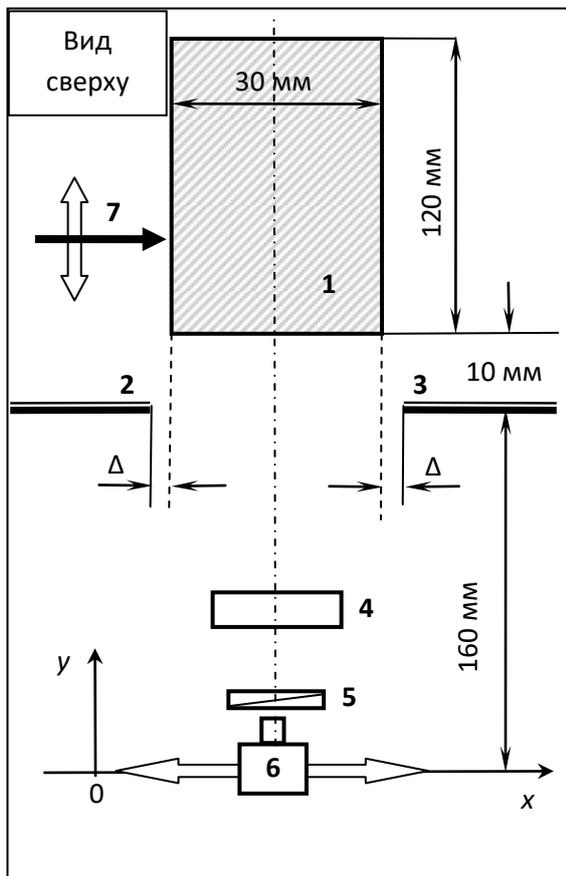


Рис.1. Схема измерений

На рис.3 - зависимость сигнала в максимуме диаграммы для p -составляющей от координаты y съёмного экрана 7 при $T=209^{\circ}\text{C}$. В соответствии с (2), сигнал увеличивается с ростом протяжённости открытой части грани и имеет тенденцию к насыщению.

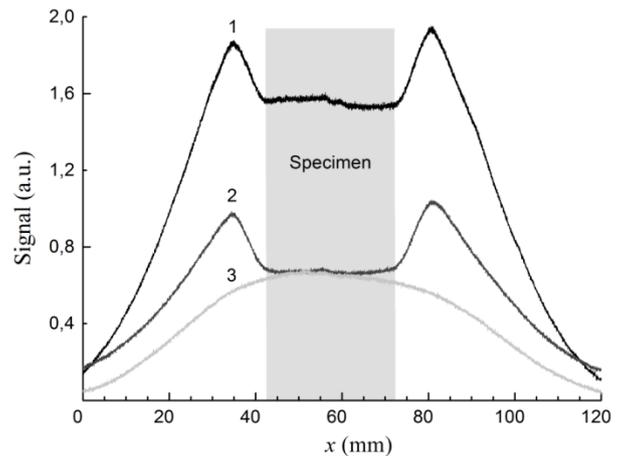


Рис.2. Распределение интенсивности за торцом образца: 1 – неполяризованное излучение; 2 – p -составляющая; 3 – s -составляющая

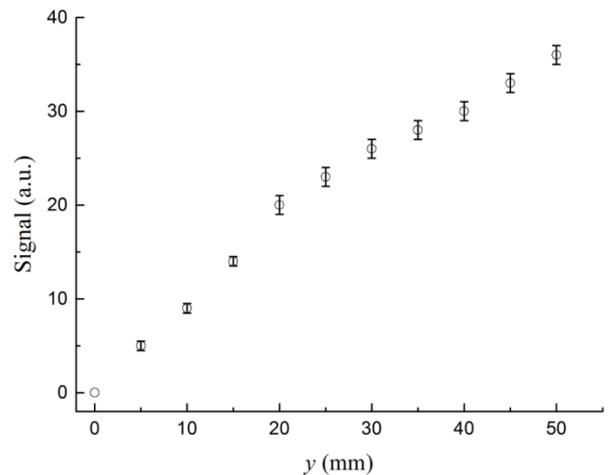


Рис.3. Рост интенсивности p -составляющей излучения с ребра образца по мере увеличения открытой части его грани

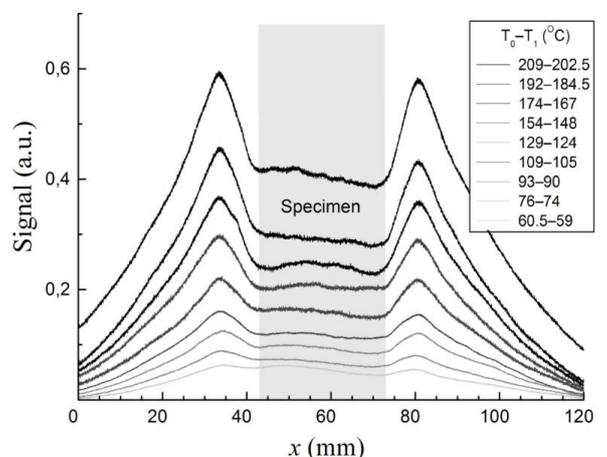


Рис.4. Рост пиков излучения p -составляющей с повышением температуры образца

На рис.4 представлено семейство кривых $I(x)$, построенных по результатам измерения сигнала при сканировании приёмника в плоскости перпендикулярной к торцу образца при различных его температурах. Небольшая асимметрия кривых объясняется остыванием образца за время (≈ 60 с) одного скана. Можно заметить, что динамика роста максимумов (соответствующих ТППП) несколько опережает динамику роста плато (соответствующего тепловому излучению с торца) между ними; этот факт согласуется с предсказанием теории [3], согласно которой энергия ТППП пропорциональна T^3 , а не T^4 , как это имеет место для энергии излучения, испускаемого нагретым телом.

Отметим, что трансформация ППП, генерируемых на реальной поверхности, в объёмное излучение (ОИ) происходит не только на ребре образца, но и на неоднородностях поверхности [8]. Причём диаграмма направленности этого ОИ, как и его спектральный состав, связаны с качеством поверхности. Это открывает перспективу разработки нового метода оптического контроля проводящей поверхности.

Список литературы

1. *Поверхностные поляритоны. Поверхностные электромагнитные волны на границах*

сред / Под ред. Аграновича В.М. и Миллса Д.Л. - М.: Наука, 1985. - 525 с.

2. *Виноградов Е.А., Дорофеев И.А. Термостимулированные электромагнитные поля твёрдых тел / УФН. №5, т.179. 2009. - С.449-485.*

3. *Хасанов И.Ш., Никитин А.К., Та Тху Чанг. Сравнение спектров АЧТ и ТППП в ИК диапазоне // Физика твёрдого тела. Вып.6, т.56. 2016. - С.1225-1229.*

4. *Минаков Д.А., Селиванов В.Н., Зон В.Б., Латышев А.Н., Овчинников О.В. Тепловое излучение при срыве поверхностной волны вблизи края медной пластины / Конденсированные среды и межфазные переходы. №2, т.8. 2006. - С.131-136.*

5. *Зон В.Б., Зон Б.А., Ключев В.Г., Латышев А.Н., Минаков Д.А., Овчинников О.В. Визуальное наблюдение конверсии ТППП в фотоны / УФН. №3, т.181. 2011. - С.305-306.*

6. *Zon V.B. Reflection, refraction, and transformation into photons of surface plasmons on a metal wedge / J. Opt. Soc. Am. (B). Is.8, v.24. 2007. - P.1960-1967.*

7. *Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Kotelnikov I.A., Nikitin A.K. Surface plasmon polaritons launched using a terahertz free electron laser / J. Opt. Soc. Am. (B). Is.8, v.30. 2013. - P.2182-2190.*

8. *Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Lemzyakov A.G., Nikitin A.K., Zhizhin G.N. Growth of terahertz surface plasmon propagation length due to thin-layer dielectric coating // J. Opt. Soc. Am. (B). Is.11, v.33. 2016. - P.2196-2203.*

УДК 621.762+620.193.13

ЭРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Смирнов Н.И. – к.т.н., ст.н.с.;

Яговкина А.Н. – инженер;

Смирнов Н.Н. – н.с.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, 101000, Россия

*Автор для переписки: Яговкина А.Н.
 e-mail: annuyagovkina1@gmail.com*

В работе приведены результаты испытаний порошковых материалов на эрозионную стойкость при скорости потока жидкости 11-16 м/с, угле атаки $45^{\circ}, 90^{\circ}$ с частицами кварца и корунда различной дисперсности. Определено, что механизм разрушения связан с пластической деформацией материала и накоплением усталостных повреждений.

Ключевые слова: порошковые материалы, износостойкость, эрозионное разрушение, механизм изнашивания.

EROSIVE TESTS OF POWDER MATERIALS

Smirnov N.I.;

Yagovkina A.N.;

Smirnov N.N.

Institute of Machines Science named after A.A.
Blagonravov of the Russian Academy of Sciences

Corresponding author e-mail:
e-mail: annyagovkina1@gmail.com

The results of erosive wear resistance tests of powder materials at fluid jet velocity in the range of 11-16 m/s, and at angles of attack of 45°, 90° with quartz and corundum particles of various dispersion are presented. It is determined that the mechanism of damage related to the plastic deformation of material and to the accumulation of fatigue damage.

Key words: powder materials; wear resistance; erosion damage; wear mechanism.

Введение

Порошковые материалы широко применяются для изготовления рабочих органов центробежных насосов для добычи нефти. При эксплуатации в пластовой жидкости с повышенной концентрацией абразивных частиц происходит эрозийное разрушение проточной части деталей и отказ оборудования [1].

Теоретические аспекты эрозии рассматриваются в работах многих авторов. В работе [2] дан фундаментальный обзор по методикам и расчетным моделям, из которого следует, что порошковые материалы практически не исследовались. Значительное количество работ посвящено изучению литых сталей [3].

Целью настоящей работы является исследование эрозийного износа порошковых материалов на основе железа в абразивосодержащей среде.

Материалы и методы исследования

Образцы для испытаний были изготовлены компанией «Керамет» в виде прямоугольных пластин 25x15x3мм из восьми видов порошковых материалов на основе железа (Таблица 1). Заготовки получены методом порошковой металлургии: пресование смеси порошков и спекание в атмосфере диссоциированного аммиака с одновременной инфильтрацией медью. Шероховатость образцов (R_a) – 0,14 мкм.

В качестве абразива использовали кварцевый песок и корунд различной дисперсности (рис. 1). Форма частиц кварца ок-

руглая, корунда – остроугольная.

Таблица 1
Химический состав порошковых сталей
и их микротвердость

№ материала	Марка материала	Массовая доля элементов, %						Микротвердость (HV)	
		C	Cu	Cr	Ni	Mo	S		Mn
1	ПК70Д15	0,61-0,9	13-17	–	–	–	–	–	346,3±3,1
2	ПК90Н4МГ2КД15	0,81-1,2	13-17	–	3-5	0,3-0,7	0,15-0,45	1-3	504,9±4,8
3	ПК10Х16Н9Д20	не более 0,3	18-22	15-17	8-10	–	–	–	269,6±2,4
4	ПК10Х7Н4Д20	не более 0,3	18-22	6-8	3-5	–	–	–	410,2±2,8

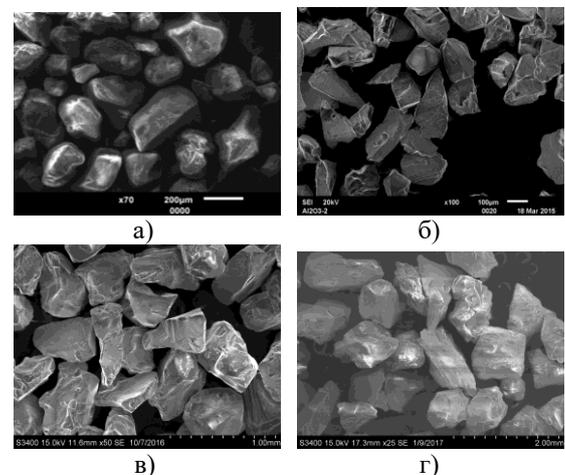


Рис. 1. Форма абразивных зерен: а – кварц; б – корунд F100; в – корунд F40, г – корунд F24

Испытание порошковых материалов на эрозионную стойкость производили на установке, разработанной в ИМАШ РАН им. А.А. Благодрава [4].

Установка выполнена по принципу центробежного ускорителя с замкнутым контуром движения модельной жидкости. Испытательная камера (рис. 2), состоит из вращающегося вала 1, на котором установлен ротор 2 с двумя каналами и износостойкими соплами 6. Образцы 5 закрепляются на роторе напротив сопел в корпусе из фторопласта под разными углами к струе жидкости. Камера закрывается прозрачной крышкой 7. Уплотнения 4 предотвращают протекание жидкости в местах контакта с вращающимся ротором.

Абразив с определенной скоростью из контейнера с дозатором поступает в смеситель, где смешивается с водой и затем смесь попадает в испытательную камеру. При вращении вала с ротором жидкость под действием центробежных сил истекает из сопел под определенным углом на образцы, производя эрозионное изнашивание последних и стекает в бак с последующим осаждением абразивных частиц в гравитационном сепараторе.

Критерием износостойкости материалов считали интенсивность изнашивания I_3 , равную отношению изменения массы образца, к количеству использованного абразива.

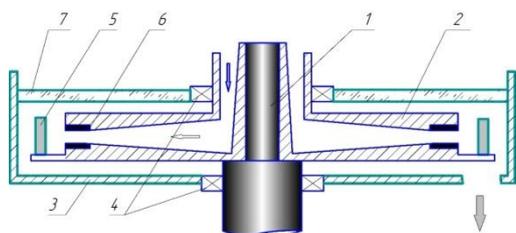


Рис. 2. Схема испытательной камеры (стрелки показывают направление движения жидкости с абразивом)

Параметры опыта: модельная среда – вода с абразивом, угол атаки 90^0 , 45^0 ; скорость потока 11, 16 м/с, концентрация абразива – 0,65...1,1 г/л, температура комнатная. Основная фракция порошка (83 %) имеет размер от 100 до 280 мкм. Средний размер частиц кварца и корунда F100 – 180 мкм. Порошок состоит из двух фракций

320 – 580 мкм и 580 – 880 мкм, количество которых отличается незначительно. Средний размер частиц корунда F40 – 530 мкм, частиц корунда F24 находится в диапазоне от 0,6 до 1,1 мм.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследуемые порошковые стали имеют феррито-перлитную структуру (рис. 3а), перлитную (рис. 3б), ферритную, (рис. 3в, 3г), с включениями меди, и легированием в зависимости от состава Ni, Cr, Mo и другими элементами.

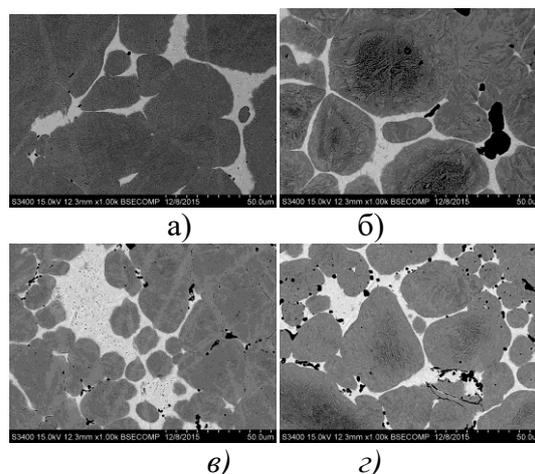


Рис.3. Микроструктура порошковых сталей: а – ПК70Д15; б – ПК90Н4МГ2КД15; в – ПК10Х16Н9Д20; г – ПК10Х7Н4Д20

На SEM-изображении изношенной поверхности видны продукты износа, гребешки выдавленного материала, образующиеся при столкновении частиц абразива с пластичным материалом и осколки частиц корунда (рис.4). Механизм эрозионного разрушения связан с пластической деформацией материала и микрорезанием при воздействии частиц абразива под углом $\sim 45^0$.

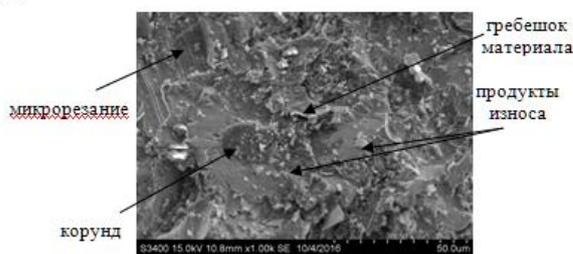


Рис.4. Микрофотография изношенной поверхности

Выявлено, что тип абразива влияет на износостойкость материалов. Например, интенсивность изнашивания материалов в воде с корундом F100 ~ в 5 раз выше, чем в воде с кварцевым песком, размеры которых практически не отличаются. Износ увеличивается при увеличении размера абразива (рис.5).

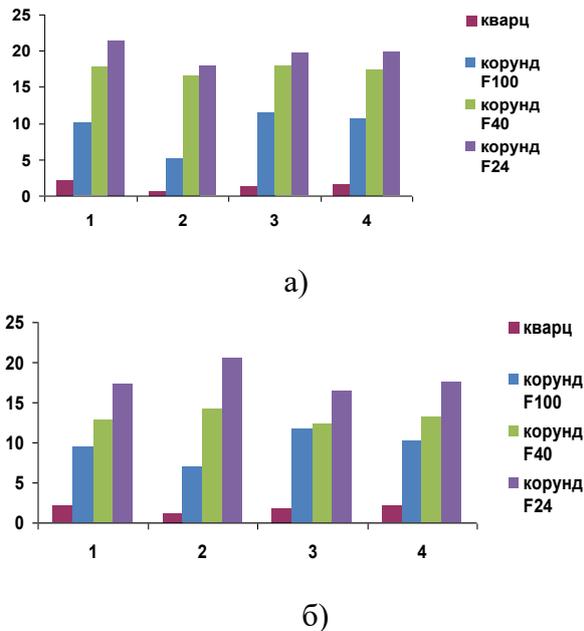


Рис.5. Интенсивность изнашивания исследуемых материалов, скорость струи 16 м/с:
а – угол атаки 45°; б – угол атаки 90°

Материалы образцов изнашиваются сильнее при угле атаки 90°, нежели при

45°, если размер частиц не превышает 200 мкм, в противном случае, тенденция меняется на диаметрально противоположную. Наименьшим износом в абразивосодержащей среде характеризуется порошок материал №2, имеющий наибольшую твердость.

Выводы:

1. Исследована структура порошковых материалов и определена их эрозионная стойкость в абразивосодержащей среде.
2. Механизм эрозионного разрушения связан с пластической деформацией материала, накоплением усталостных повреждений и микрорезанием.
3. Материал ПК90Н4МГ2КД15 имеет лучшую износостойкость.

Список литературы

1. Смирнов Н.И. Применение расчетно-экспериментальных методов повышения ресурса УЭЦН//Инженерная практика, 2011, №02, с.6-13.
2. H.C. Meng, K.C. Ludema, Wear models and predictive equations: their form and content, Wear 181-183 (1995) 443-457.
3. Jan Suchanek, Vladimir Kuklik, Eva Zdravecka, Influence of microstructure on erosion resistance of steels, Wear 267 (2009) 2092-2099.
4. Патент РФ №2444719, 2012. Смирнов Н.И., Смирнов Н.Н. Способ испытания материалов на гидроабразивный и коррозионный износ.

УДК 621.9.04

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТРЕНИЯ НА РАБОТУ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА СВЕРХНИЗКИХ СКОРОСТЯХ

Слепцов В.В., д.т.н., профессор
Аблаева А.Е., старший преподаватель

Институт комплексной безопасности и специального приборостроения Московского тех-

нологического университета

© Автор для переписки: Аблаева А.Е. e-mail: Ablaeva@mirea.ru

Работа посвящена изучению влияния трения на работу регулируемых электроприводов на сверхнизких скоростях, которое влечет за собой неустойчивые переходные процессы. Приведен пример результатов применения корректирующего устройства.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, трение, РЭП, переходный процесс.

ANALYSIS OF EFFECTS OF

FRICION ON WORK DRIVES AT VERY LOW SPEEDS

Sleptsov V.V.;
 Ablaeva A.E.

Moscow technological university. Institute of
 Complex Security and Special Instrument Making

@Corresponding author e-mail: Ablaeva@mirea.ru

The work is devoted to the study of the effect of friction on the operation of regulated electric drives at ultra-low speeds, which entails unstable transient processes. An example of the results of applying a correcting device is given.

Key words: adjustable electric drive, friction, REB, transient process.

Регулируемый электропривод является энергетической основой автоматизации технологических процессов, особенно широко он применяется в гибком автоматизированном производстве, входя в состав промышленных роботов, станков с ЧПУ, координатно-измерительных машин, лазерных технологических установок, робокар [1]. Опыт эксплуатации таких электроприводов показал, что при движении на сверхнизких скоростях иногда наблюдаются неустойчивые переходные процессы. Поэтому задача исключения таких явлений является чрезвычайно важной и актуальной.

Современный регулируемый электропривод (РЭП) представляет собой сложную электромеханическую систему, осуществляющую преобразование входного управляющего сигнала в скорость перемещения исполнительного органа. Функциональная схема РЭП, построенного по схеме с подчиненным регулированием параметров, представлена на рис.1 [1].

Приняты следующие обозначения: РС, РМ – соответственно регуляторы скорости и момента; УМ – усилитель мощности; ЭД – двигатель; ДС, ДМ – соответственно датчики скорости и момента; $U_{зс}$, $U_{зм}$ – соответственно сигналы задания скорости и момента; U_y – сигнал задания напряжения; $U_{я}$ – напряжение на якоре двигателя; Ω – скорость перемещения вала двигателя;

$U_{дс}$, $U_{дм}$ – сигналы с датчиков скорости и момента.

Математическую модель РЭП с ЭД (независимо от его типа – постоянного или переменного тока) можно представить как на рис.2 [3].

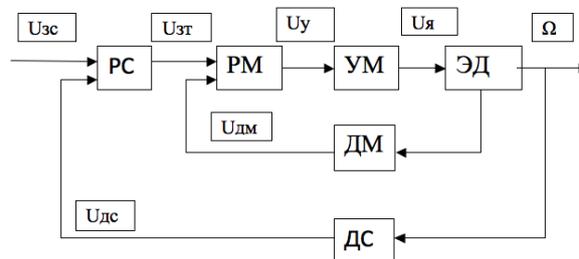


Рис.1. Функциональная схема РЭП с подчиненным регулированием параметров

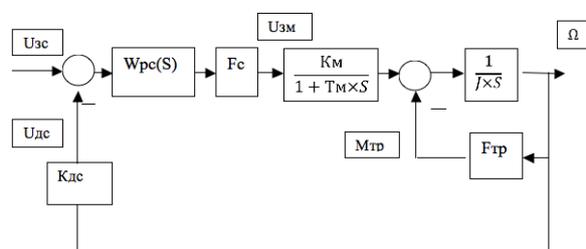


Рис.2. Структурная схема РЭП с ЭД и подчиненным регулированием параметров

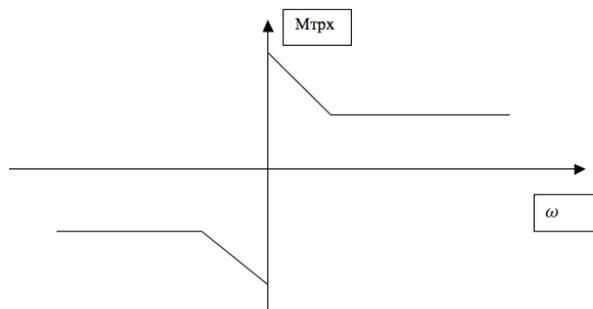


Рис.3. Характеристика $F_{тр}$

Приняты следующие обозначения: $W_{pc}(S)$ – передаточная функция регулятора скорости; F_c – нелинейность типа «ограничение» регулятора скорости; K_m , T_m – коэффициент передачи и постоянная времени контура момента; J – момент инерции ЭД; $M_{тр}$ – момент трения на валу ЭД; $F_{тр}$ – нелинейность сухого трения ЭД.

Момент сухого трения следует рассмотреть подробнее. Дело в том, что он состоит из двух моментов – момента трения покоя и момента трения скольжения [2]. Реальная регулировочная характеристика

ДПТ представлена на рис.3.

Прежде чем проанализировать влияние нелинейности $F_{тр}$ на работу РЭП (можно ожидать колебаний скорости на сверхнизких скоростях из за отрицательного наклона характеристики $F_{тр}$) необходимо определить вид регулятора скорости.

Контур скорости в РЭП обычно настраивают на симметричный оптимум [1], в этом случае:

$$W_{pc}(S) = \frac{1}{(1+2 \times T_m \times S)} \times K_M \times \frac{1}{J \times S} \times K_{дс}$$

$$= \frac{(1+4 \times \tau \times S)}{8 \times \tau^2 \times S^2 \times (1+2 \times \tau \times S)} \quad (1)$$

где $\tau = 2 \times T_m$, откуда:

$$W_{pc}(S) = \frac{J \times (1+4 \times \tau \times S)}{8 \times K_M \times K_{дс} \times \tau^2 \times S \times (1+2 \times \tau \times S)}$$

$$= \frac{J \times (1+8 \times T_m \times S)}{32 \times K_M \times K_{дс} \times T_m^2 \times S} \quad (2)$$

Электропривод с такими настройками обладает стандартными характеристиками.

В настоящее время действует ГОСТ 27803-91 «Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов. Технические требования», регламентирующий технические характеристики электроприводов для автоматизированного производства, из которых очень важной является диапазон регулирования скорости. В данной работе нас интересует поведение РЭП в нижней зоне диапазона регулирования и влияние на него трения.

Анализ технических характеристик РЭП без учета и с учетом нелинейности трения проведем методом математического моделирования с помощью пакета «Siam».

Анализируемый электропривод состоит из преобразователя типа ПРШ-101 и электродвигателя типа ДПУ-550 с параметрами:

$$J = 0,001 \text{ кг} \times \text{м}^2; K_M = 0,3 \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{А}};$$

$$T_m = 0,001 \text{ с}; K_{дс} = 0,03 \frac{\text{В} \times \text{с}}{\text{рад}};$$

$$M_{трс} = 0,1 \text{ Н} \times \text{м}; \omega_{мрх} = 0,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; M_{трх} = 0,3 \text{ Н} \times \text{м}.$$

На рис.4 приведена тахограмма переходного процесса электропривода при $U_{зс} = 0.01 \text{ В}$ и моменте трения, соответствующего рис.3. Из рисунка видно, что трение существенно ухудшает движение электродвигателя на низких скоростях – процесс носит колебательный характер, поэтому неучет характеристики F_c может существенно исказить результаты проектирования.

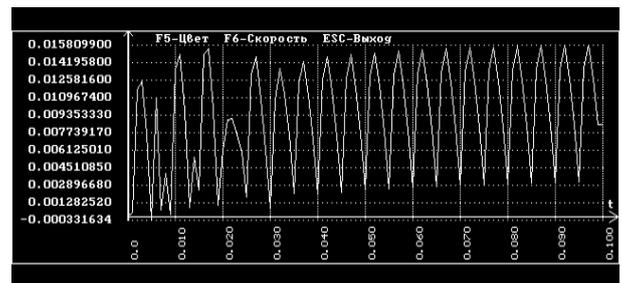


Рис.4. Тахограмма переходного процесса электропривода при $U_{зс} = 0.01 \text{ В}$ и моменте трения.

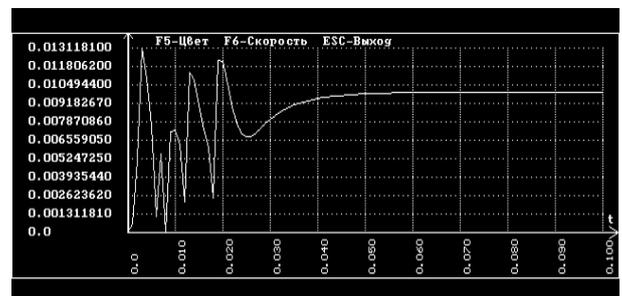


Рис.5. Тахограмма переходного процесса скорректированного электропривода при $U_{зс} = 0.01 \text{ В}$ и моменте трения.

Однако, имея в наличии достаточно сложную информационно-измерительную и управляющую систему РЭП, появляется соблазн уменьшить влияние трения на процесс движения за счет корректирующего устройства, вводящего специальный сигнал релейного типа U_k , компенсирующего влияние трения:

$$U_k = \frac{M_{трс}}{K_M} \quad (3)$$

На рис.5 приведена тахограмма переходного процесса скорректированного электропривода при $U_{зс} = 0.01 \text{ В}$ и моменте трения, соответствующего рис.3.

Из рисунка 5 видно, что трение незна-

чительно меняет характер переходного процесса электропривода – увеличивает на 15 % процентов величину перерегулирования.

Полученные результаты показывают, что с помощью предлагаемого корректирующего устройства можно обеспечить приемлемое качество движения электродвигателя РЭП на сверхнизких скоростях.

УДК 681.58.8

СИСТЕМА ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПРОТЕЗОМ РУКИ

**Воробьев Е.И., д.т.н., профессор;
 Константинов А.Н., ст. преподаватель**

Физико-технологический институт Московского технологического университета

*© Автор для переписки: Константинов А.Н.,
 e-mail: konstantinov@mirea.ru*

Работа посвящена разработке модифицированной системы управления электрическим автоматизированным протезом руки. Приводятся возможная функциональная схема системы управления и схема системы координат протеза

Ключевые слова: система управления, протез руки, функциональная схема, система целеуказания

TARGET DESIGNATION SYSTEM FOR MANAGEMENT OF ELECTRIC AUTOMATED PROSTHETIC ARM

**Vorobiev E.I.;
 Konstantinov A.N**

*Moscow technological university. Physico-
 technological institute*

Список литературы

1. Афонин В.Л., Крайнев А.Ф., Ковалев В.Е., Ляхов Д.М., Слепцов В.В. *Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования*. М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.
2. Кулешов В.С., Лакота Н.А. *Динамика систем управления манипуляторами*. М.: Энергия, 1971. – 304 с.

*@ Corresponding author e-mail:
 konstantinov@mirea.ru*

Work is devoted to development of retrofit electric control systems automated prosthetic hands. Presents possible schematic diagram of the system and management system of coordinates of the prosthesis.

Key words: Control system, a prosthetic arm with a functional layout, target designation system

Применение микроконтроллеров в системе целеуказания протеза существенно упрощает аппаратную реализацию, а также позволяет осуществлять движение механизма протеза [1] с требуемой точностью кинематических и динамических переменных и, как следствие, обеспечивает устойчивое и безопасное перемещение пациентом объекта. Схема взаимодействия пациента и устройства управления исполнительным механизмом протеза представлена на рисунке 1

Уком (t) –командный сигнал управления, может быть реализован в достаточно широких пределах: от управления нажимной стелькой ботинка до голосового управления; Уинф (t) – сигнал, характеризующий заданные значения динамических и кинематических переменных движения человека, L(t), $\alpha(t)$, $\beta(t)$ –кинематические и динамические переменные перемещения человека; Уупр(t) сигнал управления. Как видно из схемы, пациент формирует командный сигнал Уком(t), который поступает в устройство управления. Устройство управления, в свою очередь, создает управляющее воздействие к исполнительному механизму, согласно заданной программе. Особо следует выделить Уконтр(t)

– обратную связь от исполнительного устройства, позволяющую точно определить качество захвата объекта и текущие динамические характеристики механизма [2]. При этом программа, реализующая алгоритмы движения протеза конечности человека, разрабатывается по математической модели возможных перемещений. Такой способ управления исполнительным механизмом может быть реализован методом интерполяции кинематических и динамических переменных, полученных в результате моделирования перемещения протеза

руки.

Предлагаемая система целеуказания для автоматизированного протеза состоит из налобной повязки с контроллером, лазерным дальномером и системой гироскопов. Такое расположение позволяет контролировать поворот и наклон головы, линию взгляда человека и фиксировать в определённые моменты времени предметы в поле зрения для захвата протезом. Функциональная схема системы управления представлена на рисунке 2.

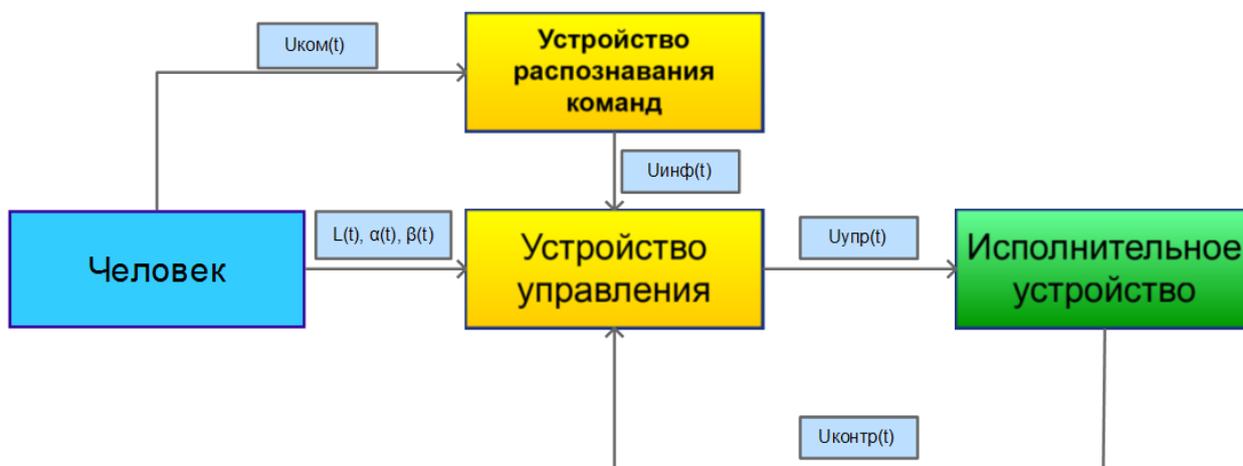


Рис. 1. Схема взаимодействия пациента и устройства управления протеза

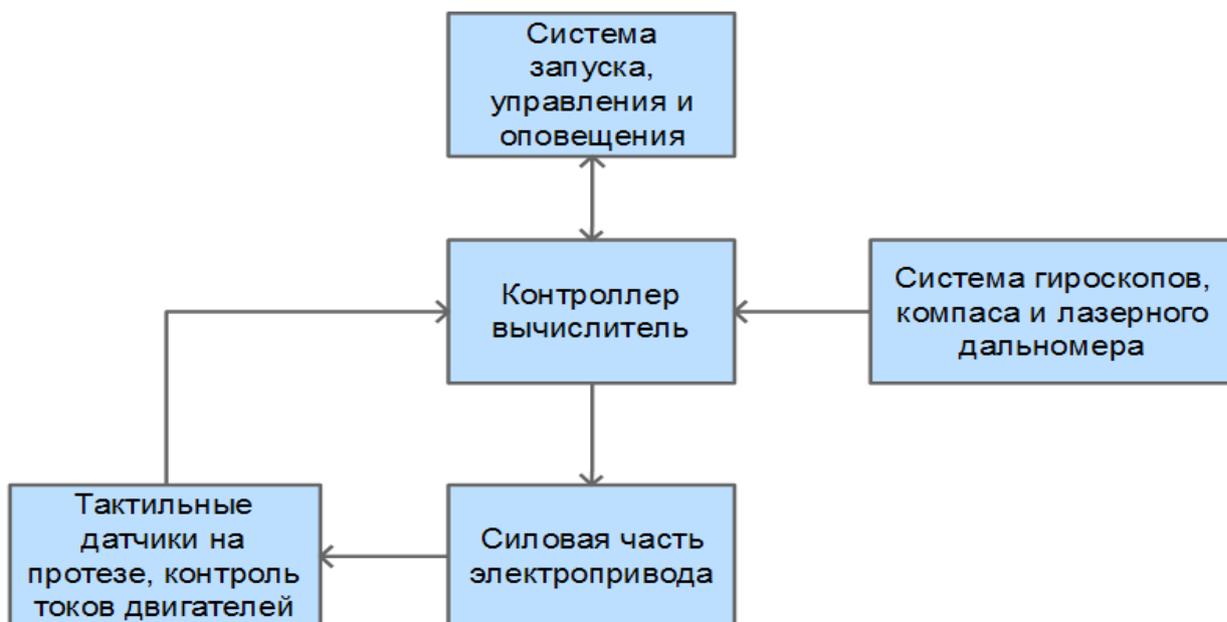


Рис. 2. Функциональная схема системы управления протезом

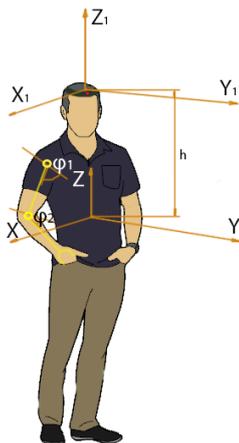


Рис. 3. Системы координат системы целеуказания и системы автоматизированного протеза

Контроллер принимает управляющее воздействие от блока управления, регистрирует текущие углы наклона и поворота головы, благодаря данным от лазерного дальномера получает расстояние до точки захвата.

На рисунке 3 показаны системы координат целеуказания ($X_1Y_1Z_1$) и системы автоматизированного протеза (XYZ), а также углы φ_1 и φ_2 отвечающие за угол поворота в узлах протеза. Автоматизированный протез работает в цилиндрической системе координат и для расчёта точки захвата объекта получает из системы целеуказания информацию о двух углах наклона головы и расстоянии до цели. Далее происходит преобразование полученных значений в систему координат протеза (1) и дальнейший расчёт траектории движения

автоматизированного протеза.

$$\begin{aligned} x &= r \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \\ y &= r \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \\ z &= h + 2 \sin \varphi_1 \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, при использовании рассмотренной, в статье системы целеуказания, возможно существенное повышение точности определения объекта, по сравнению с известными методами [3, 4], имеется возможность дальнейшего совершенствования системы управления протезом, вплоть до создания полностью роботизированного протеза верхней конечности.

Список литературы

1. Воробьёв Е.И., Скворчевский А.К., Сергеев А.М. Проблемы создания алгоритмов управления антропоморфными биопротезами рук и ног. Медицина и высокие техно-логии, №1, 2012
2. Воробьёв Е.И., Чижиков В.И., Моргуненко К.О. Протез кисти руки с пневмоприводом и адаптацией к форме объекта. М.: Вестник МГУПИ №50, 201
3. Лившиц М.М., Якобсон Я.С. Эргономический подход к созданию систем управления многофункциональными биоэлектрическими протезами. Сборник трудов ЦНИИПП. Протезирование и протезостроение, 1978, вып.45
4. Сайбель А.Г. Основы теории точности радиотехнических методов местоопределения / Сайбель А.Г. -М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1958. - 56 с.

УДК 621.757

ТАКТИЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ФОРМЫ ОБЪЕКТА ПЯТИПАЛОЙ КИСТЬЮ РУКИ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Воробьёв Е.И., д.т.н., профессор
 Чижиков В.И., к.т.н., доцент,

Моргуненко К.О., аспирант

Московский технический университет

@Автор для переписки: Моргуненко К.О.,
 e-mail: constantine-km@yandex.ru

Предложен метод аппроксимации объекта по контрольным точкам и алгоритм захвата предмета на основе тактильного распознавания его поверхности.

Ключевые слова: протез, управление, распознавание объекта, захват

TACTILE APPROXIMATION OF THE OBJECT SHAPE FIVE- FINGERED HAND ANTHROPOMORPHIC ROBOT

Vorobyov E. I.
Chizhikov V. I.
Morgunenko K. O.

Moscow technological university

The proposed method of approximation of the object the reference points and the algorithm of capture of the object based on tactile recognition of its surface.

Key words: Prosthesis, Control, Object recognition, Capture

Рассматривается задача захватываемого объекта неопределённой формы с помощью пятипалой кисти робота, оснащённой тактильными датчиками на кончиках пальцев.

Будем считать, что кисть руки робота содержит пять пальцев, имеющих по три степени свободы каждый (Рис.1) при чём шарнир A соединяющий палец с кистью имеет две взаимно перпендикулярные оси, а в шарнире B одна ось вращения. Положения звеньев пальцев определяется углами поворота в шарнирах φ_{ij} ($i=1, 2, 3; j=1-5$). Таким образом, кисть имеет 15 степеней свободы и может захватывать трёхмерный объект.

С кистью свяжем прямоугольную систему координат $Oxyz$, направим ось Oz параллельно осям пальцев в разомкнутом положении и начало системы координат будем называть «центром» кисти.

Координаты точек K_i ($i=1, 2, \dots, 5$) концев пальцев равны:

$$\begin{aligned} x_k &= a + (l_2 \cos\varphi_2 + l_3 \cos\varphi_3) \cos\varphi_1 \\ y_k &= b + (l_2 \cos\varphi_2 + l_3 \cos\varphi_3) \sin\varphi_1 \\ z_k &= c + (l_2 \sin\varphi_2 + l_3 \sin\varphi_3) \end{aligned} \quad (1)$$

здесь

a, b, c – координаты точек A_i , точек крепления пальцев на кисти;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – Углы поворота звеньев 2 и 3 в шарнирах A и B ;

l_2, l_3 – длина звеньев пальцев кисти.

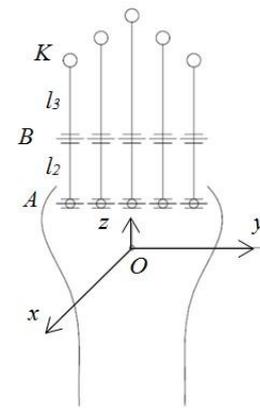


Рисунок 1. Кинематическая схема кисти руки

Алгоритм функционирования кисти

1. «Центр» кисти выводится рукой робота в заданную точку пространства.

2. Определяются значения углов поворота звеньев при совмещении концов пальцев с «центром» кисти.

Решается обратная задача о положениях пальцев.

Из (1) получим, возводим в квадрат и складываем

$$(\varphi_3 - \varphi_2) = \arccos \frac{(x_k - a)^2 + (y_k - b)^2 + (z_k - c)^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \quad (3)$$

Из (2) и (3) легко находим углы φ_2 и φ_3 .

3. Приводы всех пальцев включаются и осуществляется включение всех звеньев во всех шарнирах по заранее заданному закону. Например, при равномерном вращении углы поворота звеньев меняются по закону

$$\varphi_{ij} = \omega_{ij} t \quad (4)$$

где ω_{ij} – угловые скорости вращения звеньев.

4. При касании объекта тактильными датчиками, расположенными на кончиках пальцев происходят остановки движений пальцев и определяются углы φ_{ij} , при которых произошла эта остановка.

Это даёт возможность определять координаты точек касания концов пальцев объекта по формуле (1).

5. Имея координаты точек контакта x_k, y_k, z_k (пять точек) можно определить параметры аппроксимирующей поверхности характеризующей форму объекта.

Например, для эллипсоида имеем

$$\frac{(x+a)^2}{a_1^2} + \frac{(y+b)^2}{b_1^2} + \frac{(z+c)^2}{c_1^2} = 1 \quad (5)$$

где a, b, c – координаты центра эллипсоида, a_1, b_1, c_1 – полуоси эллипсоида

Записывая систему (5) для пяти точек контакта и можем определить из полученной системы уравнений пять постоянных параметров эллипсоида при одном свободном.

Алгоритм захвата предмета на основе тактильного распознавания его поверхности

Захват предмета с нечеткой геометрической трёхмерной поверхности схватом робота или кистью биопротеза является на сегодняшний день задачей, которую удалось решить только для ограниченного класса поверхностей. Поверхность предмета может быть как гладкой, к которой можно применить вакуумный захват, так и шероховатой, где использование упомянутого схвата неприемлемо. Кроме того, использование технического зрения для идентификации предмета далеко не всегда даёт позитивное решение, т.к. освещённость зоны размещения предмета и его оптические свойства (прозрачность, блики на поверхности, малый цветовой контраст, толщина предмета) вносит существенный шум. Тактильное распознавание, в таком случае, представляется наиболее перспективным методом поиска на поверхности тех точек, или пятен контакта, в которых возможен захват при условии создания в них соответствующих реакций. Путём перераспределения реакций на поверхности можно создать в многоточечной контактной поверхности замкнутый пространственный многоугольник сил, который обеспечивает манипулирование предметом. Поиск центра масс исследуемого предмета для трёхмерной задачи при тактильном распознавании не нужен. Конструкция схватов может обеспечить захват и фиксацию любого объекта, но это, как правило, «слепое хватание» и предназначено для манипулирования одним вариантом формы объекта с фиксированными координатами. Изменение физических параметров поверхности, формы, координат позициони-

рования предмета приводит к срыву попытки поднять предмет и, следовательно, манипулировать им. Человек при попытке проделать аналогичную ситуацию использует комбинацию чувств, основными из которых являются визуальные и тактильные. В большинстве попыток решить проблему захвата использовалось техническое зрение, которое, к сожалению, не может дать нам всю информацию о захвате. Предыдущие исследования концентрировались на зрении, а не на тактильном интеллекте. Пока что большинство исследований направлено на создание искусственного интеллекта, основанного на визуальной обратной связи. В процессе распознавания сравнивается визуальная информация с трёхмерным изображением из базы. Когда находится совпадение, подбирается оптимальный алгоритм для текущей ситуации. Кроме зрения, для будущего роботизированных захватов необходимо ещё и тактильный интеллект. Как может помочь тактильный интеллект. Известно, что осязание играет центральную роль в задачах захвата и манипуляции предметом человеком. Захват и манипулирование является силовой операцией, в которой основной информацией является контакт и сила сжатия, которую зрение не отслеживает.

Отсутствие тактильных ощущений у людей, потерявших конечности, является существенной эмоциональной проблемой, решение которой возможно при создании тактильных датчиков, воссоздающих мышечные ощущения, т.е. кинестезия должна лежать в основе решения задачи захвата и манипулирования предметом. В настоящее время отсутствуют технические решения, в которых датчики решают упомянутую проблему. Насыщение зоны захвата первичными преобразователями не приводит к расширению информации на нижнем уровне, которая позитивно преобразуется на верхнем уровне управления.

Список литературы

1. Воробьев Е.И., Чижиков В.И., Моргуненко К.О. Протез кисти руки с пневмоприводом и адаптацией к форме объекта. М.: Вестник МГУПИ №50, 2014

2. Моденов П.С. Аналитическая геометрия. М.: МГУ, 1967
3. Чижиков В.И. Захват пальцами протеза предмета с нечёткой характеристикой в ус-

ловиях его статической неустойчивости. М.: Сборник трудов V Международной конференции «ИТ-Стандарт 2014», 2014

УДК 621.825

ОЦЕНКА РЕСУРСА МНОГОСЛОЙНЫХ УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Евдокимов А.П., д.т.н., профессор

Физико-технологический институт Московского технологического университета, кафедра информационных технологий в машино- и приборостроении

*Автор для переписки: Евдокимов А.П.
e-mail: a_evdo@mail.ru*

Работа посвящена оценке ресурса торообразных многослойных оболочек вращения. На основании интегральных характеристик выведены зависимости определения ресурса с учётом квазиупругой и упругой деформации. Построены графики зависимости циклов нагружения от угла закручивания упругой оболочки.

Ключевые слова: ресурс, многослойная оболочка вращения, упругая деформация, циклы нагружения, угол закручивания.

LIFE ASSESSMENT OF MULTI- LAYERED ELASTIC SHELLS OF REVOLUTION AT THE DESIGN STAGE

Evdokimov A.P.

Physico-technological Institute, Moscow technological University, Department of information technologies in mechanical engineering and instrument making

*Author for correspondence: Evdokimov A. P.
e-mail: a_evdo@mail.ru*

The paper is devoted to the resource toroidal multilayer shells of revolution. On the basis of integral characteristics are derived based on the definition of the resource based on

the quasi-elastic and elastic deformation. Curves of dependence of loading cycles from the twist angle of the elastic shell.

Key words: resource, multi-layered sheath of rotation, elastic deformation, cycles of loading, the angle of twist.

В настоящее время упругие соединительные муфты с торообразными резинокордными оболочками (РКО) широко применяются в силовых и вспомогательных приводах подвижного состава железных дорог, буровых установках нефтегазодобывающей промышленности, судостроении. Благодаря высокой крутильной податливости и хорошей демпфирующей способности удалось в значительной степени снизить уровень крутильных колебаний в приводах.

В процессе эксплуатации под действием циклических пластических деформаций наблюдается изменение физико-механических характеристик резинокордных оболочек, обусловленных необратимыми процессами изменения структуры оболочки (резины и капроновых нитей корда), характером их связей в композиционном материале, неравномерностью вытяжки отдельных слоёв корда в процессе изготовления оболочек. Кроме того, эти оболочки отличаются сравнительно низкой долговечностью: появляются усталостные трещины в местах прилегания наружных диаметров фланцев, разрушение внутренней поверхности и т. д.

Это обусловлено тем, что расчёты на прочность и долговечность резинокордных оболочек практически отсутствуют, а их подбор осуществляется по передаваемому крутящему моменту без учёта реальных условий эксплуатации. Ресурс назначается без обоснования действующих динамических нагрузок. Актуальной ставится задача

усовершенствования существующих методов расчёта, что необходимо на стадии проектирования с целью повышения качества изделий.

Используя статистические данные выхода из строя резинокордных оболочек, можно в первом приближении определить их ресурс в зависимости от угла закручивания по общепринятому степенному уравнению долговечности [1, 2],

$$\varphi N^m = c, \quad (1)$$

где N – долговечность оболочки; m, c – параметры оболочки.

Для определения этих параметров используются условия разрушения в крайних точках: при $N = 1$ максимальный угол закручивания оболочки; при $N = 10^6$ предельный угол закручивания оболочки, который лимитируется потерей устойчивости.

Тогда расчётная долговечность будет

$$N = \left(\frac{c}{\varphi} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

При статическом и циклическом нагружении оболочек возникают петли гистерезиса (рис. 1, а), связывающие усилия (моменты или продольные силы) с деформациями (углы закручивания или осевые смещения). Эти деформации можно разделить на квазиупругие (линия б) с размахом $\Delta\varphi_{ку}$ и неупругие с размахом $\Delta\varphi_{н}$. Эти размахи соответствуют удвоенным амплитудам $\varphi_{куа}$ и $\varphi_{на}$.

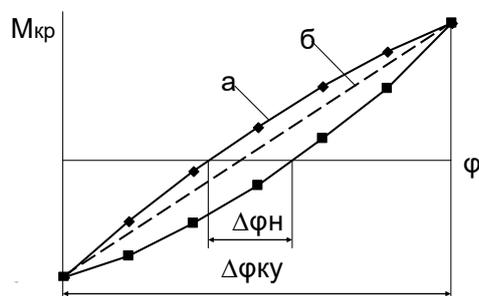


Рис. 1. Интегральные характеристики резинокордных оболочек: а – петля гистерезиса; б – квазиупругая деформация; $\Delta\varphi_{ку}$ – размах квазиупругой деформации; $\Delta\varphi_{н}$ – размах неупругой деформации

Принимая по аналогии с металлическими материалами справедливую степенную

зависимость (1) для каждой из составляющих от этой деформации, можно установить зависимость ресурса резинокордных оболочек от величины квазиупругой и упругой деформации. Определение этих величин осуществлялось на основе (1) и (2) по зависимостям типа Коффина-Мэнсона, модифицированным в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН:

амплитуда квазиупругой деформации

$$\varphi_{куа} = \frac{C_{ку}}{2 N^{m_{ку}}}, \quad (3)$$

амплитуда упругой деформации

$$\varphi_{на} = \frac{C_{н}}{2 N^{m_{н}}}, \quad (4)$$

суммарная амплитуда деформации

$$\varphi_a = \frac{C_{ку}}{2 N^{m_{ку}}} + \frac{C_{н}}{2 N^{m_{н}}} \quad (5)$$

Расчётные параметры выражений (3) – (5) в зависимости от типоразмеров резинокордных оболочек приведены в таблице.

Таблица 1

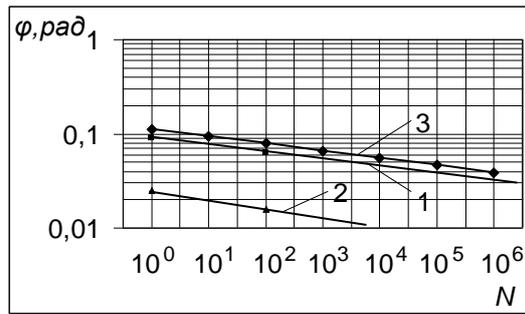
Расчётные параметры резинокордных оболочек

Параметры	Типоразмер оболочки				
	ЭМ320×80	ЭМ360×100	ЭМ400×100	ЭМ520×150	ЭМ580×130
$C_{ку}$	0,18	0,21	0,22	0,14	0,27
$C_{н}$	0,045	0,048	0,052	0,03	0,065
$m_{ку}$	0,564	0,489	0,464	0,811	0,38
$m_{н}$	1,877	1,768	1,565	3,071	1,513

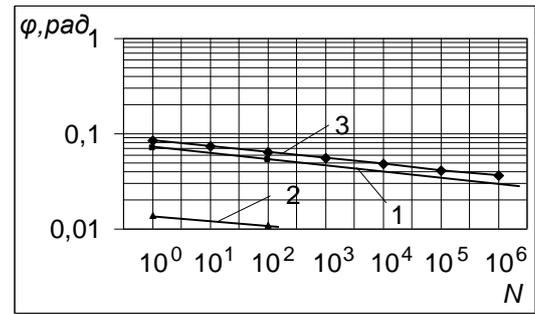
Результаты вычислений по (3) – (5) приведены на рис. 2. При квазиупругой деформации резинокордной оболочки ЭМ320×80 имеет долговечность 10^8 циклов (рис. 2, а); в случае пластической деформации – 10^4 циклов.

Долговечность резинокордной оболочки ЭМ580×130 определяется квазиупругой деформацией 10^7 циклов, упругой деформацией – 10^5 циклов (рис. 2, б).

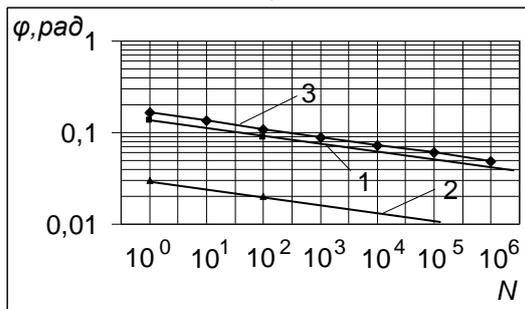
Для оболочки ЭМ520×150 долговечность имеет 10^8 циклов в случае квазиупругой деформации (рис. 2, в), 10^2 циклов – при упругой деформации порядка 0,01.



а)



б)



в)

Рис. 2. Зависимость долговечности от величины квазиупругой (1), упругой (2) и суммарной (3) деформации резинокордных оболочек: а – ЭМ320×80; б– ЭМ580×130; в – ЭМ520×150

Список литературы

1. Махутов Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования. – Новосибирск: Наука, 2008. – 523 с.

2. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и безопасность. – Новосибирск: Наука, 2005. Часть 1. Критерии прочности и ресурса. – 494 с

УДК 620.179.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В ГРАФИТОВЫХ ЭЛЕКТРОДАХ ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Шкатов П.Н.¹, д.т.н., профессор;
Дидин Г.А.², к.т.н.
Ермолаев А.А.¹, аспирант;
Родюков М.С.¹, к.т.н., доцент

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва, 107996, РФ

²ООО «ГлавДиагностика», Москва, 107023, РФ

© Автор для переписки: Шкатов П.Н.
e-mail: petr_shkatov@mail.ru

Рассмотрена задача выявления объемных дефектов в цилиндрических графитовых стержнях (электродах металлургических электропечей) электропотенциальным методом. Приведены зависимости распределения относительного добавочного потенциала на поверхности стержней при наличии в них дефектов в зависимости от их положения и размеров.

Ключевые слова: электропотенциальный метод, графитовый стержень, объемный дефект

STUDY OF THE FEATURES, AND THE DETECTION OF DEFECTS IN GRAPHITE ELECTRODES ELECTRO POTENTIALS METHOD

Shkatov P.N.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
Didin G.A.², Ph.D.
Ermolaev A.A.¹, graduate student;
Rodyukov M.S.¹, Ph.D., Associate Professor

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

²ООО GlavDagnostika, Moscow, 107023, the Russian Federation

© Corresponding author: Shkatov P.N.
 e-mail: petr_shkatov@mail.ru

The problem of detecting volumetric defects in a cylindrical graphite rods (electrodes metal logicheskikh furnaces) electro potential method. Given the dependence of the distribution of relative incremental potential on the surface of the rods in the presence of defects depending on their location and size.

Keywords: electro potential method, graphite rod, three-dimensional defect

Крупногабаритные графитовые электроды для электроплавильных печей на стадии производства необходимо контролировать на наличие дефектов типа объемных несплошностей и посторонних немаetalлических включений. В настоящее время эта задача решается средствами низкочастотной ультразвуковой дефектоскопии. Однако чувствительность метода не обеспечивает надежного выявления дефектов, залегающих на глубине более 25 мм, из-за высокого уровня рассеяния звукового пучка в графите.

В связи с этим исследовалась возможность выявления объемных дефектов электропотенциальным методом, основанном на пропускании постоянного тока I через контролируемый графитовый стержень и регистрации распределения электрического потенциала на его поверхности. Исследования проводились путем компьютерного моделирования методом конечных элементов на основе программного пакета ANSYS. Достоверность расчетов проверялась экспериментально.

На рис. 1 представлена расчетная модель. Объект контроля имеет вид графитового стержня радиусом R . Электрический ток I вводится в центральном сечении стержня в двух диаметрально противоположных точках. На стадии расчетов предполагается, что дефект расположен в том же сечении. Потенциал вычисляется на поверхности стержня по периметру центрального сечения с шагом 2° . В процессе расче-

тов вычислялось относительное изменение вносимого дефектом потенциала $V_{\text{вн}}^* = (V_r - V_0)/V_0$, где V_0 и V_r потенциал при отсутствии и наличии дефекта, соответственно.

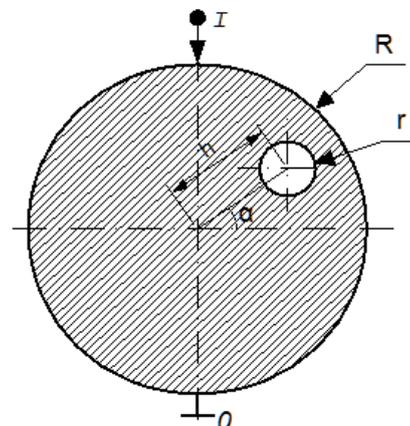


Рис. 1. Сечение образца с дефектом в виде сферического включения, либо торцевого сверления

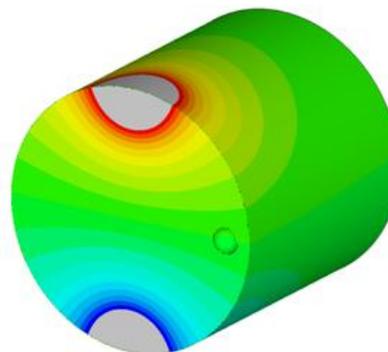


Рис. 2. Распределение электрического потенциала для одного из положений дефекта в виде сферического включения

Рассматривались два вида дефектов: сферическое включение и глухое отверстие со стороны торца стержня. Последний тип дефекта использовался для сравнения результатов расчета и эксперимента. Дефект в виде глухого отверстия сравнительно просто выполнить путем сверления вдоль оси стержня. Дефект может располагаться в любой точке центрального сечения. Его положение характеризуется углом $\alpha = \alpha$, расстоянием h от оси и радиусом r . Токвые электроды установлены на к поверхности цилиндра при $\alpha = \pm 90^\circ$.

На рис. 2 показано в виде изолиний распределение электрического потенциала для одного из положений дефекта в виде сферического включения. На рис. 3 приведено семейство распределений $V_{\text{вн}}^*$ вдоль боко-

вой поверхности (изменение α от 90° до 270°) для разных углов положения дефекта (от -90° до 90°) при фиксированных $r=0,1R$ и $h=0,4R$. В силу симметрии, распределение $V_{вн}^*$ при изменении угла наблюдения α от 270° до 360° будет аналогичным. Из приведенных зависимостей видно, что при размещении дефекта в дальней от поверхности наблюдения зоне ($\alpha = 0 \dots -90^\circ$) имеет место плавное изменение $V_{вн}^* = V_{вн}^*(\alpha)$, а при размещении в ближней зоне – образуются четко выраженные экстремумы. При этом величина максимумов при размещении дефектов в разных зонах при равных по модулю углах α – сопоставимы. Величина максимумов $V_{вн}^*$ имеет порядок 10^{-5} , которая возрастает с увеличением радиуса r дефекта. Это иллюстрируется рис. 4, где приведено распределение относительного вносимого потенциала $V_{вн}^*$ на поверхности образца для разных радиусов включения r при $\alpha=0^\circ$ и $h=0,6R$.

Достоверность выполненных расчетов проверялась путем сравнения результатов расчета и эксперимента, выполненных для дефектов в виде глухого сверления. Расхождение результатов находилось в пределах погрешности эксперимента. Фотография образца с установленными электродами представлена на рис. 5.

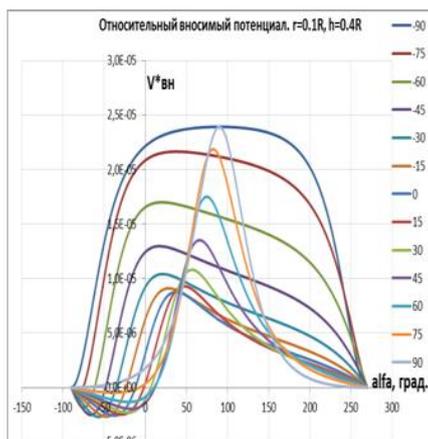


Рис. 3 – Распределение относительного вносимого потенциала $V_{вн}^*$ на поверхности образца для разных углов α ориентации дефекта при $r=0,1R$ и $h=0,4R$

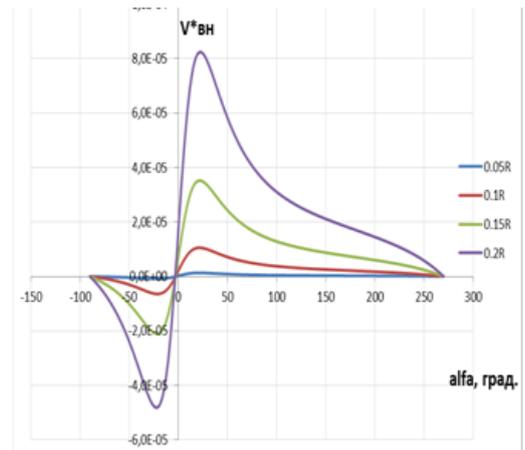


Рис. 4 – Распределение относительного вносимого потенциала $V_{вн}^*$ на поверхности образца для разных радиусов включения r при $\alpha=0^\circ$ и $h=0,6R$



Рис. 5 – Фотография образца с установленными электродами

Выводы:

1. Выполненные исследования позволили определить основные закономерности и величину изменения относительного вносимого потенциала при наличии объемных дефектов в графитовых стержнях при контроле электропотенциальным методом.
2. Полученные зависимости позволяют оценить возможности электропотенциального контроля графитовых электродов и определить целесообразность его практической реализации.

УДК 620.179.14

**РАЗРАБОТКА
КОМБИНИРОВАННОГО
МЕТОДА ДЕФЕКТΟΣКОПИИ
ГРАФИТОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ****Шкатов П.Н.¹, д.т.н., профессор;
Дидин Г.А.², к.т.н.;
Ермолаев А.А.¹, аспирант;
Родюков М.С.¹, к.т.н., доцент**¹Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва, 107996, РФ²ООО «ГлавДиагностика», Москва, 107023, РФ© Автор для переписки: Шкатов П.Н.
e-mail: petr_shkatov@mail.ru

Проведен анализ разработанного комбинированного двухчастотного метода дефектоскопии графитовых электродов, обладающего повышенной селективной чувствительностью к дефектам типа внутренних поперечных трещин. Метод основан на создании продольных переменных токов двух частот и регистрации функции распределения нормальной и угловой составляющих магнитного поля над поверхностью контролируемого электрода.

Keywords: combined dual-frequency method, a graphite electrode, transverse crack

**DEVELOPMENT OF THE
COMBINED METHOD OF FLAW
DETECTION GRAPHITE
ELECTRODES****Shkatov P.N.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
Didin G.A.², candidate of technical Sciences
Ermolaev A.A.¹, graduate student;
Rodyukov M.S.¹, Ph.D., Associate Professor**¹Moscow technological university. Physico-technological institute²ООО GlavDagnostika, Moscow, 107023, the Russian Federation© Corresponding author: Shkatov P.N.
e-mail: petr_shkatov@mail.ru

The analysis developed a combined dual-frequency method of inspection of the graphite elec-electrodes with high selective sensitivity to internal defects, such as transverse cracks. The method is based on the creation of longitudinal alternating currents of two frequencies and the registration of the distribution function of the normal and angular components of the magnetic field above the surface-controlled electrode.

Keywords: electro potential method, graphite rod, three-dimensional defect

Наибольшую опасность для эксплуатационной надежности графитовых электродов электроплавильных металлургических печей представляют дефекты типа поперечных трещин. Существующие средства неразрушающего контроля (НК), в частности, низкочастотной ультразвуковой дефектоскопии не соответствуют в полной мере требованиям практики по чувствительности и производительности контроля. Это связано с достаточно высоким рассеянием ультразвука в графите, а также необходимостью создания акустического контакта при сканировании поверхности электрода первичным преобразователем. Вихретоковый контроль с использованием проходных вихретоковых преобразователей (ВТП) недостаточно эффективен, так как возбуждаемые в этом случае вихревые токи циркулируют в плоскостях, перпендикулярных оси контролируемого стержня. С помощью накладных ВТП достаточно эффективно выявляются поверхностные и трещины, однако выявление трещин залегающих на глубине более, чем эквивалентный радиус ВТП затруднено из-за недостаточной глубины контроля при локальном возбуждении вихревых токов.

В соответствии с изложенным, целесообразно использовать комбинированный метод НК, создавая переменный продольный электрический ток путем его контактного ввода со стороны торцов, а распределение магнитного поля над поверхностью стержня измерять первичным магниточувствительным преобразователем. В простейшем случае может быть использован индукционный преобразователь в виде накладной катушки индуктивности с ферри-

товым сердечником.

При таком подходе обеспечивается создание тока требуемой величины с направлением наиболее благоприятным для выявления поперечных трещин. Величина создаваемого тока легко регулируется в широких пределах изменения рабочей частоты благодаря контактному вводу тока. Это позволяет создавать достаточно равномерно распределенный по поперечному сечению стержня ток низкой частоты.

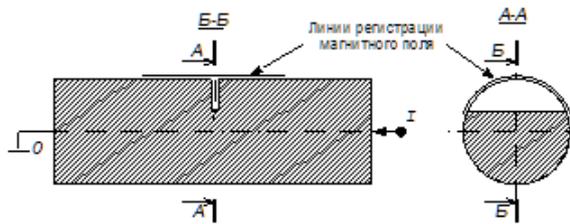


Рис. 1 – Схема контроля графитового стержня комбинированным методом

Схема контроля комбинированным методом представлена на рис. 1, где показаны продольное и поперечное сечения контролируемого стержня с поперечной трещиной. Ток вводится в стержень контактно, через его торцы. Распределение нормальной H_n и угловой H_ϕ составляющих магнитного поля изменяется при наличии дефекта.

При использовании комбинированного метода плотность тока, протекающего вдоль образца, равномерно распределяется по угловой координате и затухает от поверхности к центру. При этом большая чувствительность, при прочих равных условиях, имеет место к дефектам, расположенным ближе к внешней поверхности.

С уменьшением частоты f пропускаемого тока равномерность распределения плотности тока по глубине возрастает, что приводит к росту чувствительности к дефектам, расположенным в более глубоких слоях. Однако относительная величина изменения параметров магнитного поля под действием подповерхностных дефектов существенно меньше, чем под действием поверхностных дефектов таких же размеров, что связано с большим расстоянием от зоны искажения линий тока до точки наблюдения с чувствительным эле-

ментом. Кроме того, вариация свойств слоя графита между дефектом и поверхностью образца генерирует вариацию напряженности магнитного поля (шумовую составляющую), маскирующую дефект.

Для повышения относительной чувствительности к подповерхностным дефектам при одновременном ослаблении влияния вариации свойств слоя между поверхностью образца и дефектом перспективно применение двухчастотного метода. При этом амплитуда и фаза токов высшей и низшей частот выбираются таким образом, чтобы разность информативных параметров, например, амплитуд вносимого напряжения на бездефектном участке или векторов вносимого напряжения, характеризующихся не только амплитудой, но фазой (действительной и мнимой составляющими вектора), была минимальной. Регулируя соотношение высшей и низшей частот, можно выбрать толщину слоя, за которым проводят поиск дефектов, осуществляя таким образом, сканирование по глубине контролируемого объекта.

На рис. 2 приведены результаты расчета, выполненного для высшей частоты 16 кГц и низшей частоты 1 кГц. Нормировка проводилась по индукции угловой составляющей индукции на поверхности образца при отсутствии дефекта. В частности, при диаметре образца 0,1 м и токе 1 А индукция $B=2\text{мкТл}$. При регистрации сигнала с помощью катушки индуктивности диаметром 5 мм с числом витков $W=200$ при токе $I=20\text{А}$ наводимая ЭДС составляет 20 мВ. Таким образом, регистрируемые под влиянием дефектов сигналы при данных параметрах, как показывают выполненные расчеты, составляют величины порядка 0,1...1 мВ. Эта величина возрастает более, чем в 10 раз при использовании ферритовых сердечников.

На рис. 2, в качестве примера, показано распределение по угловой координате модуля нормированной разности угловых составляющих индукции $B_{\phi n}^*$, вносимых на высшей и низшей частотах внутренней поперечной трещиной для разных значений величины h верхнего слоя над дефектом. Видно, что с увеличением величины h верхнего слоя над дефектом регистрируе-

мый сигнал резко уменьшается. Вместе с тем, даже при глубине залегания более $0,25R$ регистрируемый нормированный сигнал составляет порядка половины процента. Для более надежной регистрации дефектов целесообразно одновременно регистрировать нормальную и угловую составляющие магнитного поля, что существенно повышает достоверность выявления дефектов.

Выводы:

1. Полученные оценки показывают приемлемую чувствительность предложенного комбинированного метода неразрушающего контроля к поперечным внутренним трещинам.

2. Комбинированный метод целесообразно реализовать при использовании двух частот, что обеспечивает повышение отношения сигнал/шум и выявление дефектов меньших размеров

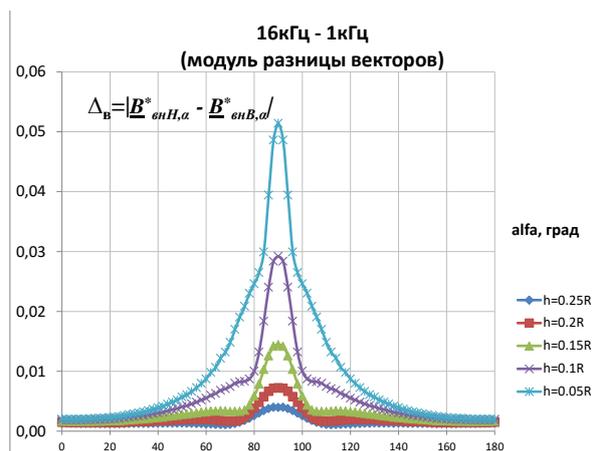


Рис. 2 – Распределение по угловой координате модуля нормированной разности угловых составляющих индукции $\underline{B}_{вн}^*$, вносимых на высшей и нижней частотах внутренней поперечной трещиной для разных значений величины h верхнего слоя над дефектом.

УДК 620.179.14

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПРОВОЛОКИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Шкатов П.Н., д.т.н., профессор;
 Родюков М.С., к.т.н., доцент¹ Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва, 107996, РФ

[@] Автор для переписки: Шкатов П.Н.
 e-mail: petr_shkatov@mail.ru

Изложен новый способ контроля качества сверхпроводящей проволоки путем непрерывного вихретокового контроля и периодического измерения отношения $Cu/non\ Cu$ по методу электропроводности. Это позволяет проводить вихретоковый контроль без использования контрольных образцов для градуировки вихретоковой системы и корректировать коэффициент усиления электронного блока вихретоковой системы в процессе длительной работы.

Ключевые слова: вихретоковый контроль, сверхпроводя-

щая проволока, измерение отношения $Cu/non\ Cu$, метод электропроводности

NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL OF THE SUPERCONDUCTING WIRE IN THE PRODUCTION PROCESS

Shkatov P.N.;
 Rodyukov M.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

[@] Corresponding author: Shkatov P.N.
 e-mail: petr_shkatov@mail.ru

The article describes a new method of quality control of the superconducting wire by continuous eddy current and periodic measurement of the ratio $Cu/non\ Cu$ by the method of the electrical resistance. This allows eddy current testing without the use of control samples for calibration eddy current system and to adjust the gain of the electronic unit eddy current system during prolonged operation.

Keywords: eddy current, superconducting wire, measuring the ratio $Cu/non\ Cu$, the method of the electrical resistance

Сверхпроводящая проволока российского производства на основе соединения Nb_3Sn применяется в магнитных системах ИТЭР. Сверхпроводящая проволока имеет внешнюю медную оболочку и сверхпроводящую сердцевину. Удельная электрическая проводимость меди $\sigma_m = 58,8$ МСм/м, а сверхпроводящей сердцевины – $\sigma_c = 5,59$ МСм/м. Десятикратное отличие σ_m от σ_c определяет возможность получения информации о качестве медного покрытия. В соответствии с действующим планом обеспечения качества (Quality Assurance Plan as foreseen for the whole of the LHC Project) в сверхпроводнике необходимо контролировать отношение $Cu/non\ Cu$ и обеспечить выявление дефектов типа пор и включений. При этом величина отношения площадей в поперечном сечении проволоки занятых медью и сверхпроводником ($Cu/non\ Cu$) должна находиться в пределах $1,0 \pm 0,1$. Сверхпроводящая проволока поставляется в виде бухт с длиной проволоки в них до 20 километров.

Для измерения отношения $Cu/non\ Cu$ при одновременном выявлении дефектов недопустимых дефектов была разработана и апробирована вихретоковая система «БОЗОН» [1]. В системе «Бозон» используется проходной вихретоковый преобразователь (ВТП). Разработанный ВТП создан с учетом специфики решаемой задачи и обеспечивает высокую стабильность измерений в течение длительного промежутка времени [2]. Однако время, требуемое для контроля многокилометровой бухты провода может оказаться довольно значительным. При этом отсутствует возможность коррекции чувствительности электронного блока с помощью контрольных образцов с известным отношением $Cu/non\ Cu$, так как извлечение контролируемой проволоки из полости проходного ВТП возможно только после перемотки всей бухты длиной до нескольких десятков километров.

Еще одна проблема состоит в необходимости контрольных образцов с известным отношением $Cu/non\ Cu$ во всем диапазоне измерений для градуировки системы контроля. Сложность получения контрольных образцов состоит в том, что они

могут быть получены только при перестройке сложнейшей технологической линии, производящей сверхпроводящую проволоку. Это связано с тем, что внешний диаметр сверхпроводящей проволоки строго постоянен, а изменение отношения $Cu/non\ Cu$ происходит за счет изменения диаметра сверхпроводящей сердцевины. Имитация изменения отношения $Cu/non\ Cu$ за счет изменения внешнего диаметра медной оболочки не допустима, так как вихретоковый сигнал при равных отношениях $Cu/non\ Cu$, но различных внешних диаметрах радикально различается. Следует отметить, что сверхпроводящая проволока имеет ряд параметров, не связанных с отношением $Cu/non\ Cu$, но оказывающих влияние на вихретоковый сигнал. К ним, например, относится шаг твиста (скручивания), изменяющийся на величину до 25%. Таким образом, необходимо иметь контрольные образцы, изготовленные с теми же параметрами, что и контролируемая проволока. Так как технология изготовления провода постоянно корректируется, возникает необходимость изготовления контрольных образцов для каждой модификации технологии изготовления сверхпроводящей проволоки.

Для обеспечения возможности коррекции коэффициента усиления электронного блока системы и ее безобразцовой градуировки был разработан способ, основанный на периодическом измерении в процессе вихретокового контроля по методу электросопротивления. Сравнительные измерения вихретокового метода, метода электросопротивления и весового метода показали, что метод электросопротивления позволяет с достаточной степенью точности определить отношение $Cu/non\ Cu$ для проволок, изготовленных с различными технологическими параметрами [3].

Схема контроля для реализации данного способа представлена на рис. 1.

В исходном состоянии электроды 11.1, 11.2, 13.1 и 13.2 не контактируют с поверхностью проволоки 8. Первоначальная градуировка выполняется с помощью комплекта контрольных образцов из сверхпроводящей проволоки, изготовленной с произвольными технологическими пара-

метрами.

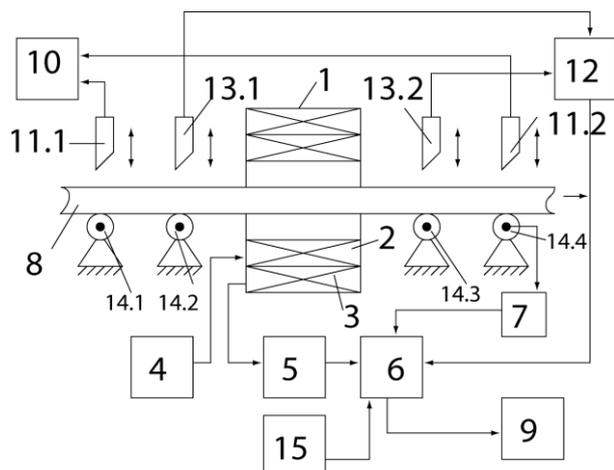


Рис. 1 – Схема вихретокового контроля с периодическим измерением отношения $Cu/nop\ Cu$ методом электросопротивления:

1-ВТП, 2,3 - возбуждающая и измерительная обмотки, 4 - генератор, 5 - измерительный блок, 6 - АЦП, 7 - датчик перемещения проволоки 8, 9 – ПК, 10 - источник тока, (11.1 – 11.2) - токовые электроды, 12 – второй измерительный блок, (13.1 – 13.2) потенциальные электроды, (14.1 – 14.4) - опорные ролики, 15 - измеритель температуры

В память ПК 9 с клавиатуры вводится длительность временного интервала dT , через который выполняется контрольное измерение. В память ПК 9 также вводится величина порогового изменения вихретокового сигнала относительно его среднего значения при последнем контрольном измерении. Она выбирается, исходя из диапазона возможного изменения отношения $Cu/nop\ Cu$, и составляет порядка 20% от него.

В процессе перемещения проволоки 8 измерительным блоком 5 проводится измерение вихретокового сигнала, а датчиком 7 перемещения регистрируется текущая координата. Сигналы с выходов блока 5 и датчика 7 через АЦП 6 поступают в ПК 9 и сохраняются в его памяти. В процессе

перемещения проволоки 8 вычисляется среднее значение вихретокового сигнала и сравнивается с его текущим значением.

В процессе перематки проволоки 8, периодически проводится ее остановка для контрольного измерения. Остановка выполняется при отклонении вихретокового сигнала от среднего значения на заданную величину или по истечении заданного промежутка времени, по истечении которого возможен уход параметров измерительного блока 5 или ВТП 1.

При контрольном измерении перематка проволоки прекращается, токовые электроды 11.1, 11.2 и потенциальные электроды 13.1, 13.2, прижимаются к поверхности проволоки 8, по ней пропускается электрический ток I и измеряется напряжение U между потенциальными электродами 13.1 и 13.2. Результат измерения поступает на второй вход АЦП 6, и далее в ПК 9, где проводится вычисление отношения $Cu/nop\ Cu$ с учетом σ_m , σ_c , D_n и ℓ по известной формуле [3].

Список литературы

1. Шкатов П.Н. Вихретоковый контроль качества сверхпроводящей проволоки в процессе производства// XX Всероссийская конференция по неразрушающему контролю и технической диагностике: тезисы докладов. Москва, 3-6 марта 2014 г. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – С. 84-86.
2. Шкатов П.Н., Абдюханов И.М., Фигуровский Д.К., Дергунова Е.И., Вихретоковый преобразователь проходного типа.- патент РФ № 2590940.- G01N 27/90.- Опубл.: 10.07.2016 Бюл. № 19
3. Крылова М.В., Балаев С.М., Дергунова Е.А., Абдюханов А.М., Воробьева А.Е., Фигуровский Д.К., Шкатов П.Н. Сравнительный анализ результатов определения параметра $Cu/Nop\ Cu$, полученного различными методами в Nb_3Sn сверхпроводниках для ИТЭР// Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы.– вып. 1(80).–2015.– С. 49-60

УДК 620.179.14

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ДЕФЕКТОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ГЛУБИНЫ БЛИЗКО РАСПОЛОЖЕННЫХ ТРЕЩИН СТРЕСС-КОРРОЗИОННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Шкатов П.Н., д.т.н., профессор;
Лисицина И.О., аспирантка;
Родюков М.С., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва, 107996, РФ

© Автор для переписки: Шкатов П.Н.
e-mail: petr_shkatov@mail.ru

Описан 6-ти электродный электропотенциальный преобразователь, разработанный для измерения глубины трещин в зонах стресс-коррозионного поражения газопроводов, имеющих близко расположенные параллельные друг другу трещины. Особенность разработанного преобразователя состоит в обеспечении достаточной абсолютной чувствительности для измерения трещин малой глубины при существенно меньшей величине пропускаемого тока, чем в аналогах. Это обеспечивает значительное уменьшение массы и габаритов электронного блока прибора.

Ключевые слова: электропотенциальный метод, измерение глубины близко расположенных поверхностных трещин.

DEVELOPMENT OF ELECTROPOTENTIAL TRANSDUCER FOR DEFECTOMETRIC ESTIMATION OF DEPTH CLOSELY LOCATED CRACK OF STRESS-CORROSIVE ORIGIN

Shkatov P.N.;
Lisitsina I.O.;
Rodyukov M.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Shkatov P.N.
e-mail: petr_shkatov@mail.ru

A 6-electrode electro-potential transducer designed to measure the depth of fractures in zones of stress corrosion corrosion of gas pipelines is described. The peculiarity of the developed converter is to provide sufficient absolute sensitivity for measuring cracks of shallow depth without increasing the value of the transmitted current.

Key words: electro-potential method, measurement of the depth of closely located surface cracks.

Глубина одиночных поверхностных трещин в металлических объектах в диапазоне от 0,5 мм до 100 мм с приемлемой для практики погрешностью измеряется электропотенциальным методом. Согласно данного метода через установленные на поверхности контролируемого объекта токовые электроды вводится электрический ток, протекающий через контролируемый участок. Информативным параметром служит напряжение, измеряемое между потенциальными электродами, как правило, жестко фиксированными относительно токовых электродов. О глубине трещины судят по относительному изменению напряжения $U^* = (U_r - U_0) / U_0$, где U_0 и U_r напряжения на бездефектном и дефектном участках, соответственно.

Известные исследования относятся к измерению глубины одиночных трещин. Вместе с тем, на практике довольно часто требуется измерить глубину близко расположенных поверхностных трещин, например, трещин стресс-коррозионного происхождения.

При измерении глубины одиночных трещин все электроды электропотенциального преобразователя (ЭПП), обычно [1], устанавливаются по одной линии (рис. 1), перпендикулярной плоскости трещины. При этом расстояние между токовыми электродами должно более, чем 2 раза превышать измеряемую глубину трещины [2]. Если соседние трещины расположены на расстоянии меньшем $0,5R_T$ – измерения «линейным» ЭПП невозможны.

Измерение глубины близко расположенных поверхностных трещин целесообразно проводить ЭПП с электродами, раз-

мещенными по углам прямоугольника (рис. 2). Достоинство подобных «прямоугольных» ЭПП состоит в том, что пары токовых и потенциальных электродов могут смещаться друг относительно друга без их приближения к соседним трещинам. При этом, как показано в работах [3–4], изменяется диапазон возможного измерения глубины трещин.

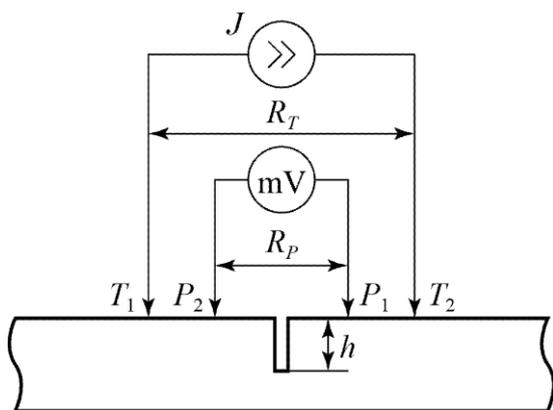


Рис. 1. Электропотенциальный преобразователь с размещением электродов по линии ("линейный" ЭПП)

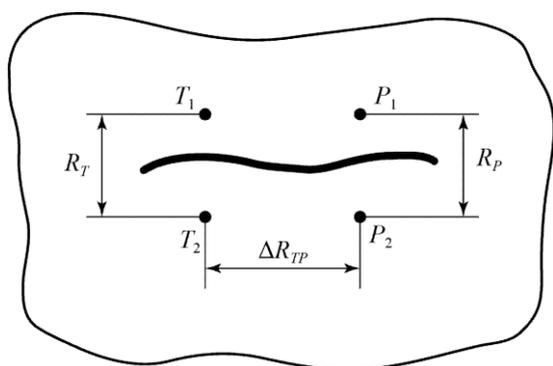


Рис. 2. Электропотенциальный преобразователь с размещением электродов по углам прямоугольника ("прямоугольный" ЭПП)

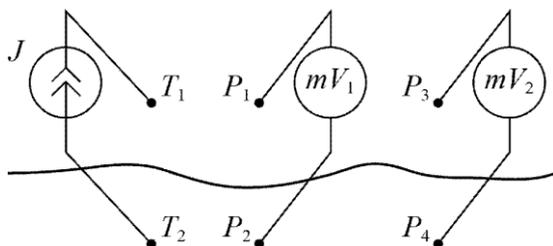


Рисунок 3. Схема измерения прямоугольным электропотенциальным преобразователем с двумя парами потенциальных электродов

ЭПП разрабатывался применительно к

измерению глубины трещин стресс-коррозионного происхождения в газопроводах. Известно, что стресс-коррозионные трещины развиваются с почти постоянной скоростью (1...4 мм/год) до середины стенки трубопровода, а затем происходит аварийное разрушение. Следовательно, при максимальной толщине газопровода 30 мм верхний диапазон измерения глубины трещин составляет 15 мм.

В соответствии с изложенными в [5] исследованиями для измерения во всем диапазоне достаточно использовать два прямоугольных ЭПП с межэлектродными расстояниями $R_{П} \times R_{Т}$ $\Delta R_{ТП}$ равными $5 \times 5 \times 5$ мм и $5 \times 5 \times 10$ мм. ЭПП с разными $\Delta R_{ТП}$ требуются для измерений, как коротких неглубоких трещин, так и более глубоких и длинных. Для обеспечения приемлемой погрешности измерения достаточно иметь два значения $\Delta R_{ТП}$ – 5 мм и 10 мм.

Однако с увеличением $\Delta R_{ТП}$ существенно уменьшается напряжение U_0 , измеряемое на бездефектном участке. Для определения U_0 без увеличения величины пропускаемого тока был разработан ЭПП с двумя парами потенциальных электродов, размещенных относительно токовых на разных расстояниях $\Delta R_{ТП1} = 5$ мм и $\Delta R_{ТП2} = 10$ мм (рис. 4, 5).

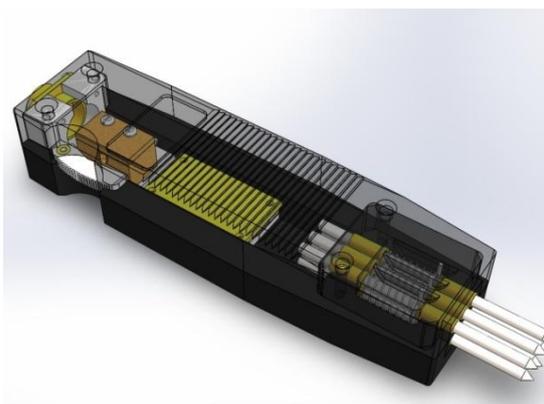


Рис. 4. Конструкция прямоугольного электропотенциального преобразователя с двумя парами потенциальных электродов

При таком построении ЭПП величину U_{02} для большего расстояния $\Delta R_{ТП2} = 10$ мм можно определить по величине напряжения U_{01} измеренной при $\Delta R_{ТП1} = 5$ мм, так как между ними имеется

однозначная связь (рис. 5). Это позволяет уменьшить величину пропускаемого тока примерно в 8 раз и за счет этого существенно снизить вес и габариты прибора.

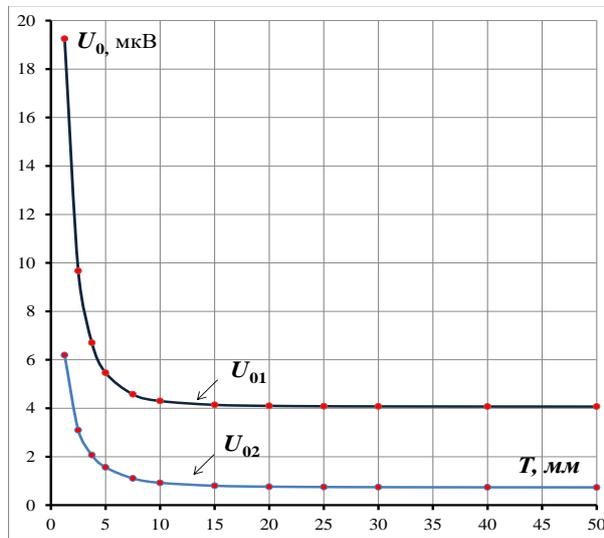


Рис.5. Изменение напряжений U_{01} и U_{02} в зависимости от толщины пластины из трубной стали 1ФГ2 ($\sigma = 4,59$ МСм/м) при $I = 1$ А, $\Delta R_{ТП1} = 5$ мм, $\Delta R_{ТП2} = 10$ мм, $R_{П} = R_{Т} = 5$ мм

Выводы

1. Разработанный 6-ти электродный электропотенциальный преобразователь позволяет измерять в газопроводах близко расположенные трещины с глубиной от 0,5 мм до 15 мм.
2. Для измерения трещин малой глубины в трубопроводах большой толщи-

ны обеспечивается возможность измерения при существенно меньшей величине пропускаемого тока, чем при использовании 4-х электродного преобразователя.

Список литературы

1. Вавилов В.П., Подмастерьев К.В., Соснин Ф.Р., Корндорф С.Ф., Ногачева Т.И., Пахолкин Е.В., Бондарева Л.А., Мужижский В.Ф. Неразрушающий контроль. Справочник в 8 томах / Под общей редакцией В.В. Клюева. Москва, 2006. Том 5 Книга 1. Тепловой контроль. Книга 2. Электрический контроль (2-е издание, исправленное).
2. Шкатов П.Н. Исследование погрешности измерения глубины трещин электропотенциальным методом // Тезисы докладов 14-ой российской НТК «Неразрушающий контроль и диагностика», М., 1996.
3. Шкатов П.Н., Елисов А.А. Измерение глубины трещин на цилиндрических поверхностях и в области галтельных переходов электропотенциальным методом // Приборы. – 2013. – №4. – С. 12-15.
4. Шкатов П.Н., Лисицина И.О. Сравнительное исследование дефектометрических электропотенциальных преобразователей с различным размещением электродов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – № 1 (315). – С.105 -110.
5. Шкатов П.Н., Лисицина И.О. Исследование возможности измерения электропотенциальным методом глубины поверхностной трещины в зоне сетки трещин. - Приборы. - №5. - 2016. - С.14 -22

УДК 629.113 (075.8)

КОНЦЕПЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ПОДВЕСКИ

Блинов Е. И., к.т.н, доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Блинов Е.И.
e-mail: blinov-ti6-mguipi@mail.ru

Распространенные методы теории подвески базируются

на описании колебаний корпуса и мостов вокруг стационарных центров их масс. Переход к концепции полюса поворота, изменяющего свое положение в пространстве, выводит теорию подвески на новый уровень.

Ключевые слова: принцип объективной реальности, модель, подвеска, система, динамика, пространственность, нестационарный полюс поворота.

THE CONCEPT OF THE SPATIAL SUSPENSION MODEL

Blinov Y. I.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: e-mail:
blinov-tib-mgupi@mail.ru

Widely used methods of the theory suspensions are based on description oscillations of the body and axles around stationary gravity centers. Transition to the concept of the curve pole with variable location takes the theory of suspension to the new level.

Key words: Principle of objective reality, model, suspension, system, dynamic, spatiality, pole with variable location

Важнейшим свойством колесных машин (КМ) является плавность хода, обеспечиваемая системой поддрессоривания (подвеской) совместно с пневматическими шинами, которыми оборудованы колеса всех неспециальных автомобилей. Здесь заметим, что быстроходные гусеничные машины (ГМ) имеют опорные катки с резиновыми бандажами, параметры упругости и демпфирования которых качественно не отличаются от пневматика. Отсюда модель, все выводы и зависимости могут быть применимы и в отношении ГМ. В дальнейшем термином «подвеска» будет обозначаться система подвеска-шина; иное будет оговорено.

Для обеспечения приемлемой плавности хода и исследования показателей этого свойства реально существует лишь один путь – математическое моделирование колебаний масс подвески (физическое и аналоговое моделирование в расчет не берутся, поскольку используются только тогда, когда математически описать систему невозможно). В то же время следует иметь виду, что модель подвески неотделима от модели двигательной-трансмиссионной установки (ДТУ) – это взаимосвязанные системы.

Прямая силовая связь от ДТУ к подвеске изображена в виде спирали (рис.1) и осуществляется через реактивные моменты $T_{ri\text{ л, п}}$, $i=1, \dots, s$, s – число ведущих осей, вызывающие колебания корпуса, обратная – через опорные реакции $R_{zi\text{ л, п}}$, формирующие момент T_a сопротивления движению; индексы «л», «п» означают принадлежность параметра к левому, правому бортам машины. Численно каждый из реактивных моментов равен моменту

$T_{уд}$ упруго-демпфирующих сил на «своей» ветви привода ведущих колес.

В основополагающей работе [1] по теории подвески считается, что колебания в продольной и поперечной плоскостях не связаны; в плоскостной схеме угловые колебания кузова в продольной плоскости, описываемые углом γ , происходят вокруг поперечной оси, проходящей через его ц.м.; угол колебаний не превышает 5° , вследствие чего можно положить $\sin \gamma = \gamma$. Кроме того, делается и ряд других допущений (линейность характеристик всех элементов; сохранение постоянного контакта колеса с дорогой и т.п.), позволяющих решать задачу аналитически. Однако в случае численного решения системы ОДУ, которой описываются колебания масс корпуса и мостов, можно пренебречь этими допущениями, и тогда они будут учитываться автоматически.

Отдельно отметим, что в [1] был сделан вывод о несвязанности угловых колебаний корпуса в продольной и поперечной плоскостях, что на долгие годы привело к ослаблению внимания к проблеме разработки пространственной модели подвески. По- существу, предлагалось ограничиться плоскостной («велосипедной») моделью, но это противоречит фундаментальному научному принципу объективной реальности, согласно которому адекватная модель может быть построена только на основе учета реальной симптоматики изучаемого явления. Тогда целью публикации можно заявить построение динамической модели подвески (плавности хода) в соответствии с принципом объективной реальности.

Таким образом, принципиально указанная модель должна включать (задачи работы): а) пространственность связей; б) колебания корпуса относительно п.п.; в) алгоритм нахождения п.п., изменяющего свое положение в пространстве; г) изменение угла колебаний корпуса без ограничения его величины; д) количество осей $2 \leq n \leq K$, где величина параметра K ограничена только требованиями технического задания.

Принципиально важным среди перечисленных задач является переход от описа-

ния угловых колебаний вокруг ц.м., не изменяющего свое положение относительно корпуса (читай – в пространстве), к концепции нестационарного п.п., поскольку это коренным образом меняет устоявшиеся представления о методологии проектировании подвески.

Учитывая сказанное, опишем динамическую схему (рис. 1) системы, движущейся на прямолинейной траектории вдоль вектора V . Динамическими параметрами системы являются массы m , моменты инерции J , коэффициенты C и K жесткостей и демпфирования. На рисунке в целях реализации модели в общем виде показан любой i -й мост; $i=1, \dots, n$, здесь n – число осей. Массы m^K недеформируемой платформы-корпуса и m_i^M мостов связаны между собой и опорной поверхностью через упруго-демпфирующие связи подвески ($C_{\text{пн}i \text{ л,п}}$, $K_{\text{пн}i \text{ л,п}}$) и шин ($C_{\text{шн}i \text{ л,п}}$, $K_{\text{шн}i \text{ л,п}}$); надстрочные индексы «к», «м» означают принадлежность параметра к корпусу,

мосту. Плоскопараллельное движение корпуса и мостов описывается следующими независимыми координатами перемещений: корпуса Z, γ, α^K – вертикальное ц.м., угловые в продольной и поперечной плоскостях; мостов ξ_i, α_i^M – вертикальное ц.м. и поперечно-угловое. Z и ξ_i откладываются от плоскости Π , изображенной пунктиром, и линий $O_i^M - O_i^M$ положения корпуса и мостов при реакциях $R_{zi \text{ л,п}} = 0$ (плоскость Π и линии $O_i^M - O_i^M$ при нулевых реакциях расположены строго горизонтально; «рысканье» машины, описываемое изменением координаты β , не вызывается силовыми факторами, действующими в подвеске, и поэтому не обсуждается). К независимым также относится координата $q_{i \text{ л,п}}$ неровности дороги при начальном значении, равным нулю.

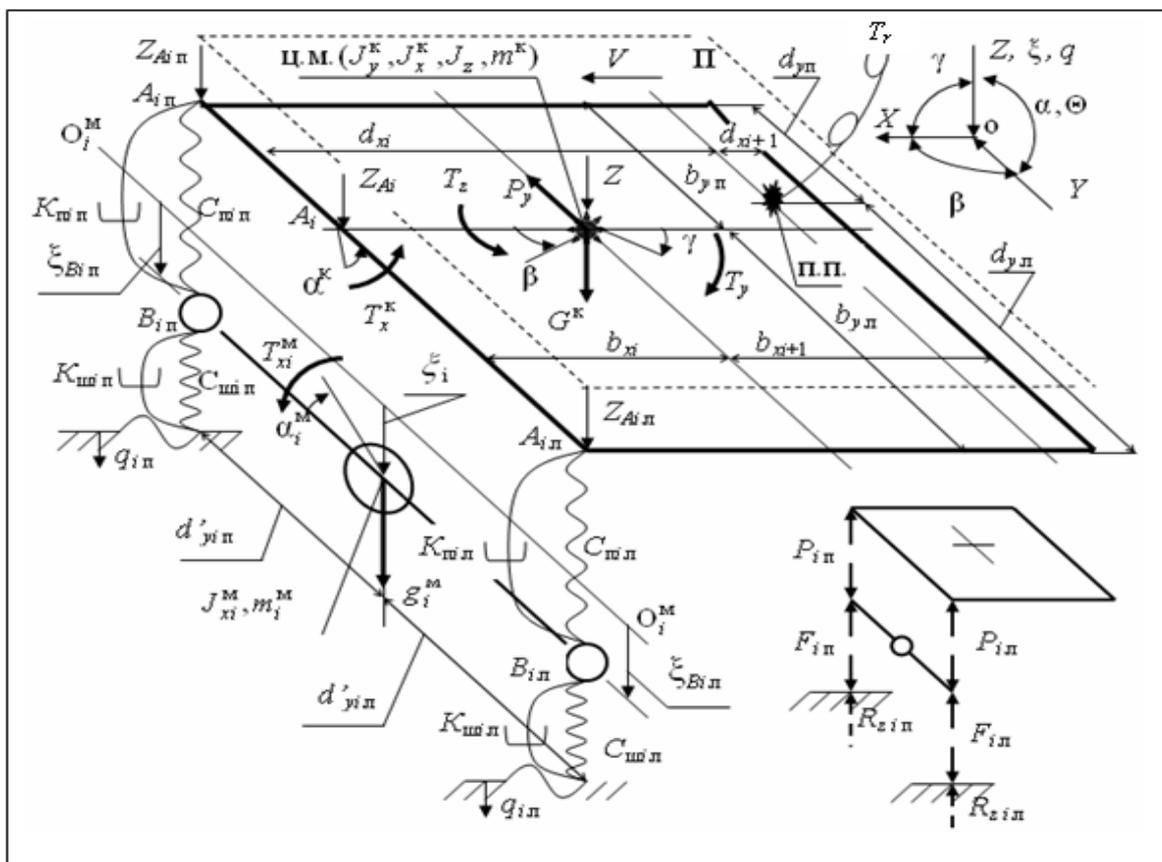


Рис. 1. Динамическая модель подвески
 (ц.м. – центр масс, п.п. – полюс поворота; внизу справа дана схема с динамическими силами, введенными вместо отброшенных связей)

Как видим, модель подвески является пространственной. Подчеркнем, что это свойство доставляется не протяженностью корпуса по осям X, Y, Z , а исключительно пространственным расположением связей, ибо если недеформируемое тело имеет протяженность по указанным осям, то это условие необходимое, но недостаточное, поскольку не меняет классификационной принадлежности «жесткой» одномассовой модели.

Зная реакции $R_{z\ io}$ в статике, определим начальные значения независимых координат для продольной плоскости: $\gamma_o = \arcsin[(R_{z\ no}/C_{\pi n}) - (R_{z\ 1o}/C_{\pi 1})]/L$; $Z_o = (R_{z\ 1o}/C_{\pi 1}) + \sin \gamma_o b_{x\ 1}$; $\xi_{io} = R_{z\ io}/C_{\pi i}$. Для поперечной $\alpha_o^k = \arcsin[(R_{z\ io\ л}/C_{\pi i\ л}) - (R_{z\ io\ п}/C_{\pi i\ п})]/(b_{y\ л} + b_{y\ п})$;

$\alpha_{io}^M = \arcsin[(R_{z\ io\ л}/C_{\pi i\ л}) - (R_{z\ io\ п}/C_{\pi i\ п})]/(d'_{y\ i\ л} + d'_{y\ i\ п})$.

После вычисления начальных условий составим математическое описание расчетной схемы. Математическое ядро модели подвески состоит из системы ОДУ, которая по Д'Аламберу на прямолинейной траектории записывается в виде (1)-(5):

$$J_{\pi\ y}^k \ddot{\gamma} = \sum_{\pm}^n (P_{in} + P_{in}) d_{xi} \cos \gamma + T_y^k \quad (1)$$

$$m^k \ddot{Z} = - \sum^n (P_{in} + P_{in}) + G^k \quad (2)$$

$$J_x^k \ddot{\alpha}^k = \sum^n (P_{in} d_{y\ л} - P_{in} d_{y\ п}) \cos \alpha^k \cos \Theta + T_x^k \quad (3)$$

$$J_{xi}^M \ddot{\alpha}_i^M = [(F_{i\ л} - P_{i\ л}) d'_{y\ i\ л} + (P_{i\ п} - F_{i\ п}) d'_{y\ i\ п}] \cos \alpha_i^M \cos \Theta - T_{xi}^M \quad (4)$$

$$m_i^M \ddot{\xi}_i = (P_{i\ л} - F_{i\ л}) + (P_{i\ п} - F_{i\ п}) + g_i^M \quad (5)$$

Как видно из всех уравнений угловых колебаний, внутренние силы действуют относительно п.п. Переход к концепции п.п. переводит решение задачи в принципиально иную плоскость. (В скобках отметим, что аналогичный вывод о нестационарности п.п. содержится также и в работе японских авторов [2]). Одним из путей решения задачи является использование бортовой ИУС с обратной связью, когда ДУ (1) – (5) совместно с моделью ДГУ в режиме реального времени реализуются бортовым процессором с целью определения закона изменения параметров $K_{\pi i\ л, п}$, $C_{\pi i\ л, п}$ с одновременной их оптимизацией по критерию равенство нулю коэффициентов связи колебаний вдоль независимых координат. Это означает применение плавно (неступенчато) регулируемой и управляемой подвески в отношении параметров $K_{\pi i\ л, п}$, $C_{\pi i\ л, п}$, но отличием в данном случае является раскрытие конкретного пути ее создания.

Список литературы

1. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. - М.: Машиностроение, 1972. 392 с.
2. «On development of vehicle dynamics by means of a digital computer». SAE – Preprint, 1969, № 690233.

УДК 629.113 (075.8)

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ПОДВЕСКИ

Блинов Е. И., к.т.н, доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Блинов Е.И.
 e-mail: blinov-tib-mgupi@mail.ru

Разработка алгоритма определения положения в пространстве нестационарного полюса поворота является ключевым вопросом в разрабатываемой пространственной динамической модели подвески.

Ключевые слова: полюс поворота, модель, подвеска, динамика

ON THE DETERMINATION OF THE POSITION OF THE ROTATION POLE IN THE SPATIAL SUSPENSION MODEL

Blinov Y. I.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@ Corresponding author:
e-mail: blinov-tib-mgupi@mail.ru

The development of an algorithm for determining the position in the space of a nonstationary rotation pole is a key issue in the developed spatial dynamic suspension model.

Key words: Pole turn, model, suspension, dynamics.

В предыдущей статье была представлена концепция пространственной модели подвески машин многих классов, в частности колесных и гусеничных машин (КМ и ГМ). Так же отмечалось, что ключевым моментом является обоснование концепции нестационарного полюса поворота (п.п.) Необходимо показать, что п.п. изменяет свое положение в пространстве, обуславливая тем самым изменение расстояний d_{xi} . (если обозначения невозможно найти на рисунках данной статьи, то надо обратиться к рис.1 предыдущей статьи). Для упрощения сделаем это в отношении плоскостной модели колебаний корпуса в продольной плоскости. Обратимся к рис. 1, на котором изображены два положения корпуса AB в соседние моменты времени – начальное и текущее (индексы «о» и «т»). Рассмотрим отдельно фазы углового и линейного перемещения корпуса AB в его плоскопараллельном движении. Пусть в начальный момент времени корпус повернулся вокруг ц.м. с координатами X_o, Z_o и занял положение, отмеченное штрихпунктиром. Затем корпус сместился параллельно самому себе и занял положение $A_t B_t$, образовав точку пересечения – это и есть п.п., который переместился из точки с координатами X_o, Z_o в точку X_t, Z_t и вокруг которого в следующий момент времени повернется корпус. (В скобках заметим, что теория плоскопараллельного движения

не предполагает фазу поворота исключительно вокруг ц.м.) Далее корпус опять переместится параллельно самому себе, образуя новое положение п.п., повернется вокруг него, и т.д., но при этом каждое последующее положение п.п. никогда не совпадет предыдущим. Таким образом показано, что п.п. изменяет свое положение в пространстве, находясь в точке пересечения двух соседних положений корпуса. В итоге, задача нахождения координат п.п. сводится к определению точки пересечения двух прямых. Выберем оси координат: ось X направим по линии $O-O$, а ось Z_n – вдоль линии сжатия Z_n ; в плоскостной модели в линию $O-O$ вырождается плоскость Π ; здесь индекс n – номер последней оси. Тогда (рис. 1) система двух уравнений прямой запишется в виде

$$Z_T = Z_{no} - tg \gamma_o X_T; \quad (1)$$

$$Z_T = Z_{nt} - tg \gamma_t X_T,$$

где знак «-» необходим для учета знака угла γ . Так как параметры $Z_{no}, \gamma_o, Z_{nt}, \gamma_t$ в каждый момент времени известны, нетрудно определить координаты Z_T и X_T , разности $(Z_T - Z_o)$ и $(X_T - X_o)$ и расстояние r от ц.м. до п.п.:

$$r = \sqrt{(Z_T - Z_o)^2 + (X_T - X_o)^2}, \quad (2)$$

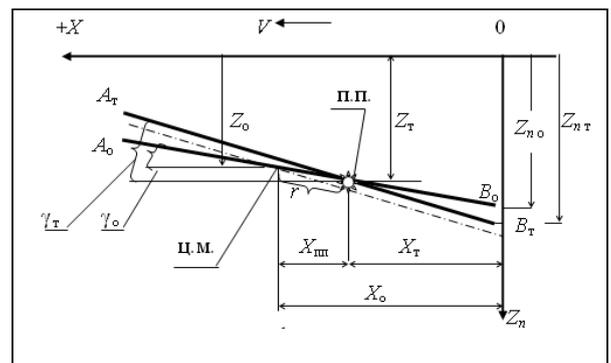


Рис. 1. К определению положения полюса поворота

через которое вычисляются момент инерции корпуса относительно п.п.

$$J_{пп} = J_{цм} + m^k r^2 \quad (3)$$

и рычаги сил момента T_y^k . Но главное то, что параметр r используется для переопределения расстояний

$$d_{xi} = r \mp b_{xi}, \quad (4)$$

причем знак «-» используется, если п.п.

расположен впереди ц.м., и наоборот; в случае $r < b_{xi}$ расстояние d_{xi} берется по модулю. Отметим, что в теоретическом плане речь идет о введении новых зависимых переменных d_{xi} , которые являются согласно

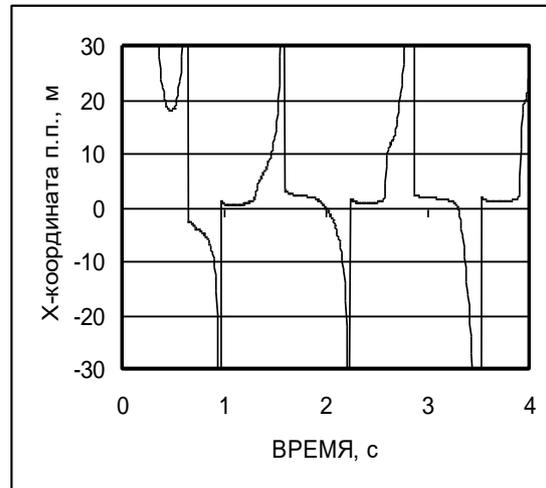
(1), (2) и (4) функциями γ и Z ; в этом смысле d_{xi} абсолютно равновесомы $Z_{Ai \text{ л.п.}}$.

Оценим пределы смещения п.п., так как если бы оно было лишь вблизи ц.м., то проблема непостоянства п.п. имела бы чисто теоретический интерес. На рис. 2 представлено изменение координаты $X_{пп} = (X_T - X_0)$ (рис. 1), характеризующей положение п.п. относительно ц.м. в горизонтальной плоскости для автомобиля бхб массой 7,5 т при разгоне на первой передаче. В целях корректности расчетного эксперимента подвеска и ее схема взяты симметричными (средняя опора совпадает с ц.м.), поскольку иное провоцирует большую интенсивность колебательного процесса.

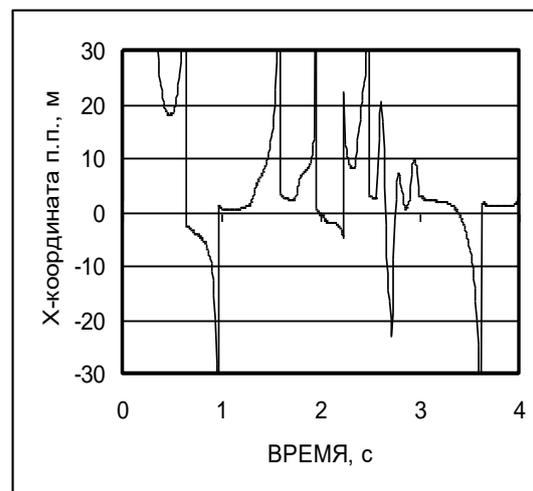
Как видно из рис. 2, а, п.п., строго говоря, никогда не совпадает с ц.м. – пересечение графика $X_{пп} = f(\tau)$ с нулевой ординатой, соответствующей неизменяющейся горизонтальной координате ц.м., не может считаться устойчивым положением системы. Около 32 % времени п.п. располагается в пределах базы машины (координата $X_{пп}$ лежит внутри базы при своих значениях $\pm 2,3$ м). Все остальное время п.п. находится вне базы или на значительном удалении от нее (это видно по пикам, уходящим вверх и вниз), по-существу, стремясь к бесконечности, если иметь ввиду соотношение величины координаты $X_{пп}$ и длины базы. В пиковой точке корпус изменяет на противоположное направление своего вращения, а п.п. переключается, причем, при подходе к этой точке угловое движение корпуса замедляется, и в соседние моменты времени он почти параллелен самому себе, чем и объясняется уход в «бесконечность» координаты $X_{пп}$. В период трогания с места ($\tau < 0,3$ с) при интенсивных колебаниях в трансмиссии $X_{пп} > 30$ м, и поэтому при $\tau < 0,3$ с кривая процесса на графике отсутствует.

При проезде выпуклой полусинусоиды высотой 0,2 и длиной 1 м, начинающемся

при $\tau = 1,7$ с, п.п. находится внутри базы машины по времени еще меньше – это наглядно видно из рис. 2, б. Поэтому дальнейший анализ этих рисунков не представляет интереса.



а)



б)

Рис. 2 Иллюстрация изменения положения п.п. в пространстве:
 а) движение по ровной дороге б) движение через неровность

В заключение докажем адекватность принятой концепции и математического описания пространственной подвески. Как известно, подвеска предназначена для связи колес или мостов с рамой, обеспечения плавности хода и гашения колебаний после проезда препятствия. Количественно плавность хода оценивается перемещениями, скоростями, ускорениями и т.д. соответствующих точек корпуса. Существует и группа физиологических показателей, в

которой наиболее адекватным можно считать собственную частоту колебаний корпуса. Для человеческого организма привычна частота около 1 Гц.

На рис. 3 показаны зависимости протекания величин опорных реакций под колесами разных бортов каждого моста автомобиля МАЗ-5335 массой 14950 кг (пояснения в подрисуночных надписях). Как видим, здесь наглядно прослеживается двухчастотный характер собственных колебаний системы корпус-мосты с наложением высокочастотных колебаний мостов на низкочастотные колебания корпуса. Из рисунка видно, что линейная частота собственных колебаний мостов, которые начинаются после проезда препятствия задним колесом, составляет около 8 и 9 Гц для переднего и заднего мостов соответственно, а корпуса – 1,6 Гц, что не расходится с общеизвестными данными (частоты корпуса современных автомобилей равны 1–3 Гц, мостов 7–12 Гц).

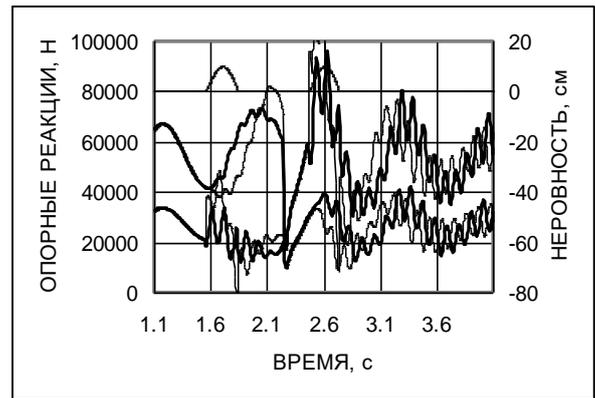


Рис. 3. Опорные реакции колес автомобиля МАЗ-5335:

неровность - полусинусоида высотой 0,1 и длиной 1,2 метра (профиль неровности выведен в верхней части рисунка); тонкие кривые – реакции под колесами левого борта; две кривые с большими значениями ординат – реакции заднего моста; неровность преодолевается колесами левого борта; реакция содержит скоростную составляющую; полностью симметричная в поперечной плоскости схема подвески

УДК 621.792.6

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ РАДИОНУКЛИДНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Гаркуша Ю.А. к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Гаркуша Ю.А.
e-mail list510@mail.ru

В статье представлены расчетные зависимости для оценки максимальной температуры нагрева поверхности радионуклидных тепловыделяющих элементов, используемых в теплогенераторах космических ядерных энергоустановок.

Ключевые слова: радионуклидный тепловыделяющий элемент, максимальная температура нагрева поверхности

сти

ASSESSMENT OF THE MAXIMUM TEMPERATURE OF HEATING SURFACES OF THE RADIO NUCLIDE HEATALLOCATING ELEMENTS

Garkusha Yu.A.

Moscow technological university. Phisico-technological institute.

© Corresponding author e-mail: list510@mail.ru

Settlement dependences for an assessment of the maximum temperature of heating of a surface of the radio nuclide heatallocating elements used in heatgenerators of space nuclear power installations are presented in article.

Keywords: the radio nuclide heatallocating element, the maximum temperature of heating of a surface.

Радионуклидные (радиоизотопные) источники энергии специфичны для косми-

ческих ядерных энергоустановок и широко применяются энергоустановках малой мощности [1]. Теплота, выделяемая в теплогенераторе энергоустановки при радиоактивном распаде радионуклидов, преобразуется далее в электроэнергию. При этом могут использоваться машинные и безмашинные схемы преобразования теплоты в электроэнергию. Топливо, содержащееся в тепловыделяющих элементах (ТВЭЛ) радионуклидных теплогенераторов, может использоваться в любом количестве и в любой конфигурации так как, в отличие от ядерных реакторов, для них не требуется создание критическихборок [1]. В данной работе рассматривается задача оценки максимально возможной температуры нагрева поверхности ТВЭЛ, зависящей от формы, размеров ТВЭЛ и свойств используемого в них радионуклида.

Тепловая мощность одного ТВЭЛ, т.е. количество теплоты, выделяемой им в единицу времени, определяется по зависимости

$$N_T = N_{уд} m = N_{уд} \rho V, \quad (1)$$

где $N_{уд}$ – удельная тепловая мощность радионуклида, используемого в ТВЭЛ (Вт/кг);

m , ρ , V – масса, плотность и объем радионуклида в ТВЭЛ.

Максимальная температура нагрева поверхности любого ТВЭЛ будет при отводе выделяемой им теплоты в окружающую среду только лишь за счет излучения. При этом мощность теплового излучения с нагретой поверхности определяется по известной зависимости:

$$N_{изл} = \varepsilon \sigma T^4 F, \quad (2)$$

где ε – степень черноты излучающей поверхности;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт / (м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана;

T , F – температура и площадь излучающей поверхности.

Поскольку время нагрева ТВЭЛ намного меньше периода полураспада радионуклида, то в оценочных расчетах можно принять $N_{уд} \approx \text{const}$. При отводе теплоты только за счет излучения температура поверх-

ности ТВЭЛ будет возрастать до тех пор, пока мощность теплового излучения с этой поверхности $N_{изл}$ не сравняется с выделяемой тепловой мощностью N_T . Записав это равенство с учетом зависимостей (1) и (2), получим из него зависимость для приближенной оценки максимальной температуры нагрева поверхности ТВЭЛ разных геометрических форм и размеров:

$$T = \left(\frac{N_T}{\varepsilon \sigma F} \right)^{1/4} = \left(\frac{N_{уд} \rho V}{\varepsilon \sigma F} \right)^{1/4}. \quad (3)$$

Из зависимости (3), следует, что температура T зависит от величины отношения объема ТВЭЛ к площади его поверхности V/F , которое, как известно, будет максимально для сферы. Поэтому максимальная температура нагрева поверхности T будет (при прочих равных условиях) у ТВЭЛ сферической формы. Для этой формы ТВЭЛ

$$V/F = R/3, \quad (4)$$

где R – радиус ТВЭЛ.

ТВЭЛ сферической формы, имеют одинаковую температуру во всех точках поверхности при отводе от них теплоты только за счет излучения. Подставляя далее (4) в (3), получим следующую зависимость для определения максимальной температуры нагрева поверхности ТВЭЛ сферической формы

$$T = \left(\frac{N_{уд} \rho R}{3 \varepsilon \sigma} \right)^{1/4}. \quad (5)$$

Зависимость (5) может использоваться также при выборе максимально допустимого радиуса R сферических ТВЭЛ при заданной допустимой температуре нагрева их поверхности T с учетом особенностей конкретного радионуклидного теплогенератора. Более точные результаты могут быть получены с учетом теплового расширения конкретного материала ТВЭЛ при его нагреве.

Список литературы

1. Ерохин Б.Т. и др. Внутрикамерные процессы и преобразование энергии в космических энергосистемах. – М.: ВИНТИ РАН, 2001, 480 с.

УДК 621.5

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В УСТРОЙСТВАХ КАЛИБРОВКИ ГАЗОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Кадошкин В.В., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

*Автор для переписки: Кадошкин В.В.
e-mail: vvkadomkin@yandex.ru*

Работа посвящена моделированию рабочих процессов в устройствах калибровки газовых расходомеров с воздушным аккумулятором давления постоянного объема и переменного объема с подвижным поршнем. Подготовлена программа расчетов и приведены результаты численных расчетов для указанных моделей устройств калибровки газовых расходомеров.

Ключевые слова: моделирование, газовые расходомеры, параметры рабочих процессов.

CALCULATION OF PARAMETERS OF WORKING PROCESSES IN THE GAS FLOWMETER CALIBRATION DEVICES

Kadomin V.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

Corresponding author e-mail: vvkadomkin@yandex.ru

The work is aimed to the modeling of workflow in a gas flowmeter calibration device with air accumulator pressure constant volume and variable volume with a movable piston. Program calculation and numerical results are given for a specified device calibration models of gas meters.

Key words: modeling, gas flowmeters, workflow settings.

Для калибровки газовых расходомеров используются устройство с воздушным аккумулятором давления, который соединяется через расходомер с атмосферой, и устройство содержащее цилиндр с подвижным поршнем, при перемещении которого обеспечивается выход находящегося в объеме начального воздуха через расхо-

домер с атмосферу. Расходомеры относятся к машинам объемного действия и для получения корректных результатов измерений не достаточно знать как массу вытесненного газа, так и динамику изменения параметров рабочего процесса. Это связано с тем, что в рабочем объеме (РО) устройства калибровки (УК) при сжатии рабочего тела или расширении газа происходит несколько конкурирующих процессов и для учета расхода требуют создать достаточно детализированную математическую модель протекающих рабочих процессов и выполнить расчеты параметров рабочих процессов на основе полученной математической модели.

В данной работе рассмотрены рабочие процессы в указанных выше типах УК с приведенными ниже исходными данными.

Тип УК 1. Цилиндрический сосуд (рабочий цилиндр РЦ) имеет объемом 3л, диаметр 100мм (используются и варианты с диаметрами 74мм или 185 мм) и содержит воздух при давлении 0,4 МПа. РЦ имеет на выходе круглую диафрагму диаметром 25мм, которая соединяется с атмосферой через расходомер. Для решения задачи необходимо найти полный объем воздуха, прошедшего через выпускное отверстие.

Тип УК 2. Цилиндрический сосуд (РЦ) с поршнем и начальным объемом 3дм³, диаметром 100мм (74мм или 185 мм) содержит воздух при давлении 0,1 МПа. РЦ имеет на выходе круглую диафрагму диаметром 25мм и соединяется с атмосферой через расходомер. При движении поршня с постоянной скоростью объем воздуха в рабочем цилиндре линейно уменьшается. Необходимо найти полный объем воздуха, прошедшего через выпускное отверстие.

Объем V_1 сформирован боковыми и торцевыми стенками цилиндра (тип УК 1) и боковыми стенками цилиндра и неподвижной торцевой стенкой и поповерхностью подвижного поршня (тип УК 2). Для УК типа 2 объем V_1 в процессе сжатия (при смещении поршня на величину относительно контрольного сечения) уменьшается по закону

$$V_1 = V_{10} - F_{rc} * (x - x_0),$$

где V_{10}, x_0 – начальный объем цилиндра и начальное положение поршня в цилиндре;

$F_{рц}, x$, – площадь поперечного сечения поршня и текущее положение поршня.

Массы вещества в камере РЦ при объеме V_1 удовлетворяет закону сохранения вещества и может быть представлено соотношением в форме дифференциальных уравнений:

$$\frac{dm_1}{dt} = -G,$$

где G – расход рабочего тела через выходное сечение устройства калибровки расходомера.

Расход рабочего тела можно найти по соотношениям для различных режимов течения

$$G = p_1 F_{вых} / \beta_e,$$

где p_1 – давление в цилиндре РЦ, $F_{вых}$ – площадь выходного сечения РЦ, β – расходный комплекс.

Расходный комплекс β определяется по известным соотношениям [1] для критического режима течения

$$1/\beta_1 = \varphi_1 \sqrt{\frac{2k}{k+1}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k-1}{2}} \frac{1}{\sqrt{\varphi_2 R_1 T_1}}$$

и докритического режима течения

$$1/\beta_1 = \varphi_1 \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \frac{1}{\sqrt{\varphi_2 R_1 T_1}},$$

где p_1, p_2 – давление в РЦ и на выходе УК, k – показатель изоэнтропы рабочего тела, T_1 – температура в нижней камере РЦ, φ_1, φ_2 – поправочные коэффициенты, определяющий потери полного давления, химическую и фазовую неравновесность рабочего тела, влияние застойных зон при течении рабочего тела и др., значения которых близки к 1.

Если пренебречь отводом тепла в стенки рабочего цилиндра и поршень рабочего цилиндра, то для камеры РЦ сформируем уравнение сохранения энергии в следующем виде:

$$\frac{d(m_1 U_1)}{dt} = -p_1 \frac{dV_1}{dt} - G \cdot I_1,$$

где U_1 – удельная внутренняя энергия

рабочего тела в камере РЦ, I_1 – удельная энтальпия рабочего тела в камере РЦ.

Удельная внутренняя энергия и удельная энтальпия представим в форме:

$$U = C_v \cdot T,$$

$$I = C_p \cdot T,$$

где C_v, C_p – удельные теплоемкость газа в процессах при постоянном объеме и постоянном давлении.

После подстановки указанных соотношений в уравнения энергий и выполнения дифференцирования по частям получим

$$C_v T_1 \frac{dm_1}{dt} + m_1 C_v \frac{dT_1}{dt} = -p_1 \frac{dV_1}{dt} - G \cdot C_p \cdot T_1,$$

учитывая полученные уравнения для масс рабочего тела в камерах РЦ, получим

$$m_1 C_v \frac{dT_1}{dt} = -p_1 \frac{dV}{dt} + G \cdot C_v \cdot T_1 - G \cdot C_p \cdot T_1,$$

или после преобразования

$$\frac{dT_1}{dt} = -\frac{T_1}{V_1} (k-1) \frac{dV_1}{dt} - \frac{G \cdot R_{y0} \cdot T_1}{m_1 C_v}.$$

Удельную теплоемкость газа при постоянном объеме выразим через удельную газовую постоянную

$$C_v = \frac{R_{y0}}{k-1}$$

и тогда получим уравнение для определения температуры рабочего в камере рабочего цилиндра

$$\frac{dT_1}{dt} = -\frac{T_1}{V_1} (k-1) \frac{dV_1}{dt} - \frac{G \cdot T_1 \cdot (k-1)}{m_1} = -T_1 \cdot (k-1) \cdot \left[\frac{1}{V_1} \frac{dV_1}{dt} + \frac{G}{m_1} \right],$$

Полученная система дифференциальных уравнения для массы и температуры рабочего тела в камере РЦ позволяет выполнить численные расчеты параметров рабочих процессов в УК. Расчет выполняется для временного интервала от момента времени, когда открывается клапан, соединяющий камеру РЦ с расходомером для УК 1, или начала смещения поршня РЦ для УК 2 до завершения рабочего процесса истечения газа из цилиндра.

Результаты численных расчетов рабочих процессов для УК типа 1 представлены на рис.1. На рис.1а приведено изменение во времени процесса (единицы измерения [с]) следующих параметров рабочего процесса: масса воздуха в РЦ (ромбовид-

ный маркер, синий цвет, единицы измерения [г]), рабочий объем РЦ (треугольный маркер, зеленый цвет, единицы измерения [дм³]), давление в РЦ(круглый маркер, пурпурный цвет, единицы измерения [100кПа]). На рис.1б представлено изменение во время рабочего процесса объемного расхода (ромбовидный маркер, синий цвет, единицы измерения [дм³/с]) и массового расхода рабочего тела из РЦ (квадратный маркер, пурпурный цвет, единицы измерения [г/с]).

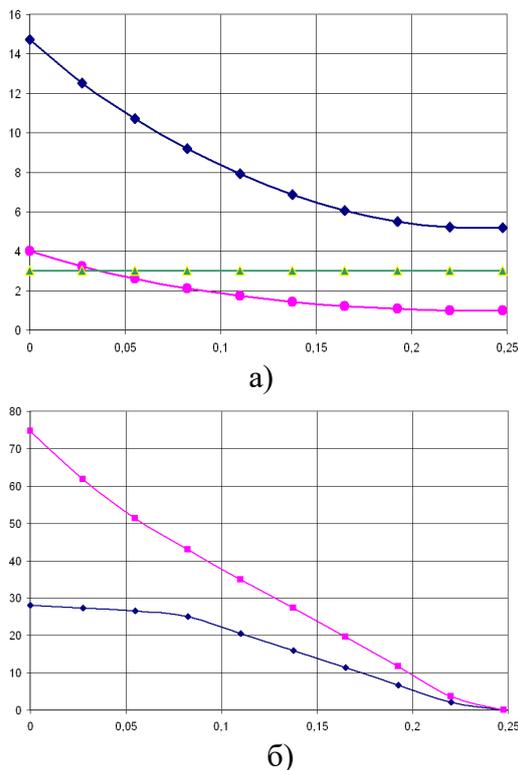


Рис.1. Параметры рабочего процесса во времени работы УК тип 1 а)изменение массы, давления и объема РЦ, б)изменение объемного и массового расхода рабочего тела из РЦ во время рабочего процесса

Результаты численных расчетов рабочих процессов для УК типа 2 представлены на рис.2. На рис.2а приведено изменение во времени процесса (единицы измерения [с]) массы воздуха в РЦ (ромбовидный маркер, синий цвет, единицы измерения [г]), рабочий объем РЦ (треугольный маркер, зеленый цвет, единицы измерения [дм³])и давление в РЦ(круглый маркер, пурпурный цвет, единицы измерения [100кПа]). На рис.2б представлено измене-

ние объемного расхода (ромбовидный маркер, синий цвет, единицы измерения [дм³/с]) и массового расхода рабочего тела из РЦ (квадратный маркер, пурпурный цвет, единицы измерения [г/с]) во время рабочего процесса.

Корректность математической модели была подтверждены при сравнении полученных результатов моделирования рабочих процессов в устройствах калибровки газовых расходомеров с экспериментальными данными. Полученная модель и программа расчетов позволяют определить влияние внешних факторов и влияние проектных параметров разрабатываемых УК на параметры рабочих процессов при их функционировании.

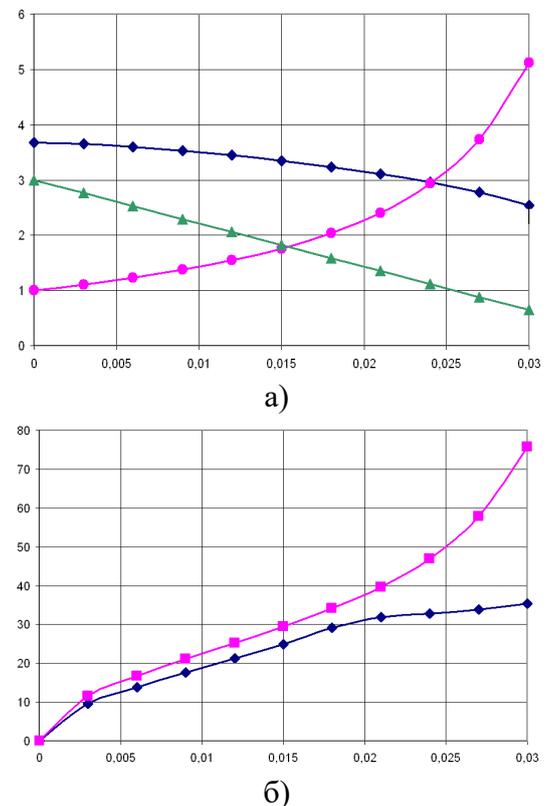


Рис.2. Параметры рабочего процесса во времени работы УК тип2 а)изменение масса, давления и объема РЦ, б)изменение объемного и массового расхода рабочего тела из РЦ во время рабочего процесса

Список литература

1. Ерохин Б.Т. Теория, расчёт и проектирование ракетных двигателей. Учебник для ВУЗов. – М.:ВИНИТИ, МГАПИ, 2004, 864 с.

УДК: 621.43.032.67

ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМИ АГРЕГАТАМИ ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

Кушнир А.П., к.т.н., доцент;
Головацкий М.В., студент;
Фетисов В.О., студент

Институт информационных технологий Московского технологического университета

© Автор для переписки: Кушнир А.П. e-mail: gurinmura@yandex.ru

Работа посвящена вопросам управления насосными агрегатами динамического типа. Предложен новый способ параллельно-последовательного регулирования

Ключевые слова: насос, насосный агрегат, регулирование, управление, эффективность

TECHNOLOGIES OF MANAGEMENT OF DYNAMIC TYPE PUMPING UNITS

Kushnir A.P.;
Golovatskyi M.V.;
Fetisov V.O.

Moscow technological university. Institute of information technology

© Corresponding author e-mail: gurinmura@yahoo.com

The work is devoted to the problems of controlling pumping units of dynamic type. A new method of parallel-series control

Key words: pump, pump unit, regulation, control, efficiency

Одной из основных задач современной техники является повышение её энергоэффективности. К такой перспективной задаче можно отнести управление насосной установкой. Сложность решения такой проблемы заключается в том, что насосная установка представляет собой мехатронный объект, включающий в себя гидрома-

шину (состоящую в общем случае из несколько насосных агрегатов), электромеханическую подсистему (привод) и программное обеспечение. Каждая из подсистем является достаточно сложной и их работа описывается разными, подчас не связанными друг с другом, алгоритмами. Для реализации такой комплексной задачи необходимо рассмотреть вопросы управления каждой из подсистем.

Рассмотрим управление насосными агрегатами. В качестве исследуемого объекта примем насос центробежного типа. В качестве требований, предъявляемых к системе, примем экономичность, регулирование напора и подачи «вверх» и «вниз», широкий диапазон и плавность регулирования. Накладываемое ограничение – допустимая приводная мощность.

Основными характеристиками насоса являются напор H , подача Q , мощность N , а также КПД η . Теоретический напор рабочего колеса определяется уравнением Эйлера

$$H_{\delta} = \frac{U_{\text{вых}} \cdot V_{u\text{вых}} - U_{\text{вх}} \cdot V_{u\text{вх}}}{g}, \quad (1)$$

где H_T – теоретический напор; $U_{\text{вых}}$, $U_{\text{вх}}$ – окружная скорость рабочего колеса на выходе и входе, соответственно; $V_{u\text{вых}}$, $V_{u\text{вх}}$ – окружная проекция скорости течения жидкости на выходе и входе рабочего колеса, соответственно; g – ускорение свободного падения.

Полезная мощность насоса N (Вт) рассчитывается с учетом принятых обозначений как

$$N = Q \cdot \gamma \cdot H_{\delta} \cdot \eta_A = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H, \quad (2)$$

где: η_A – гидравлический КПД; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Рабочая точка насосной установки определяется исходя из равенства развиваемого полезного напора H и характеристики сети H_c :

$$H = H_c = H_{cm} + h_{nom}, \quad (3)$$

где: H_{cm} – статический напор; h_{nom} – гидравлические потери в сети (трубопроводе).

Несмотря на внешнюю простоту уравнений (1)...(3), теоретически определить рабочую точку насосной установки можно лишь очень приближенно. Это связано с

тем, что составляющие этих выражений даже при статической постановке задачи описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений второй степени. Поэтому на практике рабочая точка находится комбинированным способом: напорно-расходная характеристика насосной установки берется из опытных данных, а характеристика сети, рассчитывается аналитически. Рассмотрим более подробно основные способы управления насосной установки.

Дроссельное регулирование. Представляет собой регулирование, основанное на изменении характеристик сети путем введения дополнительного гидравлического сопротивления. При отсутствии дополнительного гидравлического сопротивления рабочая точка (1) системы определяется пересечением характеристик насоса H и сети H_c , рис. 1.

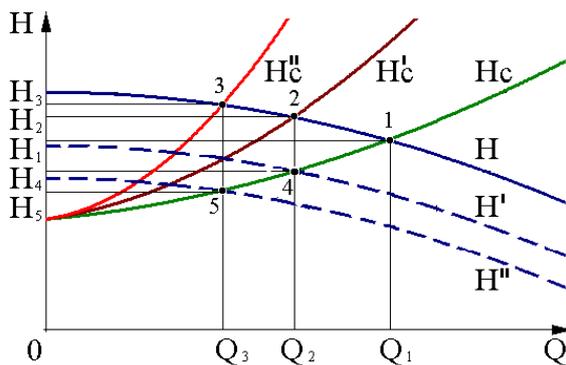


Рис. 1. Дроссельное регулирование

При увеличении гидравлического сопротивления трубопровода характеристика сети становится более крутой (кривые Hc' , Hc''), обеспечивая смещение рабочей точки в область более низких расходов (подач) и более высоких напоров. На самом деле рабочими точками системы при дроссельном регулировании будут не точки 2, 3 с параметрами H_2 , Q_2 , H_3 , Q_3 (в которых будет работать насос), а точки 4 (H_4 , Q_2) и 5 (H_5 , Q_3), лежащие на основной характеристике сети H_c . Разница напоров ($H_2 - H_4$) и ($H_3 - H_5$) теряется в дросселирующем устройстве, то есть переходит в потери мощности ΔN в соответствии с выражением (2)

$$\Delta N = Q \cdot \gamma \cdot \Delta H \quad (4)$$

Регулирование впуском воздуха. Если во всасывающую магистраль насоса добавлять воздух, то удельный вес жидкостно-воздушной смеси будет снижаться. Воздух при этом будет вытесняться в область меньших радиусов. Поэтому наличие воздушных масс на максимальном напоре насоса практически не будет сказываться, рис. 2. В результате впуска воздуха можно плавно изменять насосные характеристики (H' , H'') при постоянной характеристике сети H_c , что позволяет регулировать напор и подачу в некоторых пределах $Q_1 \dots Q_3$, и $H_1 \dots H_3$.

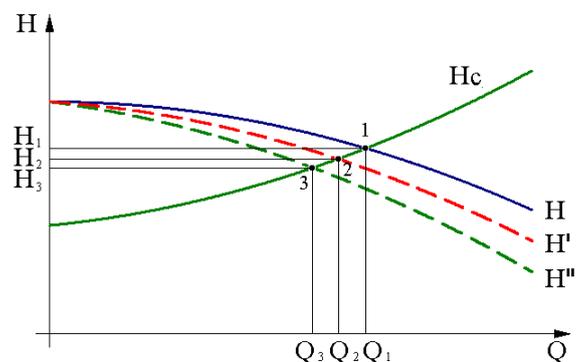


Рис. 2. Регулирование впуском воздуха

Регулирование перепуском жидкости. В результате закольцовывания насоса меняется характеристика сети (она становится более полой), вследствие чего рабочая точка насоса смещается в область более высоких подач, рис. 3. На приведенной схеме регулирования перепуском (рис. 3) точка 1 (с подачей Q_1) соответствует естественной характеристике (перепускная линия закрыта).

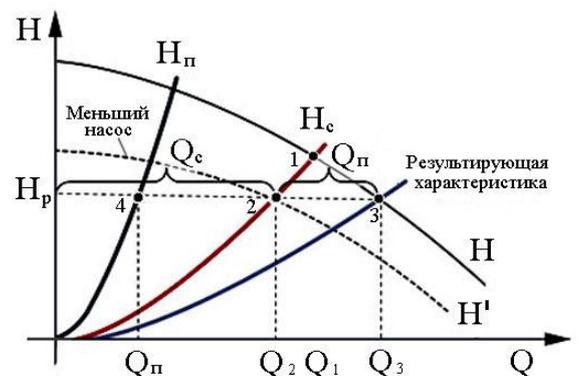


Рис. 3. Регулирование перепуском жидкости

В более ответственных случаях, например для крупных насосов, желательно использовать более тонкие средства регулирования, как например, управление подкруткой потока, частотное управление и т.д.

Схема регулирования «один из многих». Как показано на рис. 1 вместо одного мощного насоса в принципе можно использовать несколько менее мощных насосов. Например, вместо насоса с характеристикой H и введения дополнительного сопротивления в режиме H_c' (рабочая точка 2) можно использовать более экономичный насос с характеристикой H' (рабочая точка 4), а в режиме в режиме H_c'' (рабочая точка 3) можно использовать насос с характеристикой H'' (рабочая точка 5). Преимуществом данной схемы является экономичность (работа насосов в областях максимальных КПД), а также возможность регулирования напора и подачи, как «вверх» (в сторону увеличения), так и «вниз» в сторону уменьшения).

Установка с несколькими насосами (которую можно назвать условно «**многие из многих**») имеет ряд дополнительных преимуществ по сравнению с моно агрегатом.

Во-первых, насосы можно включать в количестве, необходимом для поддержания требуемого режима с минимальными энергетическими потерями.

Во-вторых, в процессе управления можно комбинировать не только число включенных насосов, но и соединять их по оптимальным компоновочным схемам. Дело в том, что многие насосные станции работают в условиях переменных нагрузок. Кроме того, на практике возникает необходимость покрытия пиковых нагрузок как по подаче, так и по напору. Как показывает рис. 4, параллельно-последовательная установка насосов способна охватить большую зону регулирования. При параллельной установке характеристики насосов H суммируется по подаче $H'(Q)$. При последовательной установке

суммируется напоры $H''(Q)$.

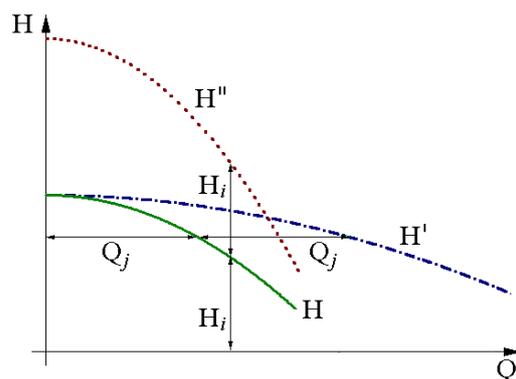


Рис. 4. Параллельно-последовательная установка насосов

С учетом того, что практически все способы управления обеспечивают регулирование только «вниз», данное предложение может быть весьма востребовано на практике.

Недостатком последней схемы является ступенчатое регулирование. Для улучшения качества регулирования в схеме целесообразно дополнить частотным управлением насосами. Это позволит минимизировать потери энергии как в расчетных режимах, так и в процессе их пуска. Кроме того, можно предложить еще один алгоритм оптимального регулирования, основанный на поиске и поддержании максимального КПД всей системы.

Список литературы

1. Кушнир А.П., Кувенев А.В. Повышение эффективности маневрирования морских и речных судов. Международная научно-техническая конференция «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике», МНТК ИВТ, 2016. С. 324-327.
2. Кушнир А.П., Головацкий М.В. и др. Разработка аппаратно-программного комплекса для управления энергетической установкой. Международная научно-техническая конференция «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике», МНТК ИВТ, 2016. С. 327-329.

УДК 7.021.5

3D ПРИНТЕР КАК УСТРОЙСТВО ЧПУ

Кушнир А.П., к.т.н., доцент
Никольская О.С., студентка

Институт информационных технологий Московского технологического университета

*© Автор для переписки: Кушнир А.П. e-mail:
gurinmura@yandex.ru*

Работа посвящена вопросам программирования 3D принтеров в G-кодах на примере FDM машины

Ключевые слова: 3D принтер, 3D печать, G-код, FDM машина, ЧПУ

3D PRINTER AS A CNC DEVICE

Kushnir A.P.
Nikolskaya O.S.

Moscow technological university. Institute of information technology

*© Corresponding author e-mail:
gurinmura@yahoo.com*

The work is devoted to programming the 3D printer G-code example FDM machine

Key words: 3D printer, 3D printing, G-code, FDM machine, CNC

Одной из революционной технологией, появившейся в последние десятилетия, является 3D печать. О принципах работы и возможностях 3D печати написано много работ [1-6]. Вместе с тем информационная составляющая, касающаяся программирования 3D принтеров практически не описана. Рассмотрим более подробно особенности программирования и принцип работы FDM машин.

Технология FDM (*Fused Deposition Modeling*) представляет собой процесс послойного наложения полурасплавленной полимерной нити по заданному контуру сечения.

Данная технология FDM была предло-

жена в 1988 г. Скоттом Крапом и может применяться как для быстрого прототипирования, так для получения готовых деталей. технология FDM обеспечивает достаточно высокое качество получаемых изделий. Преимущество этого способа заключается, кроме того, в том, что пользователь не только может выбрать наиболее подходящий материал модели, но и менять его в процессе построения изделия.

Наиболее часто в качестве моделирующего материала в установках FDM применяют ABS-пластик, поликарбонат (PC), полифенилсульфон (PPSF) и другие материалы.

Технология FDM реализуется следующим образом. Тонкая термопластичная нить (диаметром 1,8 мм) поступает в выдавливающую (экструзионную) головку аппарата, где она нагревается, рис. 1.

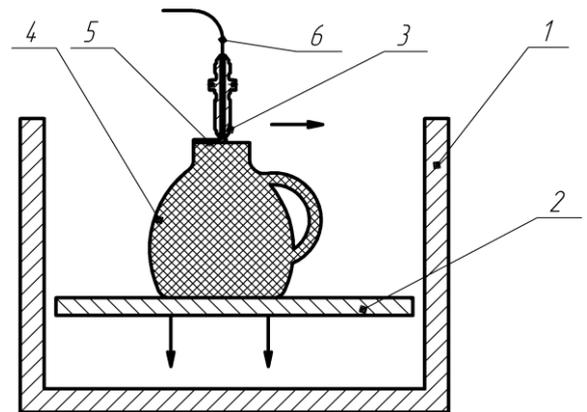


Рис. 1. Схема FDM: 1 – корпус; 2 – платформа; 3 – экструзионная головка; 4 – изделие; 5 – отверждаемый слой; 6 – полимерная нить

Из сопла экструзионной головки материал в полужидком состоянии очень тонкими слоями наносится на платформу, образуя первый слой детали. Далее платформа опускается и на первый слой аналогичным способом наносится второй. Слои отвердевают и хорошо соединяются друг с другом. Полученное таким образом изделие можно при необходимости покрасить или подвергнуть дальнейшей механической обработке (сверлению, шлифованию, полированию, маркировке).

На кафедре промышленной информатики ИИТ МИРЭА был изготовлен 3D принтер, реализующий данную техноло-

гию, рис.2.

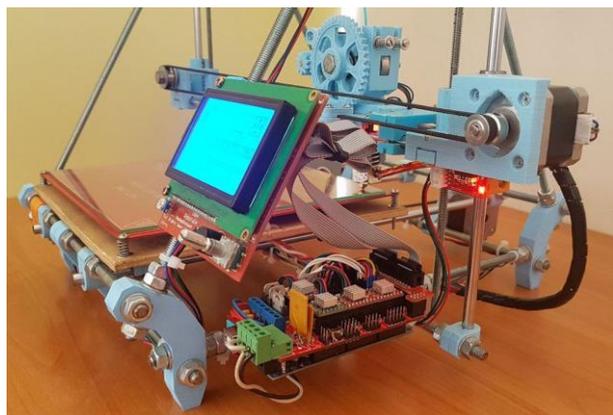


Рис.2. 3D принтер на основе технологии FDM

Наконечник экструзионной головки изготовлен из алюминия, нагревательный элемент выполнен в виде спирали из нихромовой проволоки. Для отслеживания и последующей регулировки температуры, на сопле экструзионной головки установлен термодатчик. В качестве приводов перемещения печатающей головки по осям X, Y, Z (в экспериментальном образце в вертикальном направлении Z смещается не стол, а сама головка), а также в самом экструдере использованы шаговые двигатели. Такие двигатели часто используются для создания координатных станков с ЧПУ, 3D-принтеров и других механизмов, где необходимо точное позиционирование.

В качестве системы управления приводами использована плата Arduino Mega 2560, построенная на основе микроконтроллера ATmega2560 с тактовой частотой 16 МГц. Плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, USB коннектор.

Сама платформа программируется посредством среды разработки Arduino. В нашей конструкции применено открытое ПО Repetier-Host, позволяющее работать со стандартными для 3d печати файлами

формата Stl. Управляющая программа формируется в G-кодах, как и в системах ЧПУ металлорежущих станков [7]. Все команды управления объединяются в кадры - состоящие из одной или более команд. Кадр завершается символом перевода строки (CR/LF). Порядок команд в кадре строго не оговаривается, но, как и в станках с ЧПУ, первыми указываются подготовительные команды, затем команды перемещения, затем выбора режимов обработки и технологические команды.

Список литературы

1. Дрюкова А.Э. и др. *Технология обработки материалов (Изготовление художественных изделий из древесины и металлов): учебник / А.Э. Дрюкова, О.А. Казачкова, Л.А. Комиссарова, В.Б. Лившиц, А.П. Кушнир, А.Г. Навроцкий. Saarbrücken / Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. – 264 с.*
2. Кушнир А.П., Лившиц В.Б. *Классификация технологий 3d печати. Дизайн. Теория и практика. 2014. № 18. С. 74-84.*
3. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Лазерные 3D технологии изготовления моделей. Информатика и технология. Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск XIX. М.: МГУПИ, 2013. – 263 с.*
4. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Новые 3D технологии изготовления моделей. Информатика и технология. Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск XIX. М.: МГУПИ, 2013. – 263 с.*
5. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Специальные технологии художественной обработки материалов. (Специальные виды литья и отделки художественных изделий): Учебное пособие для вузов. М.: ОНТОПРИНТ, 2016. – 262 с.*
6. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Специальные виды литья художественных изделий. Saarbrücken / Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 305 с.*
7. Кушнир А.П., Неменко М.В. *Основы программирования фрезерных станков с ЧПУ. М.: МИРЭА, 2017. – 71 с.*

УДК 62-182

ОСОБЕННОСТИ РАСТАЧИВАНИЯ ПРЕРЫВИСТЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ОТДЕЛОЧНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

Лутьянов А.В., к.т.н., доцент;
Страмцова Е.С., студентка 4 курса

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Лутьянов А.В. e-mail: alou99@mail.ru

Работа анализу модели колебаний борштанги с учетом податливости технологической системы, рассмотрен вопрос обработки прерывистых поверхностей отверстий. Построены график изменения уровня колебаний борштанги при растачивании отверстий. Приведены параметры упругой системы для заданных режимов резания.

Ключевые слова: качество обработки, система уравнений, уровень колебаний, математическое моделирование, параметры резания.

FEATURES OF BREAKING BREAKING HOLES ON FINISHING BORING MACHINES

Lutianov A.V.;
Stramtsova E.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Lutianov A. e-mail: alou99@mail.ru

Work on the analysis of the model of burrs with allowance for the compliance of the technological system, the problem of processing discontinuous surfaces of holes is considered. A graph of the variation in the level of burrshaft oscillations during the boring of holes is constructed. The parameters of the elastic system for the given cutting conditions are given.

Keywords: processing quality, system of equations, vibration level, mathematical modeling, cutting parameters.

Анализ конструкции корпусных деталей шпиндельных бабок станков показал, что 12 % от общего числа деталей, обрабаты-

ваемых на них, имеют прерывистую поверхность. Стационарный характер процесса резания при обработке таких деталей нарушается: периодически происходит врезание и выход инструмента. При этом резко увеличивается роль внешних силовых возмущений, связанных с изменениями настройки [1]. Это приводит к ухудшению качества обработки, снижению производительности и к повышению износа резца [2, 3].

В ранее проведенных экспериментах по растачиванию прерывистых поверхностей предполагалось, что подсистема "деталь - приспособление" весьма жесткая. Нами изучено влияние параметров приспособления на колебания. При такой обработке замкнутая динамическая система станка становится системой с переменными характеристиками: чередуются во времени замкнутые и незамкнутые состояния. Поэтому потеря устойчивости может произойти не только из-за наличия обратных связей, но и из-за их периодического прерывания.

Исследования проведены методом математического моделирования.

Уравнения движения составлены с учетом основных форм колебаний узлов отделочно-расточных станков. В расчетную модель включена также подсистема приспособления, податливая в направлении подачи. Система уравнений движения имеет вид:

$$\begin{aligned} m_u \cdot \ddot{U} + b_u \cdot \dot{U} + c_u \cdot U &= \sqrt{1 + \cos^2 \varphi} \cdot P_z \cdot \Phi(t), \\ m_x \cdot \ddot{X} + b_x \cdot \dot{X} + c_x \cdot X &= \mu \cdot \sin \bar{\varphi} \cdot P_z \cdot \Phi(t), \\ T_p \cdot \dot{P}_z + P_z &= [-k_p \cdot x_y \cdot \cos \xi \cdot \cos \bar{\varphi} \cdot U + \\ & P_z 0 - k_p \cdot x \cdot \sin \varphi \cdot X \cdot \Phi t \end{aligned} \quad (1)$$

где \ddot{U} , \dot{U} , U , \dot{X} , \ddot{X} , X - ускорения, скорости и перемещения соответственно борштанги и приспособления;
 m_u и m_x - приведенные массы борштанги и приспособления;
 b_u и b_x - характеристики демпфирования;
 T_p - инерционная постоянная стружкообразования;
 k_p - коэффициент резания;
 P_{z0} - постоянная составляющая силы резания;
 φ - эффективный главный угол в плане;
 μ - коэффициент трения стружки о перед-

нюю грань;

$\Phi(t)$ - функция времени периода $2\pi/\omega$, определяемая соотношениями

$$\Phi(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t \leq q \frac{2\pi}{\omega}, \\ 1 & q \frac{2\pi}{\omega} \leq t \leq \frac{2\pi}{\omega}, \end{cases} \quad (2)$$

где $q = \frac{\Delta t}{T}$ - параметр формы параметрического возбуждения;

Δt - интервал времени, когда резание прерывается;

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ - период вращения шпинделя.

Результаты расчетов при варьировании вылета приспособления от 0,02 до 0,18 м с шагом 0,005 м представлены на рисунке в виде графиков изменения уровней колебаний борштанги A_u при изменении скорости резания [3]. На графиках видны чередующиеся зоны с повышенными и пониженными уровнями колебаний в определенных диапазонах значений скоростей резания. Влияние параметров приспособления на уровень колебаний в упругой системе увеличивается с ростом вылета приспособления.

Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

Если первая собственная частота приспособления и жесткость больше соответствующих параметров подсистемы "шпиндель - борштанга", то замкнутая динамическая система станка теряет устойчивость по форме подсистемы борштанги: максимум уровня колебаний реализуются вблизи всех целочисленных значений отношения p/ω , где p - собственная частота борштанги.

При принятых значениях параметров упругой системы и характеристиках прерывистой поверхности каждая из двух подсистем, входящих в замкнутую динамическую систему станка, колеблется на собственной частоте.

Исследования взаимодействия двух подсистем при p/ω , изменяющемся в диапазоне 0,3-1,3 показало, что в колебаниях каждой подсистемы имеются гармоники, характерные для другой подсистемы. В

замкнутой динамической системе станка при принятых значениях параметров процесса резания не развиваются параметрические резонансы.

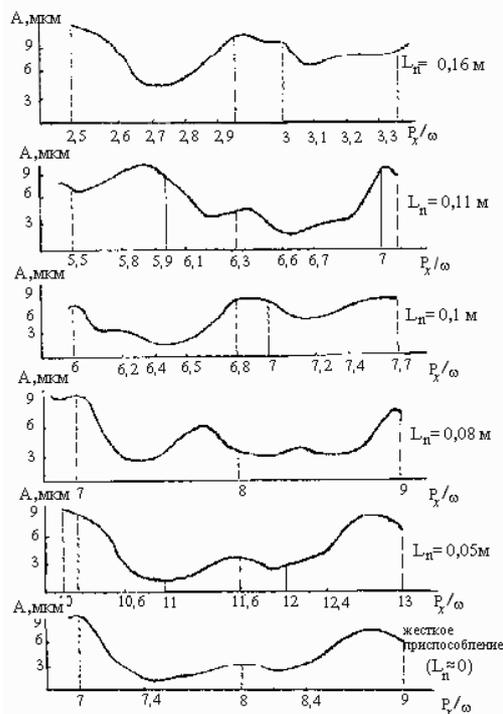


Рис. 1 – Изменение уровня колебаний борштанги

Список литературы

1. Адаптивное управление станками / Под ред. Б.С. Балакишина. - М.: Машиностроение, 1973. - 688 с.
2. Андреев Г.Н. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. - 3-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2001. - 426 с.
3. Лутьянов А.В. Математическая модель образования погрешностей при растачивании корпусных деталей в приспособлениях. Актуальные вопросы науки и техники, / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. г. Самара, 2016. 176 с.
4. Лутьянов А.В. Выбор оптимального варианта технологической оснастки. Национальная ассоциация ученых (НАУ) Материалы VII между. Научно-практической конференции «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени». № 2(7), ч. 3, г. Екатеринбург, 2015 г. - 170 с.

УДК 629.78:514.8

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕС КОГО ЭЛЕМЕНТА В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА

Меркулов А. В., к. т. н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

*© Автор для переписки: Меркулов А. В.
e-mail: avm_1@mail.ru*

Рассматривается принципиальный вариант использования тороидального магнитогидродинамического элемента в контуре управления «базового объекта» обладающего осевой симметрией.

Ключевые слова: управляемый объект, высокоэлектропроводная жидкость, ориентация объекта

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE MAGNETO-HYDRODYNAMIC ELEMENT IN THE CONTOUR OF MANAGEMENT OF THE ROTATING OBJECT

Merkulov A.

Moscow technological university. Physico-technological institute

*© Corresponding author: Merkulov A. e-mail:
avm_1@mail.ru*

Considered a principal use case toroidal magnetohydrodynamic element in the control loop "base object" possessing axial symmetry

Keywords: Managed object, an electrically conductive liquid, the orientation of the object

Настоящая работа является продолжением и дальнейшим развитием статей, посвященных динамике вращающихся космических аппаратов с полостями, частично заполненными жидкостью.

Основным является то, что теперь мы рассматриваем в качестве жидкого напол-

нения не просто несжимаемую маловязкую жидкость, а среду, наделенную некоторыми новыми свойствами: высокой электропроводностью, а в некоторых случаях еще и свойствами ферромагнетика. Роль жидкостей с высокой электропроводностью может играть ртуть, жидкий натрий, жидкий сплав Вуда при температуре больше 100°C. Высокоэлектропроводными жидкостями со свойствами ферромагнетика являются ртутные амальгамы на базе железа и никеля. Предполагается, что жидкость, как при невозмущенном ее состоянии, так и при возмущенном, находится в магнитном поле, создаваемом специальными электромагнитами (ЭМ). В этом смысле статья продолжает направление теоретических и экспериментальных исследований динамики космического аппарата (КА) с полостями, содержащими замагниченную электропроводную жидкость.

Рассмотрим более детально постановку задачи о вращающемся КА с МГД-элементами новой конфигурации. Это теперь тороидальная полость с трапециевидным радиальным сечением, частично заполненная несжимаемой маловязкой, сильно электропроводной (быть может, также и ферромагнитной) жидкостью. В невозмущенном движении эта жидкость располагается так, что её свободная поверхность жидкости представляет собой цилиндр, соосный с полостью. Предполагается, что вся жидкость находится как в невозмущенном так и возмущенном её состояниях в магнитном поле, создаваемом специальными электромагнитами, обладающем следующими свойствами:

- Поле представляет собой сумму двух независимых полей: поля подмагничивания и управляющего поля, со значительно меньшей по модулю напряжённостью;
- В области, занятой жидкостью, оно параллельно оси вращения КА - Ox_1 ;
- Поле подмагничивания однородно в направлении дуги окружности и имеет градиент в направлении от периферии к продольной оси полости, то есть близко по конфигурации к полю диполя с осью, совпадающей с осью полости;
- Управляющее поле сегментировано в пространстве на два независимых, зани-

мающих по два противоположащих сектора с углом раствора $\sim 90^\circ$ каждый; диаметральной плоскостью, проходящая через биссектрису каждого из секторов, является плоскостью симметрии для этих полей, совпадающей с одной из плоскостей стабилизации КА ОХ₂ или ОХ₃;

- Составляющие управляющего поля в симметричных точках каждого из противоположных секторов имеют равные по модулю, но противоположные по знаку напряжённости;
- Поле подмагничивания является либо постоянным, либо монотонно изменяющимся, причём «медленно» – по отношению к доминантному периоду собственных колебаний жидкости;
- Управляющее поле может изменяться по времени произвольным образом, в соответствии с тем или иным законом управления. Последний может быть ориентирован как на улучшение устойчивости (в дополнение к «естественной» гироскопической стабилизации), так и на обеспечение коррекции пространственного положения оси вращения (одноосной ориентации) КА.

Существуют два механизма возникновения этих эффектов, которые могут действовать независимо. В основе первого из механизмов лежит принцип вмороженности магнитного поля, действующий при больших магнитных числах Рейнольдса. Он проявляется во взаимодействии вихревых компонент магнитного поля и поля скоростей, как бы наделяя несжимаемую жидкость свойствами упругой среды. Именно ему обязаны своим происхождением так называемые альвеновские волны. Поскольку вихревая компонента магнитного поля индуцируется вихревыми токами в среде, то есть существенно динамическим фактором, соответствующий механизм генерации массовых сил, действующих на жидкость, а через неё – на объект, носит динамический характер. Это приводит к тому, что все системы управления, основанные на использовании этого МГД-эффекта, являются, по существу, астатическими. Следует подчеркнуть, что упомянутой первый механизм никак не связан с деформацией невозмущённой свободной поверхности жидкости и реализуется и при

её отсутствии.

Совершенно иной характер носит второй механизм. Он изменяет потенциальную составляющую поля скоростей через посредство дополнительной составляющей давления. Именно этот механизм является одним из ответственных за появление волн на свободной поверхности жидкости, находящейся в поле центробежных и пондеромоторных (обусловленных магнитным полем) сил.

В рассматриваемом варианте МГД-элемента концептуальной основой использования МГД-эффектов в контуре управления вращающимся КА служит второй из упомянутых механизмов. Как ясно из изложенного выше, этот механизм в принципе позволяет построить не астатическую систему ориентации и стабилизации КА, сохраняющую эффективность и при наличии наиболее неприятных квазистатических возмущающих факторов.

Одна из возможных схем МГД-элемента, предназначенного для решения задачи сформулированной выше, представляет собой 4 ЭМ с независимым питанием, каждый из которых занимает один из секторов с углом раствора $\sim 90^\circ$ (рис.1). Сердечники ЭМ выполнены из шихтованного железа, причём полюсные наконечники образуют кольцо с разделяющими их узкими щелями, имеющее П-образное диаметральной сечение. Тороидальная полость, содержащая жидкость, оказывается, таким образом, охваченной полюсными наконечниками ЭМ. Её трапециевидное сечение в радиальной плоскости служит для создания необходимого градиента магнитного поля, направленного к оси вращения полости. Внутри полости имеются 4 радиальных ребра, ширина которых такова, что они не доходят до свободной поверхности жидкости, принявшей цилиндрическую форму при вращении объекта.

Эти ребра расположены против щелей, разделяющих электромагниты. Они должны быть выполнены, как и стенки полости, из неэлектропроводного материала. Их назначение заключается в том, чтобы уменьшить паразитное взаимное влияние вихревых токов, возникающих в жидкости под влиянием управляющих токов в об-

мотках электромагнитов, расположенных в двух независимых плоскостях стабилизации.

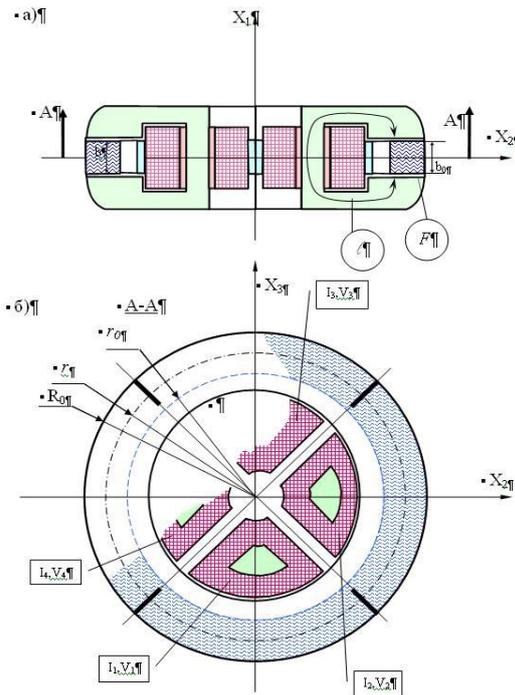


Рис. 1

Каждый ЭМ должен иметь свою независимую систему управления, включающую как обычно, датчиковую аппаратуру, корректирующее устройство, реализующее заданный закон управления, и усилитель преобразователь, формирующий напряжение, подаваемое на обмотку электромагнита (последний элемент в этой цепочке).

Если передаточную функцию, соответствующую всей этой разомкнутой системе, представить в виде некоторого оператора Z , то входом будет информация, доставляемая датчиками, а выходом – командное напряжение V_j .

Заметим, что рассматриваемый ЭМ аналогичен электромагниту системы левитации скоростного наземного транспорта на бесконтактной электромагнитной подвеске. Опыт разработки систем управления соответствующими ЭМ показывает, что достаточно эффективные алгоритмы можно синтезировать, используя в качестве состава измерения показания датчика зазора между полюсным наконечником ЭМ и рельсом и интегрирующего акселерометра. Применительно к обстоятельствам, когда рассматривается КА с одноосной ориента-

цией на Солнце, это соответствует использованию показаний датчика направления на Солнце и четырёх интегрирующих акселерометров, по одному на каждый из ЭМ, с осями чувствительности, параллельными оси вращения КА. Интегралы по времени от соответствующих угловых ускорений во вращающейся системе координат $OX_1Y_1Z_1$, связанной с КА, будут в этом случае совпадать с их аналогами в системе координат $OX_1Y_1Z_1$ не участвующей в возмущённом движении центра масс КА.

Фактически компоненты малого угла отклонения оси вращения КА от направления на Солнце могут вычисляться по показаниям солнечного датчика, а их производные по времени в связанной системе координат путём дифференцирования функций времени, конструируемых на основе информации, доставляемой датчиком направления на Солнце. С другой стороны, информация, относящаяся к угловой скорости «ухода» оси вращения КА в абсолютном пространстве, может быть получена на основе разности показаний интегрирующих акселерометров, расположенных в противоположащих секторах в каждой из плоскостей стабилизации.

Список литературы

1. Меркулов А. В., Мытарев А. И., Рабинович Б. И. Магнитогидродинамические элементы в системах стабилизации объектов с жидким наполнением. ЦНИИМаш, «Космонавтика и ракетостроение», №19, 2000 г., с. 121–130.
2. Микишев Г. И., Рабинович Б. И. Динамика твердого тела с полостями частично заполненными жидкостью. М., 1968 г.
3. Микишев Г. И., Рабинович Б. И.. Динамика тонкостенных конструкций с отсеками, содержащими жидкость. М., 1971 г.
4. Мытарев А. И., Рабинович Б. И., Меркулов А. В. О стабилизации объектов с жидким наполнением на основе использования магнитогидродинамических эффектов. М.: «Полет», №2, 2000, с 40–44.
5. Нариманов Г.С. О движении симметричного гироскопа, полость которого частично заполнена жидкостью. ПММ, Т.ХХI, вып.2, 1957, с.696-700.

УДК: 621.791

ИМПУЛЬСНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА СПЕЧЁННЫХ СПЛАВОВ САС-1

Минаева Н. И., к.т.н., доцент;
Архарова Н. Л., студент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

В настоящей работе изучены причины, вызывающие ухудшение свариваемости спеченных алюминиевых сплавов САС-1, а также исследована возможность повышения пластичности с помощью введения в шов технического алюминия в условиях импульсной лазерной сварки.

Ключевые слова: Импульсная лазерная сварка, легирование, сплав САС-1, технический алюминий.

PULSED LASER WELDING OF SINTERED ALLOY САС-1

Minaeva N.I.;
Arkharova N.L.

Moscow Technological University. Physico-technological institute

This work present the research of the deterioration of the weldability of sintered aluminum alloy SAA-1 and investigated the possibility of improving ductility by the introduction into the seam of technical aluminum.

Key words: Pulsed laser welding, weldability, alloy САС-1, technical Al.

В процессе импульсной лазерной сварки в сварном соединении алюминиевых сплавов могут возникнуть различные дефекты: недостаточная глубина проплавления, наличие кристаллизационных трещин в корне и на поверхности шва, неоплавление кромок отбортовки, кратеры на поверхности шва, поры и т.д.

В связи с этим в современной промышленности особую актуальность приобрели разработка и исследование металлургических методов и приёмов, позволяющих избежать дефектов, образующихся в процессе сварки.

Как известно Si и Ni, присутствующие в составе порошкового материала САС-1, увеличивают твёрдость. Недостаточные пластичность, вязкость и хрупкость сварных швов вызывает необходимость легирования сварочной ванны более вязким и пластичным металлом, например техническим Al.

Рассмотрено несколько способов легирования: порошковое, легирующей проволокой и легирующей прослойкой. На рисунке 1 показаны данные способы легирования. Предпочтение отдано легирующим прослойкам.

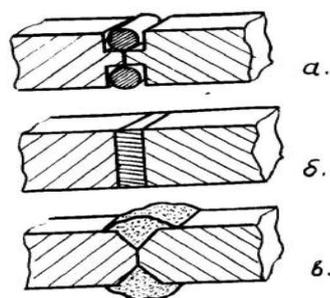


Рис.1. Схема способов легирования металла шва САС-1

а - легирование проволокой-вставкой; б - легирование прослойкой; в - порошковое легирование.

Введение в сварное соединение прослойки из технического алюминия повышает стойкость соединения против образования трещин. Исследовано влияние толщины прослойки на образование дефектов. С увеличением толщины легирующей прослойки диапазон режимов сварки, гарантирующих получение качественного соединения, расширяется, но до определенного предела. При увеличении толщины прослойки более 0,45 мм трещин не наблюдается, однако сварное соединение формируется с непроваром. Оптимальная толщина легирующей прослойки находится в пределах $\delta = 0,15-0,3$ мм. Полученные результаты при определённой толщине легирующей прослойки, позволили определить диапазон режимов импульсной лазерной сварки сплава САС-1, при котором в сварном шве нет дефектов.

Прочность сварного соединения при комнатной температуре достигает 74-76%

от прочности основного материала САС-1. Пластичность сварного шва, определённая по углу загиба, находится на уровне пластичности основного материала.



Рис.2. Сварное соединение сплава САС-1 с прослойкой из технического алюминия

Металлографическим и рентгеноспектральным анализами выявлено, что в металле сварных швов возникает химическая и структурная неоднородность (рисунок 2). Не полное растворение легирующей прослойки способствует образованию зон с повышенной пластичностью, препятст-

вующих развитию трещин в соединении.

Выводы: Полученные результаты дают основание рекомендовать лазерную сварку с легирующей прослойкой из алюминия толщиной от 0,15 до 0,3мм при изготовлении изделий из САС-1.

Список литературы

1. Минаева Н.И. Свариваемость спечённых алюминиевых сплавов в условиях импульсной лазерной сварки. - М.: Информатика и технология. Инновационные технологии в промышленности и информатике, ИВТ Московский государственный университет приборостроения и информатики, 2015.
2. Минаева Н.И., Архарова Н.Л., Импульсная лазерная сварка корпусов приборов из алюминиевых сплавов с использованием прищадочного материала.- М.: Информатика и технология, Межвузовский сборник научных трудов, 2016.

УДК: 539

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ МЕТОДОМ ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКИ

Пирумов А.Р., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Пирумов А.Р., e-mail: alpirumov@mail.ru

В работе рассматривается возможность определения коэффициента интенсивности скорости деформации методом верхней оценки в конкретной задаче.

Ключевые слова: деформация, коэффициент интенсивности скорости деформации, метод верхней оценки

THE DETERMINATION OF VELOCITY DEFORMATION INTENSITY COEFFICIENT BY UPPER

VALUE METHOD

Pirumov A.R.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Пирумов А.Р., e-mail: alpirumov@mail.ru

The work is dedicated to the possibility of the determination of velocity deformation intensity coefficient by upper value method for specific problem

Key words: deformation, velocity deformation intensity coefficient, upper value method

Введение. Для оценки скорости деформации целесообразно использовать коэффициент интенсивности скорости деформации, который был впервые введен в [1] для модели идеально жесткопластического материала, где он был определен, как коэффициент главного сингулярного члена в разложении эквивалентной скорости де-

формации в ряд в окрестности поверхности максимального трения. В [2] было показано, что существуют модели жесткопластических пористых (сжимаемых) материалов, решения по которым содержат сингулярный член и, как следствие, коэффициент интенсивности скорости деформации. Для некоторых осесимметричных задач коэффициент интенсивности скорости деформации вычислен в [3, 4]. Во всех случаях, отмеченных выше, коэффициент интенсивности скорости деформации вычислялся с помощью аналитических или полу-аналитических решений. Для практически важных задач такие решения недоступны. С другой стороны, коммерческие пакеты прикладных программ также непригодны для определения коэффициента интенсивности скорости деформации. Поэтому, целесообразно использовать метод верхней оценки для получения приближенных значений коэффициента интенсивности скорости деформации. В публикуемой работе такое идеально жесткопластическое решение получено для процесса

$$u_r = 0.5u_0 \rho t g'(\zeta), \quad u_\theta = u_0 \rho f(\zeta), \quad u_z = -u_0 g(\zeta) \quad (1)$$

Здесь $\rho = r/R$, $\zeta = z/h$, $t = R/h$, u_0 - поступательная скорость каждого бойка, R - радиус цилиндра, h - половина высоты цилиндра. Штрих означает производную

$$g(\zeta) = \frac{\alpha_1}{2} \left[\arcsin \zeta + \zeta(1-\zeta^2) \right] + \beta_1 \zeta, \quad f(\zeta) = \left[\alpha_2(1-\zeta^2)^{1/2} + \beta_2 \right] \zeta \quad (2)$$

где α_1 , α_2 и β_2 - произвольные постоянные, а постоянная β_1 выражается через α_1 в форме

$$\beta_1 = 1 - \alpha_1 \pi / 4 \quad (3)$$

$$\frac{1}{6} \left[t^2 (1 - \alpha_1 \pi / 4)^2 + 4(\beta_2 - \eta t)^2 \right]^{1/2} +$$

$$\left. \int_0^1 \int_0^1 \left\{ \left[12\chi^2 \left[\alpha_1 \chi (2 - \chi^2)^{1/2} + 1 - \alpha_1 \pi / 4 \right]^2 + \frac{\alpha_1^2 t^2 \rho^2 (1 - \chi^2)^2}{2 - \chi^2} + 4\rho^2 \left[\frac{\alpha_2 (4\chi^2 - 2\chi^4 - 1)}{(2 - \chi^2)^{1/2}} + \chi \beta_2 \right]^2 \right\} \rho d\rho d\chi \rightarrow \min \right. \quad (4)$$

где $\eta = \omega h / u_0$ и ω

- угловая скорость каждого бойка. Таким образом, η характеризует влияние

осадки цилиндра вращающимися бойками. Предполагается, что материал подчиняется условию текучести Мизеса.

Приближенное поле скорости. Для вычисления коэффициента интенсивности скорости деформации достаточно знать распределение эквивалентной скорости деформации, ξ_{eq} . При использовании метода верхней оценки в представлении кинематически возможного поля скорости необходимо учитывать поведение действительного поля скорости вблизи поверхности максимального трения [1]. Для процесса осадки цилиндра вращающимися бойками, на поверхности которых действует закон максимального трения (то есть, удельные силы трения при проскальзывании равны пределу текучести при чистом сдвиге), такое поле скорости предложено в [13]. В цилиндрической системе координат $r\theta z$, ось z которой совпадает с осью симметрии цилиндра, компоненты вектора скорости имеют вид

функции по ее аргументу. Функции $g(\zeta)$ и $f(\zeta)$ определяются следующими выражениями

Для определения постоянных α_1 , α_2 и β_2 необходимо численно минимизировать следующее выражение

вращательного движения бойка на решение и, следовательно, на коэффициент интенсивности скорости деформации.

Коэффициент интенсивности скорости деформации. В общем виде, коэффициент интенсивности скорости деформации D входит в разложение эквивалентной скорости деформации в ряд в окрестности поверхности максимального трения [1]

$$\xi_{zz} = -\frac{u_0}{h} \left[\alpha_1 (1-\zeta^2)^{1/2} + 1 - \alpha_1 \pi / 4 \right], \quad \xi_{rr} = \xi_{\theta\theta} = \frac{u_0}{2h} \left[\alpha_1 (1-\zeta^2)^{1/2} + 1 - \alpha_1 \pi / 4 \right],$$

$$\xi_{rz} = -\frac{u_0 \alpha_1 t \rho \zeta}{4h(1-\zeta^2)^{1/2}}, \quad \xi_{\theta z} = \frac{u_0 \rho}{2h} \left[\frac{\alpha_2 (1-2\zeta^2)}{(1-\zeta^2)^{1/2}} + \beta_2 \right], \quad \xi_{r\theta} = 0 \quad (6)$$

Эквивалентная скорость деформации выражается в форме

$$\xi_{eq} = \sqrt{\frac{2}{3} \left(\xi_{rr}^2 + \xi_{\theta\theta}^2 + \xi_{zz}^2 + 2\xi_{r\theta}^2 + 2\xi_{rz}^2 + 2\xi_{z\theta}^2 \right)^{1/2}} \quad (7)$$

Из (5) видно, что эквивалентная скорость деформации стремится к бесконечности при приближении к поверхности максимального трения. С другой стороны, из (6) следует, что из всех компонент тен-

$$\xi_{eq} = \frac{D}{\sqrt{s}} + o\left(\frac{1}{\sqrt{s}}\right), \quad s \rightarrow 0 \quad (5)$$

зора скорости деформации только ξ_{rz} и $\xi_{\theta z}$ стремятся к бесконечности при приближении к поверхности максимального трения ($\zeta \rightarrow 1$). Поэтому, для вычисления главного сингулярного члена в разложении эквивалентной скорости деформации в окрестности поверхности максимального трения достаточно учесть только эти две компоненты. Тогда, из (6) и (7) получим

$$\xi_{eq} = \frac{u_0 \rho}{h\sqrt{6}(1-\zeta)^{1/2}} \left[\left(\frac{\alpha_1 t}{2} \right)^2 + \alpha_2^2 \right]^{1/2} + o\left[(1-\zeta)^{-1/2}\right], \quad \zeta \rightarrow 1 \quad (8)$$

Сравнивая (5) и (8), найдем коэффициент интенсивности скорости деформации в форме

$$D = \frac{u_0 \rho}{h\sqrt{6}} \left[\left(\frac{\alpha_1 t}{2} \right)^2 + \alpha_2^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

Выводы. Определен коэффициент интенсивности скорости деформации при осадке цилиндра вращающимися бойками. Из выражения (9) видно, что этот коэффициент линейно зависит от полярного радиуса. Влияние вращения бойков на величину коэффициента интенсивности скорости деформации проявляется через величины α_1 и α_2 , которые вычисляются с помощью (4).

Список литературы.

1. Alexandrov S., Richmond O. Singular plastic flow fields near surfaces of maximum friction

stress// *Int. J. Non-Linear Mech.* 2001. V.36. No.1. P.1-11.

2. Александров С.Е., Пирумов А.Р., Чесникова О.В. Особенности пластического течения пористых материалов в зоне фрикционного контакта// *Порошковая металлургия.* 2008. №9/10. С.13-20.

3. Александров С.Е., Пирумов А.Р., Чесникова О.В. Коэффициенты интенсивности скорости деформации в процессах течения через сходящиеся каналы// В сб. научных трудов XII конференции МНПК "Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики", кн. Приборостроение, М., МГУПИ. 2009. С.27-30.

4. Александров С.Е., Гольдштейн Р.В., Лямина Е.А. Развитие концепции коэффициента интенсивности скорости деформации в теории пластичности// *Докл. РАН.* 2003. Т.389. №2. С.180-183

УДК.621.791

ИМПУЛЬСНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА СПЕЧЕННОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМА С ТИТАНОМ

Привезенцев В.И., к.т.н., доцент;
Минаева Н.И., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Привезенцев В.И. e-mail
 privezentsev-1077@yandex.ru

Работа посвящена созданию технологического процесса сварки, обеспечивающего повышение эксплуатационных характеристик узла гироскопа за счет снижения массы ротора в результате замены стали титановым сплавом. Приведены результаты оценки качества соединений выполненных импульсной лазерной сваркой.

Ключевые слова: лазерная сварка, сплав ВНЖ7-3, титан ВТ1-0, формирование сварных соединений.

PULSED LASER WELDING OF SINTERED ALLOY BASED ON TUNGSTEN WITH TITANIUM

Privezentsev V.I.;
Minaeva N.I.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author Privezentsev V.I., e-mail:
 privezentsev-1077@yandex.ru

The work deals with development of technological process of welding, providing improved operational characteristics of the node of the gyroscope by reducing the mass of the rotor resulting from the replacement of steel with titanium alloy. The results of the evaluation of the quality of joints made by pulsed laser welding

Key words: laser welding, alloy ВНЖ7-3, ВТ1-0 titanium, the formation of welded joints

Повышение эксплуатационных характеристик приборов летательных аппаратов за счет снижения массы является актуальной задачей. С этой целью, замена мате-

риала осевой части ротора гироскопа, изготовленной из стали 20Х13 (плотность 8,1 г/см³) на сплав титана ВТ1-0 (плотность 4,5 г/см³), представляется целесообразной. При этом возникает необходимость изучения особенностей формирования и качества соединений сплава титана ВТ1-0 со спеченным вольфрамовым сплавом ВНЖ7-3.

Нагрузки на сварное соединение, возникающие при запуске и остановке изделия, связаны с инерционным крутящим моментом. Максимальное ускорение может достигать 100g, а скорость вращения 60000 об/мин. Величина инерционной силы вызывает в сварном соединении напряжения среза, которые достигают 150 Н. при радиусе ротора 16 мм. В связи с чем, основные требования к сварным швам предъявляются по прочности на срез и прочности на разрыв. От качества выполнения сварных швов зависит работоспособность изделия.

Целесообразность использования импульсных лазеров основана на таких существенных достоинствах, как широкие возможности регулирования плотности мощности в пятне нагрева; ограниченное тепловое воздействие на изделие; отсутствие электромагнитных полей, вызванных протеканием тока и др. [1,2].

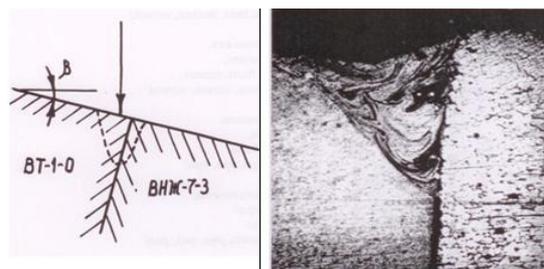


Рис.1. Схема наводки луча на стык и макроструктура сварного соединения в поперечном сечении

В результате экспериментальных исследований установлено, что при симметричной наводке луча на стыкуемые поверхности происходит смещение сварной точки в сторону сплава титана ВТ1-0 в пределах 18-20% от диаметра сварной точки. Наблюдалась выплески сплава титана ВТ1-0. Глубина проплавления со стороны сплава титана ВТ1-0 составляла 0,49 мм., тогда как со стороны сплава ВНЖ7-3 была ни-

чтожно малой. Для увеличения глубины проплавления сплава ВНЖ7-3 лазерный луч наводился под углом и смещенный в сторону сплава титана ВТ1-0, как показано на рисунке 1.

Таким образом, в режимы лазерной сварки сплава титана ВТ1-0 и сплава ВНЖ7-3 рекомендуется ввести новый параметр - угол наклона поверхности свариваемых изделий, по отношению к наводке луча. При этом обеспечивается наибольшая зона сплавления со сплавом ВНЖ7-3 при меньшей глубине его расплавления, но при одинаковой глубине проплавления обоих металлов. Такое соединение обеспечивает наибольшую прочность при испытании на срез, что и подтвердили механические испытания (прочности на срез 350-370 МПа, прочность на разрыв 540 МПа).

Изучена техника формирования сварного соединения при сварке и отработан способ наводки луча под углом, что обеспечивает требуемое очертание сварочной ванны и необходимую прочность сварного соединения. Угол наклона поверхности свариваемых встык металлов должен быть в пределах 18-22 градуса к горизонтали.

В макро- и микроструктуре сварных образцов видно, что образование сварного шва происходит главным образом за счет сплава ВТ1-0 при наличии заметного переходного слоя между сварной точкой и сплавом ВНЖ7-3. В структуре наблюдаются следы интенсивного перемешивания свариваемых металлов в жидкой ванне. На приведенной фотографии (рисунок 1) видно хорошее сплавление свариваемых сплавов. Основную долю в сварочной ванне занимает сплав ВТ1-0. В образовании сварочной ванны со стороны сплава ВНЖ7-3 участвует связующая составляющая Fe — Ni, как более легкоплавкая, а зерна вольфрама переходят в сварочную ванну не успев раствориться в жидком расплаве. Состояние микроструктуры на границе сплава ВНЖ7-3 показывает, что образуется хорошая структурная связь, которая может обеспечить необходимую прочность сварного соединения.

Рентгеноспектральным анализом определен характер распределения основных химических элементов (титана, вольфрама)

и их относительное количество в сварном шве. (Рисунок 2). На диаграмме видно, что в сварном шве содержится оба анализируемых элемента. Следовательно, в процессе сварки происходит перемешивание металла во всем объеме жидкой ванны. При этом тугоплавкий вольфрам получает распространение по всему объему ванны, достигая противоположной границы сварной точки. В распределении титана по поперечному сечению наблюдается более значительная неравномерность, чем у вольфрама. На участке, где наблюдается очень высокая концентрация вольфрама, содержание титана соответственно падает. Характер распределения вольфрама показывает, что в сварном соединении вольфрам присутствует не только в виде отдельных зерен, как очень тугоплавкий металл, но и в твердом растворе.

Выводы:

1. Изучена техника формирования сварного соединения при сварке сплава ВТ1-0 со сплавом ВНЖ7-3 и отработан способ наводки луча под углом, что обеспечивает требуемое очертание сварочной ванны и необходимую прочность сварного соединения.

2. Проведенные металлографические исследования и прочностные испытания на элементарных и натуральных образцах и характеристики сварных соединений соответствуют техническим требованиям (прочность на срез 350-370 МПа, прочность на разрыв 540 МПа).

3. Результаты исследований показали возможность лазерной сварки исследованных сочетаний металлов, на основе которых разработана технология сварки.

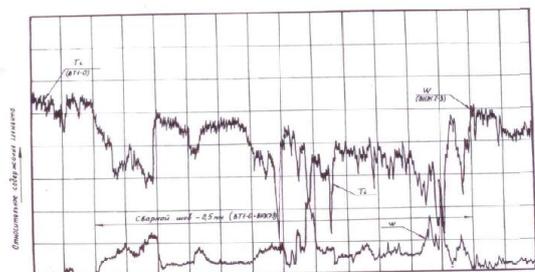


Рис. 2. Распределение содержания вольфрама и титана в поперечном сечении сварного шва ВНЖ7-3 и ВТ1-0, выполненного лазерной сваркой

Список литературы

1. Привезенцев В.И., Минаева Н.И. Особенности формирования сварных соединений при импульсной лазерной сварке узлов приборов из разнородных металлов. Сборник научных тру-

дов МНТК, МТУ, Москва. – 2016.

2. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. Машиностроение. – 1975.

УДК 620.179.147

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СИСТЕМЫ ELCUT ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЁННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ КОНТРОЛЕ НАРУЖНЫМ ПРОХОДНЫМ ВТП ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Родюков М.С., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва, 107996, РФ

© Автор для переписки: Родюков М.С. e-mail: msrod@yandex.ru

В работе рассматривается применимость расчёта методом конечных элементов (МКЭ) распределения напряженности магнитного поля в цилиндрическом объекте, при воздействии наружным проходным ВТП с однородным полем. Показано, что при расчёте МКЭ в системе ELCUT, для данной задачи, получается хорошая корреляция с известным аналитическим решением.

Ключевые слова: вихретоковая дефектоскопия, проходной вихретоковый преобразователь, метод конечных элементов

DEVELOPMENT OF ELECTROPOTENTIAL TRANSDUCER FOR DEFECTOMETRIC ESTIMATION OF DEPTH CLOSELY LOCATED CRACK OF STRESS-CORROSIVE ORIGIN

Rodyukov M.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Rodyukov M.S. e-mail: msrod@yandex.ru

The paper considers the applicability of finite element method (FEM) for the distribution of the magnetic field strength in a cylindrical object, when exposed to an external gateway of an Eddy current probe with a homogeneous field. It is shown that when calculating the FEM in the ELCUT system, for this task, a good correlation with the known analytical solution is obtained.

Keywords: eddy current flaw detection, eddy current eddy current transducer, finite element method

Аналитические выражения, описывающие распределение поля при взаимодействии вихретоковых преобразователей (ВТП) с контролируемым объектом, известны достаточно давно и описаны в ряде распространённых источников, например [1]. Однако применение данных выражений ограничено конструкциями ВТП без ферромагнитных сердечников, которые значительно расширяют область применения вихретокового метода контроля. Для расчёта подобных ВТП широко применяются системы численного моделирования на основе метода конечных элементов, в частности ANSYS, ELCUT, однако при проведении расчётов всегда стоит вопрос точности. Целью работы является определение точности численного расчёта в системе ELCUT путём сравнения результата численного расчёта с известным аналитическим решением для случая контроля цилиндрических объектов проходным ВТП с однородным полем.

Для моделирования выберем распределение напряжённости магнитного поля H в немагнитном электропроводящем цилиндре

при воздействии поля проходного ВТП. Расчётная модель приведена на рис. 1.

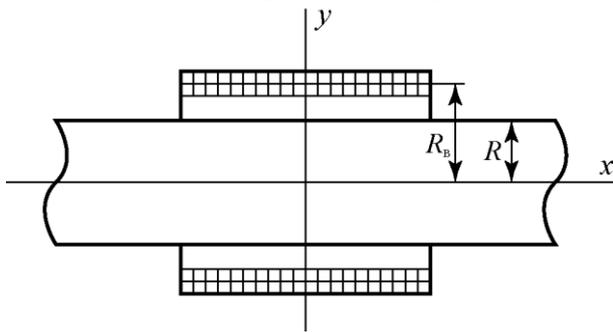


Рис. 1 – Расчётная модель взаимодействия проходного ВТП с цилиндрическим объектом

R_b – радиус возбуждающей обмотки ВТП,
 R – радиус цилиндрического объекта

Аналитическое выражение, для расчёта напряжённости магнитного поля внутри цилиндрического объекта, выглядит следующим образом [1]:

$$\underline{H} = \underline{H}_0 \frac{I_0(kr)}{I_0(kR)}$$

где I_0 – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка;

H_0 – напряжённость магнитного поля на поверхности цилиндра;

$\underline{k} = \sqrt{-j\omega\mu_a\sigma}$, $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, μ_a – абсолютная магнитная проницаемость, σ – удельная электрическая проводимость;

R – радиус контролируемого цилиндра;
 $0 < r < R$ – точка внутри цилиндра, для которой выполняется расчёт.

Расчёт по приведённому аналитическому выражению проводился в системе Octave (<http://www.gnu.org/software/octave/>), величина H_0 , в аналитическом расчёте была принята равной единице. Результаты численного расчёта нормировались на величину $H_{0\text{анл}} / H_{0\text{чис}}$.

Численный расчёт методом конечных элементов проводился в системе ELCAT (<http://elcut.ru/>). Данная система является отечественной разработкой, к преимуществам которой можно отнести широкие возможности по управлению созданием разбиением на конечные элементы и автоматическая перестройка сетки на основе проведённых расчётов [2].

Расчётная область, с разбиением на ко-

нечные элементы приведена на рис. 2., результат одного из расчётов около возбуждающих обмоток показан на рис. 3. Цветом на рис. 3. показано распределение среднеквадратического значения напряжённости магнитного поля, также приведены линии распределения векторного потенциала.

На рис. 4 приведено распределение отклонения (в процентах) численного расчёта от аналитического для напряжённости магнитного поля внутри половины цилиндра, находящегося внутри проходного ВТП. Распределения приведены для разного количества узлов сетки конечных элементов. Количество конечных элементов изменялось системой ELCUT автоматически, на основе проведённых расчётов.

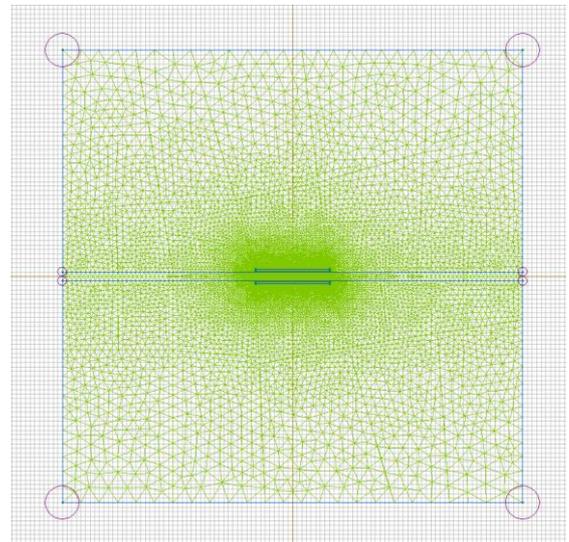


Рис. 2 – Расчётная область с разбиением на конечные элементы

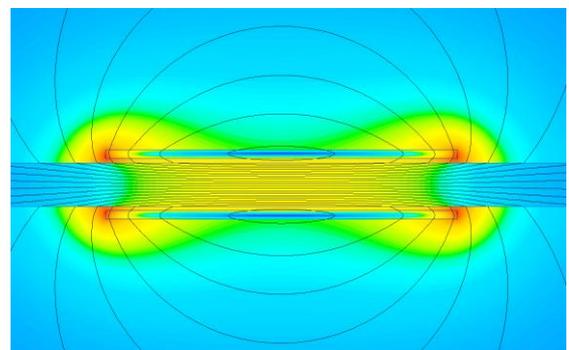


Рис. 4 – Распределение среднеквадратического значения напряжённости магнитного поля (цветное поле) и векторного потенциала (линии)

Как видно из приведённых зависимостей уже первоначально построенная сетка ко-

нечных элементов даёт хорошую точность расчёта (7 % от аналитического решения). Дальнейшее увеличение числа конечных элементов быстро приводит к уменьшению расхождения менее чем до 0,3 %, что в данном случае, становится пределом точности расчёта.

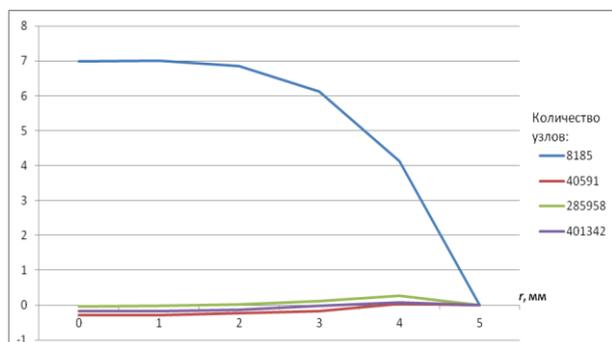


Рис. 4 – Отклонение численного решения от аналитического в процентах для разного количества узлов сетки в половине сечения цилиндра

Выводы

1. Система ELCAT позволяет вести численные расчеты распределения напряжённости магнитно поля в проводящем цилиндре с точностью до 0,3 % от аналитического решения
2. Алгоритмы автоматической перестройки сетки конечных элементов позволяют быстро достичь высокой точности расчёта.

Список литературы

1. *Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: Практик. пособие/ В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков; Под. Ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992. – 312 с.: ил.*
2. *Reutov Yu.Ya., Gobov Yu.L. Y.L., Loskutov V.E. Feasibilities of using the ELCUT software for calculations in nondestructive testing// Russian Journal of Nondestructive Testing. 2002. Т. 38. № 6. С. 425-430.*

УДК 621.771

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ БЕЗМОМЕНТНОЙ ТАРИРОВАННОЙ ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Филатова Н.В., к.т.н., доцент;
 Филатов А.А., к.т.н., научный сотрудник

Физико-технологический институт Московского технологического университета

Автор для переписки: Филатова Н.В.
 e-mail: nvfilatova@gmail.com

Работа посвящена развитию высокоэффективной технологии сборки и монтажа тяжелого металлургического оборудования, такого как редукторы и шестеренные

клетки, входящих в состав главных приводов рабочих клеток прокатных станов. В результате применения разработанных устройств, обеспечивается безмоментная тарированная затяжка резьбовых соединений большого диаметра и снижение аварийности при эксплуатации рассматриваемого оборудования.

Ключевые слова: металлургическое оборудование, резьбовые соединения, контролируемая затяжка

DEVELOPMENT OF DEVICE FOR MOMENTLESS CALIBRATED TIGHTENING OF LARGE-DIAMETER THREADED JOINTS USED IN THE HEAVY METALLURGY EQUIPMENT

Filatova N.V.;
 Filatov A.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute

Corresponding author e-mail: nvfilatova@gmail.com

In this work, we discuss the development of the technology

that is highly effective for the processes of assembly and installation of heavy metallurgy equipment such as gearbox and gear stands, which are part of main drives of working stands of rolling mills. We describe the use of devices developed as part of the discussed technology. These devices ensure the momentless calibrated tightening of large-diameter threaded joints and a reduction of the number of accidents in the heavy metallurgy equipment operation.

Key words: metallurgical equipment, Threaded connections, Controlled tightening

В процессе сборки тяжелого металлургического оборудования, такого как редукторы и шестеренные клетки главных приводов рабочих клеток прокатных станков и др., необходимо обеспечить как процесс затяжки, так и достаточно точное расчетное значение сил, формирующихся в стяжных шпильках в процессе из затяжки. В противном случае в процессе эксплуатации могут возникнуть негативные последствия, связанные с раскрытием, стягиваемых стыков корпусных деталей, а также стыков корпусами и фундаментами, на которых крепится рассматриваемое оборудование.

В работах [1, 2] рассмотрены традиционные способы затяжки резьбовых соединений. Одним из наиболее распространенных способов является затяжка динамометрическим ключом. При такой затяжке выдерживают момент завинчивания, который определяется по заданной силе затяжки шпильки расчетным или экспериментальным путем. Таким способом не может быть обеспечена достаточная точность силы затяжки, так как момент завинчивания зависит от трения в резьбе и трения между опорными поверхностями гайки и крышки шестеренной клетки. Еще одним недостатком затягивания резьбового соединения при помощи крутящего момента, прикладываемого к гайке, является появление дополнительных касательных напряжений в шпильке или болте. Появление этих касательных напряжений приводят к увеличению на 30% эквивалентных напряжений в стяжной шпильке или стяжном болте. Кроме того, практически сложно обеспечить затяжку динамометрическим ключом крупных резьбовых соединений с диаметром резьбы до 200 мм и силой затяжки до

3,0 МН. А именно такие параметры шпилек характерны для прессов, крупных редукторов и шестеренных клеток прокатных. В настоящее время на металлургических предприятиях для затяжки таких резьбовых соединений, как правило, применяют способ ударно-вращательной затяжки гаек или предварительный разогрев шпилек.

В процессе осуществления ударно-вращательной затяжки измерение силы затяжки не осуществляется, и сила, с которым будет затянута шпилька, зависит от субъективного мнения и квалификации монтажников, осуществляющих сборку оборудования. Была проведена экспериментальная проверка сил, с которыми производится ударная затяжка фундаментных болтов редуктора главного привода клетки №5 широкополосного стана горячей прокатки 2000. Редуктор главного привода крепится к фундаменту при помощи восьми анкерных болтов с диаметром резьбы 100 мм. Рекомендуемая разработчиками редуктора сила затяжки фундаментного болта составляет 800 кН. Для контроля сил затяжки на всех восьми анкерных болтах были наклеены проволочные тензодатчики. После осуществления затяжки анкерных болтов традиционным ударно-вращательным способом оказалось, что разброс сил затяжки находится в пределах 150 кН...1100 кН.

При использовании для затяжки предварительного разогрева в стяжной шпильке выполняют осевое отверстие. В это осевое отверстие могут быть вставлены электрические нагреватели или нагрев может осуществляться с помощью газопламенной горелки. В результате нагрева шпилька получает температурное удлинение. На нагретую шпильку наворачивают гайку до плотного соприкосновения с опорной поверхностью. После охлаждения до температуры окружающей среды в шпильке формируется сила затяжки, соответствующая уменьшению длины шпильки.

Использование предварительного разогрева стяжной шпильки позволяет исключить появление дополнительных касательных напряжений, связанных с силовым моментным закручиванием гайки, однако

такой способ монтажа имеет недостатки. Эти недостатки связаны с усложнением монтажа и, особенно, последующего демонтажа резьбового соединения. Кроме того, достаточно сложно обеспечить как равномерность нагрева шпильки, так и точность температурного удлинения.

Для монтажа и тарированной затяжки стяжных шпилек, применяемых в рассматриваемом оборудовании наиболее целесообразно использовать специальные гидравлические устройства.

На рисунке приведена конструкция устройства, обеспечивающего тарированную затяжку шпилек с диаметром резьбы 190 мм. Такие шпильки были применены для стягивания корпуса и крышки шестеренной клетки №2 непрерывного широкополосного стана 2000 горячей прокатки АО «Северсталь» [3].

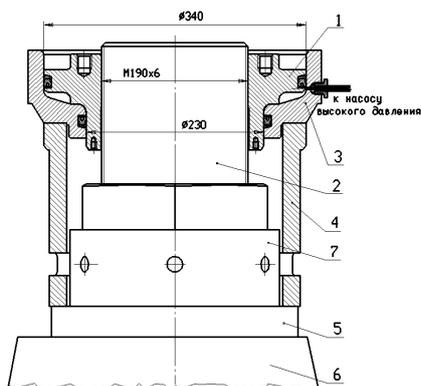


Рис. Гидравлическое устройство для тарированной затяжки шпилек шестеренной клетки (1 – плунжер гидрогайки; 2 – шпилька; 3 – корпус гидрогайки; 4 – проставка; 5 – шайба; 6 – крышка шестеренной клетки; 7 – гайка)

Устройство (гидрогайка) работает сле-

дующим образом. В полость, образованную между плунжером 1, навинченной на шпильку 2, и корпусом 3 устройства тарированной затяжки, закачивается масло под высоким давлением (до 100 МПа). Сила, возникающая между плунжером 1 и корпусом 3, через втулку 4 и шайбу 5 передается на корпус шестеренной клетки 6. В результате, шпилька растягивается и между шайбой 5 и торцевой поверхностью гайки 7 образуется зазор. Через окна втулки 4 гайка 7 свободно навинчивается на шпильку 2 до соприкосновения с шайбой 5.

После сброса давления в гидравлическом устройстве шпилька оказывается растянутой с расчетной силой. В связи с тем, что в процессе нагружения стяжной шпильки гайка навинчивалась без приложения силового момента, дополнительные касательные напряжения в стяжной шпильке отсутствуют.

Таким образом, разработанное оборудование (гидрогайка) позволяет при тех же эквивалентных напряжениях, формирующихся в шпильке, увеличить силу сжатия крышки и корпуса шестеренной клетки.

Список литературы

1. Иосилевич Г.Б. Детали машин. М.: Машиностроение. 1988. 368 с.
2. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие в двух книгах. М.: Машиностроение. 1988. 542 с.
3. Гарцман С.Д., Жуков А.А., Филатов А.А. Динамика и повышение долговечности двухвалковых шестеренных клеток на стане горячей прокатки. //Тяжелое машиностроение. 1997. №5. С. 39-40.

УДК 621.791

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Чунихин Н.Н., к.т.н., доцент, доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Чунихин Н.Н. e-mail: nchunihin@rambler.ru

Статья посвящена вопросам импульсной лазерной сварки деталей, изготовленных из металлов толщиной меньше 1мм. Рассматриваются вопросы получения сварных соединений без дефектов.

Ключевые слова: Импульсная лазерная сварка тонколистового металла, энергетические параметры импульсной лазерной сварки.

SOME PECULIARITIES OF PULSE LASER WELDING OF THIN METAL

Chunikhin N.N.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: e-mail: nchunikhin@rambler.ru

Article is devoted to pulsed laser welding of parts made of metal thickness of less than 1mm. The problems obtaining welded joints without defects.

Key words: Pulsed laser welding sheet metal, energy parameters of pulsed laser welding.

Точечная импульсная лазерная сварка часто применяется для соединения деталей, изготовленных из различных металлов и сплавов толщиной 0,05...1,0 мм. Установлено, что при точечной импульсной лазерной сварке изделий из тонколистовых металлов в сварных точках могут возникать дефекты в виде сквозных прожогов.

Рассмотрение условий, при которых происходит формирования точечных сварных соединений, показывает, что при воздействии высококонцентрированного импульсного лазерного излучения в зоне воздействия излучения, происходит нагрев металла до высоких температур. Материал проплавляется на всю толщину листа, а поверхностные слои испаряются в результате перегрева металла. Над поверхностью сварочной ванны формируется высокоскоростная газовая струя перегретого пара - парогазовый факел, оказывающая на расплавленный металл газодинамическое давление. Воздействие парогазового фактора на поверхность сварочной ванны может приводить к ее прогибу и образованию в центре сквозного отверстия [1].

При рассмотрении факторов, воздействующих на ванну расплавленного металла в тонком листе при импульсной лазерной сварке, установлено, что на расплав, в основном, оказывают силовое воздействие следующие факторы: - газодинамическое давление парогазового факела; - давление лазерного излучения (светового потока); - гидростатическое давление расплавленного металла сварочной ванны и - давление, обусловленное силами поверхностного натяжения. Влиянием на сварочную ванну давления лазерного излучения (светового потока) и гидростатического давления расплавленного металла сварочной ванны можно пренебречь, ввиду их незначительности.

Принимая во внимание, что после окончания импульсного нагрева металла газодинамическое давление парогазового факела прекращается, в сварочной ванне происходят гидродинамические процессы, в основном обусловленные действием на расплав сил поверхностного натяжения - N [2].

$$N = \sigma \left(\frac{R}{1 - \frac{r}{R}} \right), \quad (1)$$

где σ - коэффициенты поверхностного натяжения;

R, r - радиусы кривизны двух нормальных взаимоперпендикулярных сечений поверхностей.

В оценочных расчетах по формуле (1) было принято, что максимальный диаметр отверстия в центре ванны равен диаметру сварной точки $dt = 2r$, а края отверстия в ванне криволинейны и описываются радиусом $R = \delta / 2$, где δ - толщина листового металла.

Принимая во внимание, что сила N направлена от центра сварной точки находим

$$N = [(\delta/2)/1 - (dt/2)/1]. \quad (2)$$

Учитывая, что нагрев металла происходит импульсным лазерным излучением, на последних стадиях которого, образовавшееся отверстие в центре ванны может затягиваться под действием сил поверхностного натяжения, получаем

$$dt / \delta < 1. \quad (3)$$

Это зависимость показывает, что формирование сварных точек при условии

проплавления листовых материалов импульсным лазерным излучением на всю толщину, в основном, определяется диаметром сварной точки d_t и толщиной листового металла δ .

Оценочные расчеты, произведенные по соотношению (3), позволили установить, что получение соединений без прожогов возможно в том случае, если толщина металла значительно превышает диаметр сварной точки.

В работе проведены экспериментальные исследования импульсной лазерной сварки различных металлов толщиной 0,05...0,1 мм. на технологических лазерах типа Квант 15 и LRS 50.

Экспериментально получены соотношения типа (3), которые позволяют назначать основные энергетические параметры режима импульсной лазерной сварки различных тонколистовых материалов, гарантирующие получение сварных соединений без дефектов в виде сквозных прожогов.

Список литературы

1. Катаяма С. Справочник по лазерной сварке. – М.: Издательство: Техносфера, 2015г. с. 704.
2. Ерохин А.А., Иценко Ю.С. Особенности расчета кривизны ванны и сил поверхностного натяжения при сварке. - Физика и химия обработки материалов, 1967, N 1, с. 39-44

УДК 621.7

МОДЕЛЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ СТАЛИ ХН77ТЮР

Албагачиев А.Ю., д.т.н., профессор;
Преображенская Е.В., к.т.н., доцент;
Краско А.С., аспирант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Албагачиев А.Ю.
 e-mail: albagachiev@yandex.ru

Работа посвящена описанию разработанной авторами математической модели, позволяющей определить тангенциальную силу резания при высокоскоростном резании жаропрочной стали ХН77ТЮР.

Ключевые слова: высокоскоростная обработка, сила резания, температура резания, напряжение текучести, усадка стружки.

MODEL OF HIGH-SPEED CUTTING STEEL ХН77ТЮР

Albagachiev A.Yu;
Preobrazhenskaia E.V.;
Krasko A.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author Albagachiev A.Yu
 e-mail: albagachiev@yandex.ru

The work is devoted to the description of a mathematical model developed by the authors, which makes it possible to determine the tangential force of cutting during high-speed cutting of heat-resistant steel ХН77ТЮР.

Keywords: high-speed machining, cutting force, cutting temperature, yield stress, shrinkage.

В авиационном машиностроении все большую тенденцию приобретает использование жаропрочных и титановых сплавов для изготовления ответственных деталей двигателей современных летальных аппаратов. Вместе с тем, применение подобного рода материалов ведет к увеличению трудоемкости изготовления деталей и общему снижению производительности производства.

Очевидным вариантом решения проблемы снижения производительности является увеличение количества дорогостоящего обрабатывающего оборудования в цехах, что приводит к чрезмерному удорожанию изделий авиапрома.

Применение современных технологий

обработки резанием, в частности, высокоскоростной обработки, позволяет добиться увеличения производительности при обработке большинства материалов, а также увеличения качества поверхностного слоя деталей [1].

$$k_c = \cos^2 \gamma \left\{ 2\mu(1 - tg \gamma) + \sqrt{[2\mu(1 - tg \gamma)]^2 + \left[\frac{4\mu}{\cos \gamma} + 1 - 2\mu \right] \frac{1}{\cos^2 \gamma}} \right\}, \quad (1)$$

где γ – передний угол резца; μ – коэффициент трения.

2. Температура в зоне резания:

$$t^o = \frac{1}{\frac{1}{2t_{\text{плав}}^o} + \frac{1}{\sigma_s F_t}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{плав}}^o$ – температура плавления материала заготовки, °C; σ_s – напряжение текучести, МПа; F_t – температурный показате-

$$P_z = 1,155 \sigma_{st} s_o t \left\{ \left[1 + \mu(1 - tg \gamma) + \frac{(0,5 + \mu)}{2k_c} \right] \cos \gamma + \frac{k_c}{4 \cos \gamma} + \mu \sin \gamma + \frac{\mu l_3}{s_o \sin \varphi} + \frac{k_c s_o \sin^2 \varphi}{4t \cos \gamma} \right\}, \quad (4)$$

где s_o – оборотная подача, мм/об; t – глубина резания, мм; l_3 – длина контакта задней поверхности резца с обработанной поверхностью заготовки, мм; φ – главный угол в плане резца.

Данный алгоритм, с учетом уравнений для определения вспомогательных величин, является довольно громоздким. Поэтому для его решения нами был использован программный пакет MathCAD, который позволил автоматизировать процесс расчета всех величин.

Определяя температуру в зоне резания при различных скоростях, получаем кривую, представленную на рис. 1.

Как видно из графика, с ростом скорости резания рост температуры замедляется, что объясняется перераспределением тепловых балансов между зонами: «заготовка – стружка»; «передняя поверхность резца – стружка»; «задняя поверхность резца – заготовка» [3].

На рис. 2 показаны кривые перераспределения тепловых потоков, полученные для пары: инструментальный материал – Т15К6; обрабатываемый материал – сталь ХН77ТЮ [4].

Кривые изменения тепловых потоков показывают, что с ростом скорости резания происходит перераспределение потоков тепла образуемого в зоне резания. Например, в зоне контакта стружки с заго-

товкой, большая часть тепла удаляется из зоны резания со стружкой. Этим и объясняется снижение темпа роста температуры в зоне резания (рис. 1).

1. Коэффициент усадки стружки:

2. Температура в зоне резания:

3. Напряжение текучести материала в зависимости от температуры (для жаропрочных сплавов):

$$\sigma_{st} = \sigma_s \left(1 - \frac{t^o}{3000 \text{ °C}} \right) \quad (3)$$

4. Тангенциальная сила резания при точении:

товкой, большая часть тепла удаляется из зоны резания со стружкой. Этим и объясняется снижение темпа роста температуры в зоне резания (рис. 1).

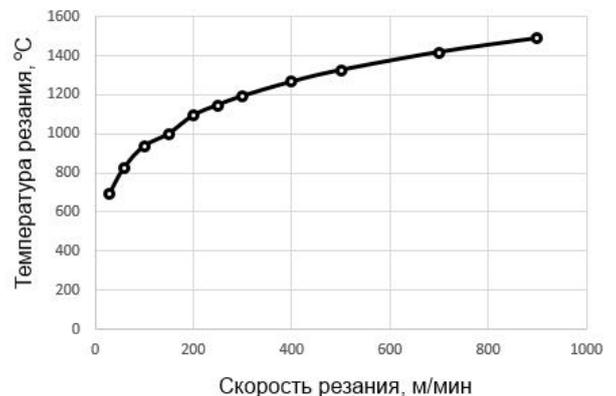


Рис. 1. Зависимость температуры в зоне резания от скорости резания стали ХН77ТЮР

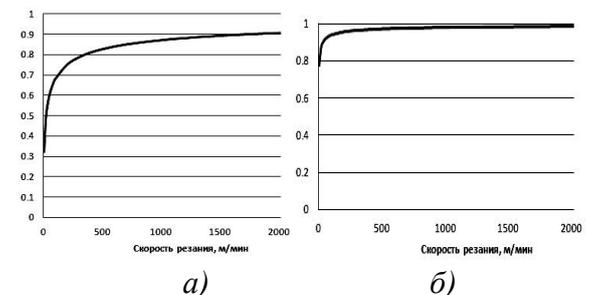


Рис. 2. Распределение тепловых потоков в зоне резания: а) «заготовка – стружка» б) «передняя поверхность резца – стружка»

Проведя аналитические расчеты по формулам (3) и (4) были получены изменения напряжения текучести обрабатываемого материала и тангенциальной силы резания в зависимости от скорости резания (рис. 3).

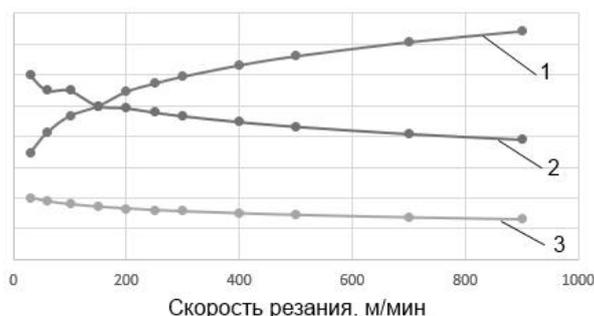


Рис.3 – Зависимости температуры (1), напряжения текучести (2) и тангенциальной силы (3) от скорости резания

И последних графиков видно, что с ростом температуры в зоне резания, наблюдается снижение напряжения текучести и, как следствие, тангенциальной силы реза-

ния до 600-700 м/мин. При дальнейшем увеличении скорости резания интенсивность снижения силы резания не значительна.

Список литературы

1. *The History of High-Speed Machining*. Herbert Schulz. Prof. Dr.-ing., Institute of Production Engineering and Machine Tools (PTW). 2004.
2. Албагачиев А.Ю., Преображенская Е.В., Краско А.С. Моделирование высокоскоростного резания / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. № 5 (319), 2016. Орел. – С. 49-52.
3. Воронцов А.Л., Албагачиев А.Ю., Султанзаде Н.М. *Теоретические основы обработки металлов в машиностроении: монография*. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 522 с.
4. Албагачиев А.Ю., Краско А.С. *Теплофизика высокоскоростного резания. Актуальные проблемы приборостроения, информатики и социально-экономических наук: сборник трудов научно-практической конференции. Секция: Научно-технологические технологии в машиностроении*. – М.: МГУПИ, 2014.

УДК 621.865

ВЛИЯНИЕ УПРУГОСТИ ЗВЕНЬЕВ НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ РАДИОТЕРАПИИ

Трофимова Г.Н., старший преподаватель кафедры электротехники и механики

Попова Л.В., старший преподаватель кафедры электротехники и механики

Физико – технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Трофимова Г.Н. e-mail: trofimovagn@gmail.com

Работа посвящена точности позиционирования манипулятора (для облучения), так как отклонение облучателя

от зоны облучения может привести к ожогу здоровой части тела пациента. В качестве оценочного критерия выбран показатель точности позиционирования, который является следствием упругих деформаций звеньев и колебаний облучателя, вызванных действием сил.

Ключевые слова: упругие деформации, колебания, жесткость, амплитуда, резонанс.

THE INFLUENCE OF THE ELASTICITY OF THE LINKS ON THE POSITIONING ACCURACY OF THE MANIPULATOR FOR RADIOTHERAPY.

Trofimova G.N.;
 Popova L.V.

Institute of Physics and Technology of Moscow Technological University

© Written for correspondence: Trofimova G.N. E-mail: trofimovagn@gmail.com

The work is devoted to the accuracy of the positioning of the manipulator (for irradiation), since the deviation of the irradiator from the irradiation zone can lead to a burn of the healthy part of the patient's body. The index of positioning accuracy, which is a consequence of the elastic deformations of the links and vibrations of the irradiator caused by the action of forces, is chosen as the evaluation criterion.

Key words: elastic deformations, oscillations, rigidity, amplitude, resonance.

Для описания колебательного процесса в манипуляторе составлена исходная модель, в которой звенья представлены в виде упругих элементов с жесткостью C_i и коэффициентом демпфирования K_i (рис. 1).

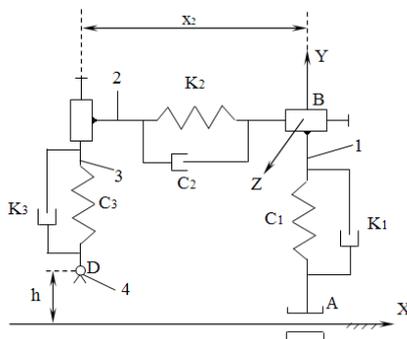


Рис.1. Упругая модель манипулятора

Колебательный процесс описан системой дифференциальных уравнений

$$\Delta X_2 = \frac{1}{EJ_x} \left[\frac{1}{3} \ell^2 (F_{u_2} x_2 + F_{u_3}^{(2)} x + F_{u_4}^{(2)} x) \right] = 0,00932 \text{ мм} \quad (7)$$

$$\Delta X_3 = \frac{1}{EJ_y} \left[\frac{1}{3} h^2 (F_{u_3} h_2 + F_{u_4} h_1) \right] = 0,00062 \text{ мм}$$

Для режима, когда система ABCD вращается как одно звено вокруг оси A определялась амплитуда механических колебаний облучателя при подходе к точке позиционирования при нагруженном интервале вращения звена 1. На интервале $t_1=0 - 0.25$ мин ускорение возрастает и амплитуда колебаний равна A_1 .

$$\Delta X_2 = \frac{1}{EJ_{x_2}} \left[\frac{1}{3} \ell^2 (F_{u_2} X_2 + (F_{u_3} + F_{u_4}) X) \right] = 0,38 \text{ мм} \quad (10)$$

$$\Delta X_3 = \frac{1}{E(J_{x_3} + J_{x_4})} \left[\frac{1}{3} h^2 (F_{u_2} X_2 + F_{u_3} h_2 + F_{u_4} h_1) \right] + \frac{1}{GJ_p} \ell_1 X (F_{u_2} X_2 + F_{u_3} h_2 + F_{u_4} h_1) = 0,46 \text{ мм}$$

J_p и J_x – полярный и осевой моменты

$$Y_1 \ddot{q}_1 + C_1 \ell_{AB} + K_1 \ell_{AB} \dot{q}_1 = -C_1 \Delta_{D_1}; \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{q}_2 + C_2 X_2 + K_2 X_2 \dot{q}_2 = -C_2 \Delta_{D_2}; \quad (2)$$

$$(m_3 + m_4) \ddot{q}_3 + C_3 h + K_3 h \dot{q}_3 = -C_3 \Delta_{D_3}, \quad (3)$$

где $\Delta_{D_1}, \Delta_{D_2}, \Delta_{D_3}$ – накопленная погрешность позиционирования точки D от упругости звеньев $K_i = \sqrt{\frac{C_i}{m_i}}$ – парциальная

частота вращения. такой частотой происходили бы собственные колебания в рассматриваемой системе:

$$\Delta_{D_1} = \frac{m_1 q}{c_1}; K_1 = \sqrt{\frac{C_1}{m_1}}; \Delta_{D_1} = \frac{q}{K_1^2}; \quad (4)$$

$$\Delta_{D_2} = \frac{m_2 q}{c_2}; K_2 = \sqrt{\frac{C_2}{m_2}}; \Delta_{D_2} = \frac{q}{K_2^2}; \quad (5)$$

$$\Delta_{D_3} = \frac{m_3 q}{c_3}; K_3 = \sqrt{\frac{C_3}{m_3}}; \Delta_{D_3} = \frac{q}{K_3^2}; \quad (6)$$

Колебания системы рассматривались в двух режимах работы: поступательного перемещения звеньев 2 и 3 и вращения системы ABCD вокруг оси A.

Для режима, когда поступательно-поочередно перемещаются звенья 2 и 3 при неподвижном звене 1 линейные деформации звеньев определялись по формулам:

$$A_1 = A_{CT} \left[1 + \frac{1}{\lambda t_1} \sin \lambda t_1 \right], \quad (8)$$

$$A_{CT} = \Delta X_2 + \Delta X_3 = 0,84 \quad (9)$$

A_{CT} – амплитуда при статическом приложении внешних сил (рис.2).

инерции; E и G – модуль упругости и модуль

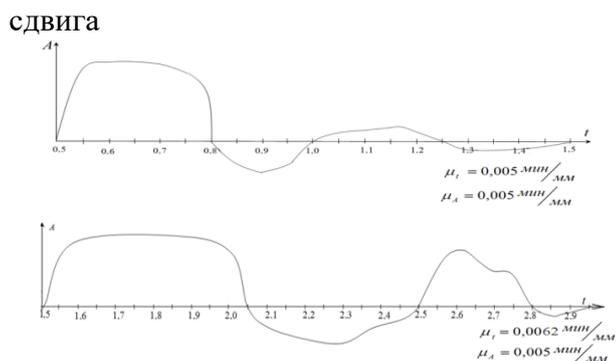


Рис. 2. Графики амплитуды колебаний.

Характер колебательного процесса показан на рис. 3.

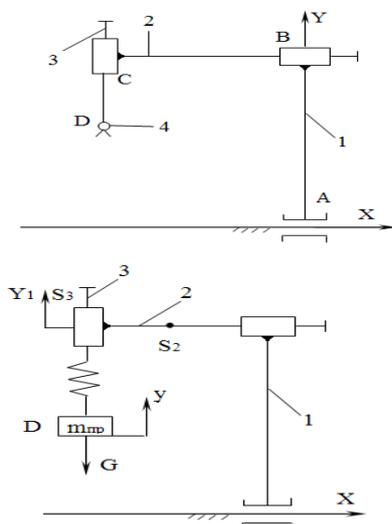


Рис. 3. Иллюстрация действия упругих сил звена 4

Расчеты значений амплитуд показали, что предыдущие колебания успевают затухнуть до начала предыдущих колебаний, то есть колебания не накладываются друг на друга при прерывистом вращении системы ABCD. При вращении системы ABCD звено 4 (облучатель) получает обратно – поступательное колебание звена 4 вдоль оси Y, то есть имеет место эффект “мячика”.

Ошибка положения звена 4 вдоль оси Y определяется по формулам:

$$m_{np} \frac{d^2 Y}{dt^2} = C(y_1 - y) - G(t); \quad (11)$$

$$\frac{m_{np} V_D^2}{2} = (J_1 + J_2 + J_3 + J_4) \frac{\omega_1^2}{2} + \frac{m_4 V_D^2}{2} + \frac{m_3 V_{S_3}^2}{2} + \frac{m_2 V_{S_2}^2}{2} \quad (12)$$

$$m_{np} = (J_1 + J_2 + J_3 + J_4) u_1^2 + m_4 + m_3 u_3^2 + m_2 u_2^2 \quad (13)$$

$$u_1 = \frac{\omega_1}{V_D}; \quad V_D = \omega_1 h_1; u_1 = \frac{1}{h_1}; \quad u_2 = \frac{V_{S_2}}{V_D};$$

$$V_{S_2} = \omega_1 \ell_1; u_2 = \frac{\ell_1}{h_1};$$

$$u_3 = \frac{V_{S_3}}{V_D}; V_{S_3} = \omega_1 h_2;$$

$$u_2 = \frac{h_2}{h_1}; \ddot{y} = \ddot{y}_{очн} + \ddot{y}_{дон} \quad \ddot{y}_{дон} = \frac{\dot{y}}{dt}$$

$\ddot{y}_{очн} = \ddot{y}_1$ – при работе на режимах, далеких от резонанса (дорезонансные режимы).

Произведя последовательный расчет по предложенным выше формулам, получаем численные значения ошибки положения облучателя, максимальные значения дополнительной динамической нагрузки, возникающей в манипуляторе, когда звенья работают на режиме переходного процесса (начало и конец движения). Надо отметить, что для данного манипулятора вертикальные колебания малы и не будут оказывать вредного воздействия.

Список литературы

1. Трофимова Г.Н. Медицинская робототехническая система для лечения методом радиооблучения. /Новые информационные технологии/ Под общ.ред. Хныкина А.П.- М: МГАПИ, 2005.-С.163
2. Трофимова Г.Н. Принципы построения схемы манипулятора робота для радиотерапии. /Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и Экономии/: Сб. научных трудов.- М: МГУПИ, 2006.- С.130.
3. Трофимова Г.Н. Формирование базы данных, необходимой для разработки системы управления медицинским роботом для радиотерапии. Изд. «Наука», Вестник развития науки и образования. Москва, № 2, 2007. С.12.

УДК 656.01

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА У АТС

Гуров М.Н., преподаватель
Московкин В.В., д.т.н., профессор
Егорушкин Е.А., к.т.н., профессор,
зав. кафедрой

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: М.Н. Гуров e-mail: gurov-mn@yandex.ru

В данной статье показаны некоторые простейшие возможности по применению топливного баланса для выявления резервов топливной экономичности АТС.

Ключевые слова: топливо, автомобиль, топливный баланс

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF VARIOUS ACTIONS FOR DROP OF FUEL CONSUMPTION AT AUTOMATIC TELEPHONE EXCHANGE

Gurov M.N.
Moskovkin V.V.
Egorushkin E.A.

Physicotechnological - institute of technology of university

@Corresponding author: M. N. Gurov of e-mail: gurov-mn@yandex.ru

Some elementary opportunities for use of fuel balance for identification of reserves of fuel efficiency of automatic telephone exchange are shown in this article.

Keywords: fuel, car, fuel balance

Топливный баланс автомобиля имеет важное научное и практическое значение, так как на его основе определяются при-

оритетные направления работ, и оценивается эффективность различных мероприятий. Из-за его отсутствия, все время появляются сообщения о большой экономии топлива (десятки процентов) за счет аэродинамических обтекателей, присадок к моторным и трансмиссионным маслам, распылителям топливно-воздушной смеси, микропроцессорных систем для управления двигателем и трансмиссией и т.п.

Для иллюстрации теоретических основ топливных балансов разработанных различными авторами используем автомобиль Volvo (6x4) с дизелем при движении по горизонтальному шоссе со скоростью 60 км/ч. При выборе данного автомобиля руководствовались следующими соображениями. Он проходил испытания в НАМИ и занимает промежуточное положение по массе между одиночными грузовиками и автопоездами, а так же по колесной формуле между наиболее распространенными вариантами 4x2 и 6x6.

Так, на основе теории проф. Н. В. Дивакова (МАМИ) можно установить, что у данного автомобиля на аэродинамику расходуется 10% топлива. Аналогичный результат получим, если воспользуемся разработками д.т.н. Токарева А. А. (МАДИ), д.т.н. Безбородовой Г. Б. (Киевский автодорожный институт), специалистов завода ИФА (Германия) и фирмы Тойота. Мнения других исследователей по данному вопросу не совпадают выводами с перечисленных авторов. Так, Наркевич Э.И., Резниченко В.А. и Киселев Н.С. (Дмитровский Автополигон) и д.т.н. Петрушов В.А. (НАМИ) считают, что здесь затраты топлива на аэродинамическое сопротивление должны быть 21%, к.т.н. Медовщиков Ю.В. (МАДИ) и специалисты исследовательских лабораторий Дженерал Моторс и Мицубиси –31%, исследователи большинства фирм, входящих в ЕС (Мерседес, ДАФ, Рено и др.) –50%.

Еще более удивительные данные приводит в учебнике проф. Гришкевич А.И. Он утверждает что, если снизить аэродинамическое сопротивление магистрального автопоезда на 12,5%, то расход топлива его уменьшится на 25%. Такое соотношение можно получить только в том случае, если

удельный вес аэродинамического сопротивления в топливном балансе данного автопоезда был бы 200%!

Примерно о таком же соотношении между расходом топлива и аэродинамическим сопротивлением заявляет фирма Kenworth. Рекламируя свои автомобили, она утверждает, что их компоновка (кабина за двигателем) по сравнению с распространенной в Европе компоновкой (кабина над двигателем) позволяет сэкономить 22% топлива, хотя аэродинамического сопротивление из-за такой формы снижается только на 10-12%.

В общем случае движения автомобиля его расход топлива в л/100 км - Q_s зависит от величины произведенной двигателем механической работы ($P_i \times 100$ км), параметра g_{is} и плотности топлива ρ :

$$Q_s = \frac{g_{is}}{\rho} P_i \quad (1)$$

где g_{is} – удельный индикаторный расход топлива, г/Н·100 км.

$P_M + P_\tau + P_{тр} + P_f + P_w + P_j + P_\alpha = P_i$
 – суммарная сила сопротивления движению автомобиля, приведенная к его колесам. Ее численное значение определяется суммой всех видов механических потерь, имеющих место при движении автомобиля: механических сопротивлений в двигателе – P_M (трение поршней о стенки цилиндров, привод насосов и системы газораспределения и т.п.), сопротивлений от привода вспомогательного оборудования – P_τ (вентилятор, компрессор, генератор и т.п.), сопротивлений в трансмиссии – $P_{тр}$, сопротивления качению шин – P_f , аэродинамического сопротивления – P_w , сил инерции – P_j и сил затраченных на преодоление подъемов – P_α .

Математическая зависимость (1) реализуется в компьютерной программе МВК, которая позволяет проводить лабораторно-дорожные испытания транспортных средств расчетным методом и получать основные эксплуатационные характеристики.

Теперь с помощью (1) построим топливный баланс упомянутого выше автомобиля Volvo (6x4). Для анализа степени со-

вершенства рабочего процесса установленного на нем двигателя используем выраженный в процентах новый удельный показатель $\Delta = \Delta g_{is} / g_{is o}$. Или привычный для многих индикаторный КПД двигателя:

$$\eta_i = \frac{g_{is o}}{g_{is}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Топливный баланс автомобиля Volvo (6x4) показан на рис. 1. Здесь для получения единицы механической работы затрачено столько же (100%) тепловой энергии $\Delta = 100\%$. Индикаторный КПД = 50%. Это означает, что в данном режиме движения автомобиля его двигатель для преодоления каждой силы в 1 Н на пути 100 км потребляет 4,66 г дизтоплива. Из них 2,33 г преобразуется в механическую работу $g_{is o} = 2.33$ г, и столько же 2,33 г в потери тепловой энергии $\Delta g_{is} = 2.33$ г, через стенки цилиндров, систему охлаждения, с выхлопными газами и т.п.

Теперь покажем применение топливного баланса для выявления резервов повышения топливной экономичности у автомобиля Lada Vesta за счет систем Stop-Start, i-Stop и использования гибридных систем.

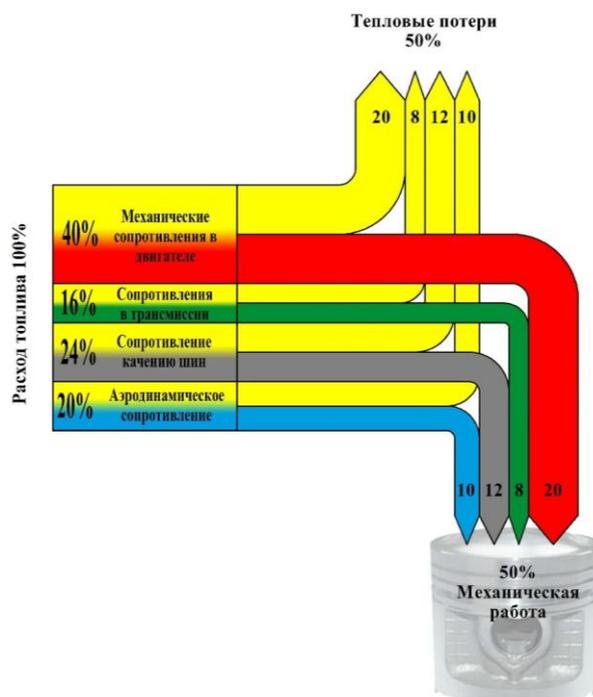
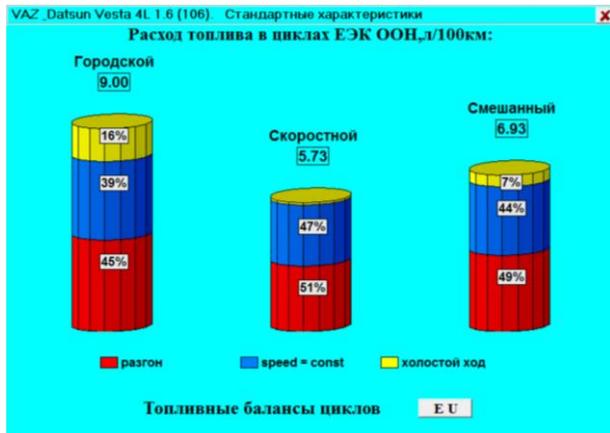
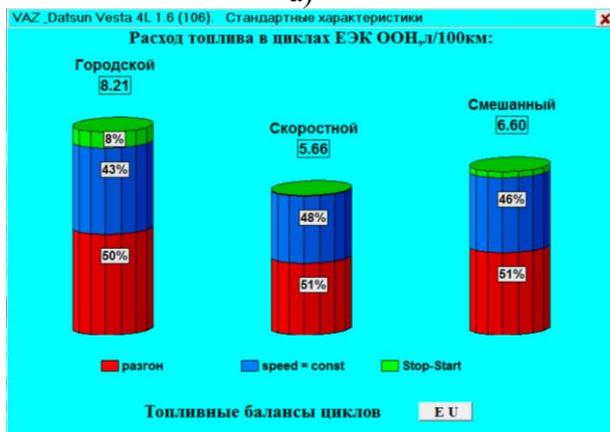


Рис. 1. Топливный баланс автомобиля Volvo (6x4)

Эффективность систем Stop-Start, i-Stop. На рис. 2а показано распределение затрат топлива по режимам движения в цикле EU. Основным интерес представляет городской цикл. Здесь затраты топлива распределяются следующим образом: холостой ход - 16%, равномерное движение - 39% и разгоны 46%.



а)



б)

Рис. 2. Топливные балансы циклов EU для автомобиля Lada Vesta при отсутствии – «а» и наличии – «б» системы Stop-Start.

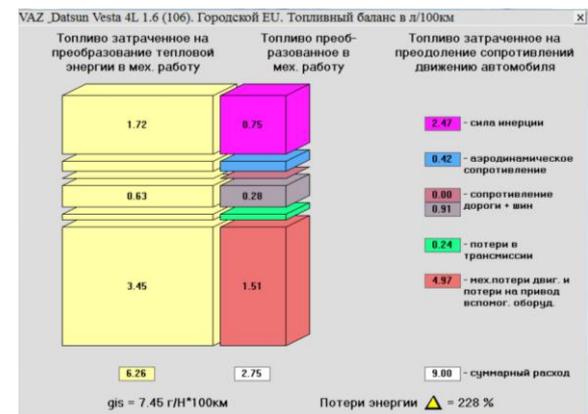
На рис. 2б показан топливный баланс, в котором в место затрат топлива на холостой ход, приведены затраты топлива необходимые для работы системы Stop-Start которые составляют примерно 8% (7,5 % от расхода топлива на рис 2а). Разница между 16% и 7,5% даст результат экономии топлива за счет установки системы Stop-Start на автомобиле Lada Vesta - 8,5%.

Система i-Stop в отличие от Stop-Start работает отдельно от системы генератор-аккумулятор-стартер и для запуска двигателя использует энергию, полученную

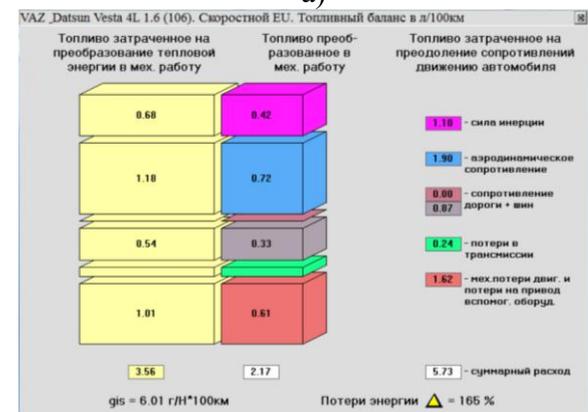
за счет рекуперации. Поэтому экономия топлива при ее использовании на автомобиле Lada Vesta составляет 16%.

При оценке эффективности автомобиля с гибридными схемами мы должны проанализировать три составляющие топливного баланса: тепловые и механические сопротивления в двигателе и силы инерции. Первые две составляющие определяют потери энергии, а третья величину ее рекуперации.

Известно, что все познается в сравнении. При анализе топливных балансов механические сопротивления в двигателе и силы инерции мы имеем возможность сравнивать между собой и другими составляющими сопротивления суммарного сопротивления движению, а тепловые потери сравнить не с чем, поэтому выбрали для него аналог с практически такой же мощностью двигателя - Fiat 500L.



а)



б)

Рис. 3. Топливные балансы циклов EU для автомобиля Lada Vesta: а- городской; б- скоростной

На рис. 3а и 3б приведены топливные балансы автомобиля Lada Vesta в город-

ском и скоростном циклах EU. Анализ приведенных данных показывает, что в городском цикле наибольший удельный вес имеют механические сопротивления в двигателе 4,97 л/100 км (55 %), в тоже время силы инерции, за счет которых можно рекуперировать энергию, сравнительно невелики 2,47 л/100 км (27 %). Имеются резервы по тепловым потерям в двигателе, они составляют существенную величину 228 %, что в полтора раза больше чем у автомобиля Fiat 500L (151%), при аналогичных условиях движения.

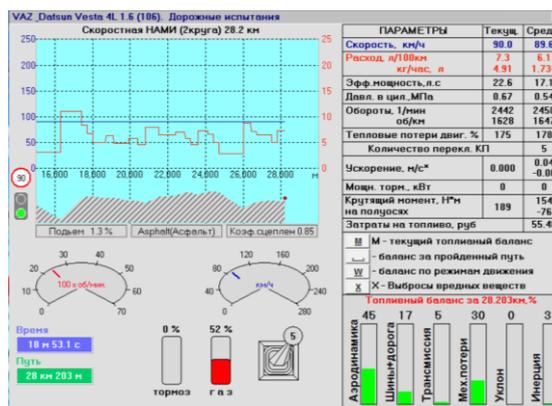
В скоростном цикле резервы по повышению топливной экономичности на много скромнее. Здесь на механические сопротивления в двигателе приходится 1,62 л/100 км (28 %) топлива и меньше расходуется топлива на преодоление сил инерции - 1,18 л/100 км (19 %). Скромнее резервы по тепловым потерям в двигателе 165 % (Fiat 500L - 128%).

На рисунках 4а и 4б приведены топливные балансы при движении автомобиля Lada Vesta в реальных дорожных условиях.

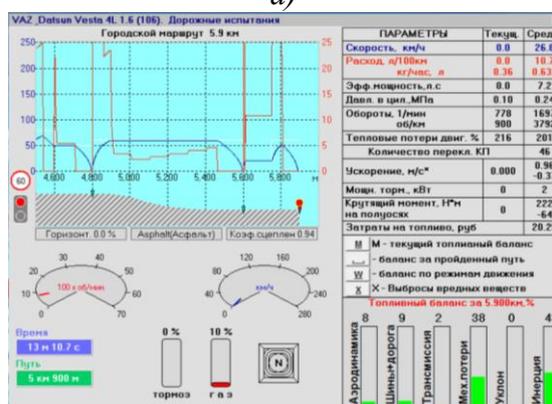
На рис. 4а показан топливный баланс при прохождении скоростной дороги Дмитровского автополигона. Установлено ограничение скорости 90 км/ч при разгонах используется 80% мощности двигателя. Здесь представляет интерес для снижения только одна составляющая топливного баланса - механические сопротивления в двигателе -30%.

На рис. 4б показан топливный баланс при прохождении городского маршрута. Условия движения: при разгонах используется 50% мощности двигателя, степень использования тормозов – 8%. Здесь интерес для повышения топливной экономичности представляют механические сопротивления в двигателе -38% и тепловые потери в двигателе - 208% (Fiat 500L -

169%). Имеются неплохие возможности по рекуперации энергии -43%.



а)



б)

Рис. 4 Топливные балансы автомобиля Lada Vesta: а – при движении по скоростной дороге Дмитровского автополигона; б – на городском маршруте.

В данной статье показано только некоторые простейшие возможности по применению топливного баланса для выявления резервов топливной экономичности АТС. Опыт показывает, что обычно любая работа такого плана требует более глубоких исследований.

Список литературы

1. Московкин В.В., Гуров М.Н., Шкель А.С., Вохминов Д.С. – Программный пакет для комплексных исследований автомобиля.

УДК 621.373.8

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ГАБАРИТЫ СВАРНОЙ ТОЧКИ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ

Белоусов И.В., ассистент;
Боровик Т.Н., ст. преподаватель

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Белоусов И.В. e-mail:
b.k.201@bk.ru

Современное сварочное производство не обходится без использования лазерного излучения, во многих случаях оно оказывается незаменимым, что обусловлено рядом достоинств. Но несмотря на ряд преимуществ у процесса лазерной сварки есть существенный недостаток – это сварка металлов с высокой отражающей способностью, при которой основная часть энергии в процессе сварки теряется. Целью данной работы является изучение методов повышения эффективности проплавления серебра в условиях импульсной лазерной сварки.

Ключевые слова: импульсная лазерная сварка; присадочный материал; длительность импульса; диаметр проплавления; глубина проплавления.

INFLUENCE OF ADDING MATERIAL ON THE SIZES OF THE WELD-FABRICATED POINT AT THE IMPULSE LASER WELDING

Belousov I.V.;
Borovik T.N.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: b.k.201@bk.ru

Modern welding production can not do without the use of laser radiation, in many cases it becomes indispensable, due to many advantages. But despite a number of advantages of the laser welding process, there is a significant disadvantage - it is welding of metals with high reflectivity, in which the bulk of the energy in the welding process is lost. The aim of this work is to study methods for increasing the efficiency of

silver penetration under conditions of impulse laser welding.

Key words: impulse laser welding; adding material; impulse duration; diameter of melting; depth of penetration.

Процесс сварки осуществлялся на двух одинаковых серебряных образцах, габаритами 30x10x2мм. Сварка производилась точками без перекрытия. Это условие явилось необходимым для последующего изучения полученного результата, путем разлома образцов и изучения поперечного сечения полученного сварного соединения.

Для наблюдения, измерения и фиксирования параметров полученной сварной точки использовалось дополнительное оборудование – микроскоп с фотонасадкой.

Опыт проводился на установке импульсной лазерной сварки «LRS-50».

В качестве присадочного материала использовались 12X18H10T в виде проволоки, толщиной 0,4 мм, и NiAl, представленный в виде гранулированного порошка, диаметром 45 мкм.

Таблица 1
Результаты проведенного исследования

Материал:	t ₁ , мс		t ₂ , мс	
	dт, мм	h, мм	dт, мм	h, мм
Ag	0,543	1,31 6	0,38	1,07
Ag + NiAl	0,601	2,00 2	0,543	1,53
Ag +12X18H10T	0,653	1,42	0,585	1,144

При исследовании вопроса о воздействии присадочного материала на габариты сварной точки проведена серия экспериментов, с использованием разных присадочных материалов и разных параметров режимов сварки. Для наглядности результатов было построено две диаграммы на основе таблицы 1, при идентичных параметрах, с изменением лишь одного – длительности импульса. В первом случае была задана длительность импульса t₁ = 4 мс

(рис. 1.1, 1.2), во втором $t_2 = 10$ мс (рис. 2.1, 2.2).

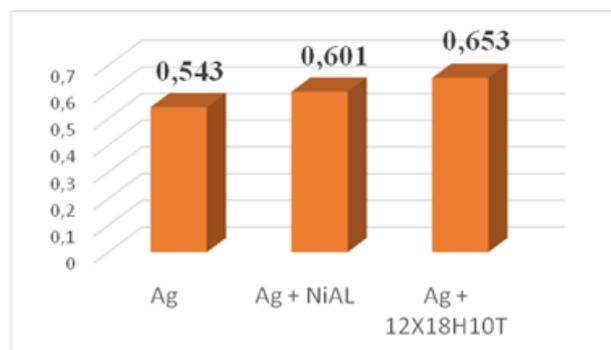


Рис. 1.1. Влияние присадочного материала на диаметр сварной точки при длительности импульса 4 мс, (мм)

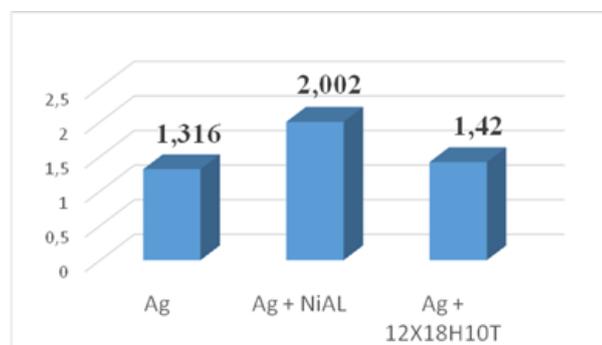


Рис. 1.2. Влияние присадочного материала на глубину сварной точки при длительности импульса 4 мс, (мм)

Представленные на рисунках 1.1, 1.2 и рисунках 2.1, 2.2 результаты измерения диаметра и глубины проплавления двух сварных точек на разных параметрах длительности импульса ($t_1 = 4$ мс, $t_2 = 10$ мс), показали, что эффективность проплавления с применением присадочных материалов в обоих случаях возрастает.

Происходит значительное увеличение диаметра проплавления как при использовании в качестве присадочного материала NiAl порошка, так и при введении в процессе сварки проволоки 12X18H10T. Минимальное увеличение глубины проплавления при использовании проволоки 12X18H10T, вероятно, обусловлено малым контактом между свариваемой поверхностью и поверхностью проволоки, а также теплоотводом по периферии зоны воздействия излучения, при этом введение присадочного материала в виде проволоки с технологической точки зрения считается

практичным, так как позволяет изменять в широком диапазоне количество активирующей проплавление присадки на поверхности облучения. При использовании NiAl порошка глубина проплавления увеличивается значительным образом, так как порошок имеет очень хороший контакт с поверхностью образцов за счет малого диаметра гранул и высокой концентрации в области шва.

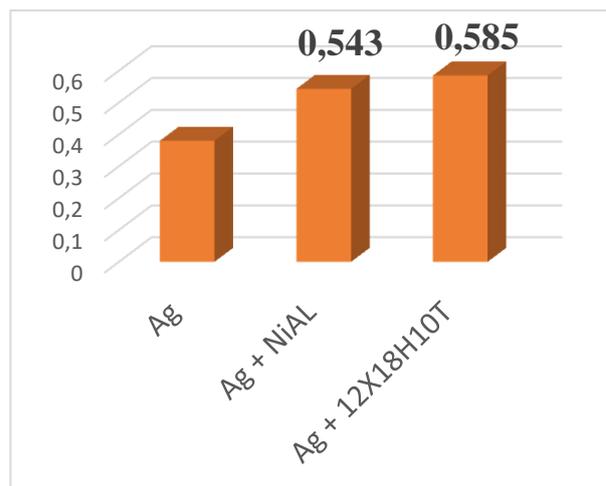


Рис. 2.1. Влияние присадочного материала на диаметр сварной точки при длительности импульса 10 мс, (мм)

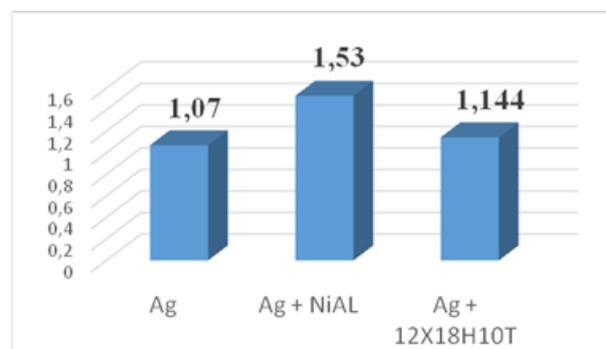


Рис. 2.2. Влияние присадочного материала на глубину сварной точки при длительности импульса 10 мс, (мм)

В результате исследования влияния присадочных материалов определено, что:

- диаметр сварной точки изменяется от 0,38 до 0,653 мм;
- глубина проплавления изменяется от 1,07 до 2,02 мм.

На основе выше перечисленного следует вывод – использование в качестве присадочного материала NiAl порошка является наиболее оптимальным способом, так

как увеличение глубины и диаметра проплавления происходит значительно и пропорционально. Использование в качестве присадочного материала проволоки 12X18Н10Т также повышает диаметр и глубину проплавления, но этот способ остается неоднозначным, так как при некоторых параметрах воздействие присадочного материала оказывается минимальным, в частности это касается параметра глубины проплавления, который в обоих

случаях возрастает минимально.

Список литературы

1. Вейко В.П. *Технологические лазеры и лазерное излучение.* – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – С. 33.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. *Технологические процессы лазерной обработки. Учеб. Пособие для вузов под ред. А.Г. Григорьянца.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – С. 48.

УДК 621.914

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ ПРИ УЧЁТЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

Ильинский М.Д. , аспирант;
Леонтьева А.С. , студент

Физико-технологический институт Московского технического университета

© Автор для переписки: nookjkee@mail.ru

Работа посвящена вопросам качества изготовления деталей сложной геометрической формы на многоцелевых станках с ЧПУ. Рассмотрены различного рода погрешности, возникающие в процессе обработки, а так же их причины, приведены формулы для расчёта погрешностей. Проанализированы погрешности, возникающие при тепловых деформациях.

Ключевые слова: деталь, прецизионная поверхность, точность, обеспечение, станок с

ЧПУ, качество.

INCREASING THE ACCURACY OF MACHINING ON CNC MACHINES, TAKING INTO ACCOUNT THE ERRORS ENCOUNTERED DURING MACHINING BY CUTTING

Ilinskiy M.D.;
Leonteva A.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@Corresponding author e-mail:
nookjkee@mail.ru

The work is devoted to the issues of the quality of manufacturing details of complex geometric shapes on multi-purpose CNC machines. Considered are various kinds of errors that occur during processing, as well as their causes, and formulas for the calculation of errors are given. The errors resulting from thermal deformations are analyzed.

Keywords: quality, part, precise surface, accuracy, CNC machine.

Повышение точности обработки деталей в условиях интегрированного компьютеризированного производства, является одним из важнейших требований к современному производству, особенно к технологии механической обработки деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Повышение точности изготавливаемых деталей увеличивает надежность эксплуатации многообразных механизмов и машин, а что самое главное – увеличивает их долговечность. Существуют множество причин, которые вызывают появление погрешностей при обработке деталей. В данной статье описаны некоторые причины появления погрешностей и обзор методов моделирования погрешностей.

ПРИЧИНЫ:

Многообразные причины можно разделить на несколько видов:

1. Причины случайного характера
2. Систематические причины

Таблица 1

Классификация погрешностей при обработке на станках с ЧПУ [1]:

Виды погрешностей детали	размеров поверхностей; формы поверхностей; взаиморасположения; шероховатости
Источник возникновения погрешностей	заготовка; инструмент; оснастка; несущая система станка; механизмы привода; источники механической энергии – двигатели; система управления; измерительная система; программа ЧПУ; процесс обработки – резание; процессы износа и старения
Причины, порождающие погрешности обработки	начальные геометрические и кинематические погрешности станка; нестабильность процессов трения; износ инструмента; упругие силовые деформации; температурные деформации; погрешности датчиков; погрешности программы; погрешности установки заготовки и начальной настройки станка; внешние воздействия
Характер погрешностей	систематические постоянные, систематические переменные
Период возникновения	начальные, образующиеся до периода резания; в процессе резания, после окончания обработки
Длительность действия	быстропротекающие, возникающие в процессе резания, динамические; процессы средней длительности, длительные процессы

Причиной случайного характера мы называем такую погрешность, которая имеет различные значения и её появление не

подчиняется видимой закономерности. Систематической называется такая погрешность, которая остаётся постоянной для всех деталей рассматриваемой партии или же изменяется закономерно по времени или длине пути резания.

Также одной из причин можно считать ошибки, возникающие в несущей системе станка, приводе рабочих органов, ошибки системы управления и контроля процесса, из-за не качественной заготовки и т.д. Здесь мы выделяем искомую нами суммарную погрешность обработки на станках с ЧПУ.

Для расчёта погрешностей обработки, возникающие при динамических процессах, применяют такие методы как: Метод Эйлера, описывающий движение твёрдого тела относительно центра тяжести. Недостатком данного метода является проблема отыскания решения нелинейной системы дифференциальных уравнений, представляющих собой проблему механики о движении тел. Ниже приведены некоторые формулы для расчётов и их наименования.

Погрешность установки

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2}$$

Погрешность базирования

$$\varepsilon_6 = \sqrt{\delta_L^2 + \delta_{жм}^2 + \delta_h^2}, \text{ где } \delta_h = h * i_m * \text{ц}$$

Погрешность от неточности приспособления

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{K_1 \varepsilon_{ус}^2 + K_2 \varepsilon_{и}^2 + K_3 \varepsilon_c^2}$$

Погрешность настройки для станка с ЧПУ

$$\Delta_n = k \sqrt{\Delta_{из}^2 + \Delta_{нвс}^2 + \Delta_{поз}^2 + \Delta_{фик}^2}, \text{ где}$$

$$\Delta_{нвс} = k \sqrt{\Delta_{и.р.}^2 + \Delta_{изг.б}^2 + \Delta_{закр}^2 + \Delta_{уст.б}^2 + \Delta_{зак.б}^2}$$

Погрешность аппроксимации

$$\delta = \frac{\Delta l}{2} tg \frac{\alpha}{4}, \text{ где } \Delta l = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$$

Погрешность позиционирования (двухстороннее)

$$\Delta_{поз} = (\bar{x} - x_{прог}) \pm \left(3\sigma + \frac{f}{2}\right), \text{ где}$$

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_{пр} + \bar{x}_л}{2}, 3\sigma = \frac{3\sigma_{пр} + 3\sigma_л}{2}, f = |\bar{x}_{пр} - \bar{x}_л|$$

Учет погрешностей, связанных с тепловыми деформациями

Тепловые деформации (ТД) узлов и де-

талей металлорежущих станков приводят к изменению относительного положения заготовки и инструмента. Это приводит к погрешности размеров и формы обрабатываемых деталей. Источниками ТД в основном являются процесс резания и нагрев деталей станка теплотой, которая образуется в процессе работы его механизмов, а также теплотой, поступающей в станок извне от окружающей среды. Основными источниками теплообразования в многооперационных станках являются шпиндельная бабка, закрепленная на стойке, и двигатель главного привода, размещенный внутри стойки. Нагрев стойки вызывает угловые и линейные смещения шпинделя. Вначале угловое положение шпинделя изменяется так, что смещается инструмент; затем смещается шпиндель с инструментом (по мере нагревания стойки). Суммарные линейные деформации шпинделя с инструментом в горизонтальной плоскости достигают порядка 19 мкм. Градиент температур в стенках стойки не превышает 3—4 °С. Тепловые деформации любого станка слагаются из, также, тепловой деформации его деталей: станины, корпусов шпиндельных бабок, ходовых винтов и т.д. Поэтому целесообразно рассматривать ТД отдельных узлов и деталей, оценивая долю вызываемых ими погрешностей обрабатываемых деталей. При эксплуатации станков на цеховых сборочных стендах достаточно контролировать только рабочую температуру узлов, являющихся источниками теплообразования, никакой аппроксимации температур или ТД специальными функциями.

Статистический анализ показал, что если при многократном измерении тепловых смещений (ТС) в одном и том же станке среднего размера разброс их значений составляет примерно 1—2 мкм, то при изме-

рении ТС в нескольких станках одной и той же модели разброс значений ТС может увеличиться до 2 раз по сравнению с их средними значениями [2]. Средние значения ТС (в зависимости от типа станка) достигают 10—100 мкм. Таким образом, можно сказать, что: 1) Значения ТС в указанных станках соизмеримы со значениями допусков на обработку и часто превышают ту часть допуска, которая предназначена для компенсации ТС; 2) Мощность источников теплоты в станках одной модели изменяется до 2 раз и более в зависимости от качества изготовления собственных узлов. При этом элементы станка ведут себя как термоупругие звенья.

Для анализа ТС в станке тепловое удлинение каждого элемента представим как вектор или проекцию вектора на плоскость системы отсчета координат станка. Начало отсчета координат должно быть расположено так, чтобы все рассматриваемые векторы находились в одном квадранте этой системы. В зависимости от конструкции станка и рассматриваемого ТС чаще всего выбирают вертикальную или горизонтальную плоскость, проходящую через ось шпинделя, ось центров, плоскость симметрии станка или одного из его узлов.

Список литературы:

1. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. Л.: Машиностроение, 1970
2. Алферов В. И. Теплостойкость металлорежущих станков // СТИН №7, 2004г
3. Кувшинский В.В. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. М.: Машиностроение, 1972
4. Агафонов В. В. Расчет динамической жесткости упругой системы станка на основе теории координатной связи // СТИН. — 2004. - № 9.

УДК 621.9.04

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Краско А.С., старший преподаватель
Страмцова Е.С., студент 4 курса

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: *Страмцова Е.С.*
 e-mail: *stramtsowa@gmail.com*

В данной работе рассмотрены основные задачи применения технологии послойного нанесения материала. Преимущества и недостатки технологии аддитивного производства, а так же анализ технических и экономических барьеров, препятствующих широкому распространению AF-технологий.

Ключевые слова: аддитивные технологии, послойное нанесение, порошковые материалы, 3D прототипирование

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES AT THE PRESENT STAGE OF MECHANICAL ENGINEERING

Krasko A.S.;
Stramtsova E.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author *Stramtsova E.S.* e-mail:
stramtsowa@gmail.com

The work is dedicated to the main objectives of use of technology of layer-by-layer putting material. Advantages and disadvantages of technology of additive production, and also the analysis of the technical and economic barriers interfering wide circulation of AF technologies.

Keywords: additive technologies, layer-by-layer drawing, powder materials, 3D prototyping

Аддитивные технологии появились еще в 80-е годы XX века, однако только в по-

следние несколько лет это направление начало разворачиваться в полную мощь. Тема аддитивных технологий стала центральной для крупных исследовательских институтов, конференций, прикладных изданий во всем мире.

При традиционном производстве изделий заготовка подвергается механической обработке, то есть осуществляется постепенное срезание ненужного материала, в то же время аддитивные технологии позволяют послойно наносить материал на заранее подготовленную поверхность. Данная технология осуществляется на основе трехмерной модели, разработанной в системе автоматизированного проектирования (например, Компас 3D).

В общем виде процесс аддитивного производства можно представить в виде последовательности определенных этапов, показанных на рисунке 1. [1]

Основные задачи, решаемые с помощью технологий 3D-печати, можно условно разделить на три группы:

- быстрое создание прототипов, ускоряющее процесс разработки изделий;
- создание конечных функциональных изделий сложной геометрии, легковесных конструкций, функционально интегрированных деталей;
- создание оснастки для литьевых процессов — пресс-форм для литья пластиков, мастер-моделей для литья металлов по выплавляемым и выжигаемым моделям, форм для литья металлов в песчаноглинистых формах (ПГФ).[2]

Преимуществами аддитивных технологий являются:

1. Улучшенные свойства готовой продукции. Благодаря послойному построению, изделия обладают уникальным набором свойств. Например, детали, созданные на металлическом 3D-принтере по своему механическому поведению, плотности, остаточному напряжению и другим свойствам превосходят аналоги, полученные с помощью литья или механической обработки.

2. Экономия материала. Аддитивные технологии используют практически то количество материала, которое нужно для производства вашего изделия. Тогда как

при традиционных способах изготовления потери сырья могут составлять до 80-85%.

3. Возможность изготовления изделий со сложной геометрией. Оборудование для аддитивных технологий позволяет производить предметы, которые невозможно получить другим способом. Например, деталь внутри детали. Или очень сложные системы охлаждения на основе сетчатых конструкций (этого не получить ни литьем, ни штамповкой).

4. Мобильность производства и ускорение обмена данными. Больше никаких чертежей, замеров и громоздких образцов. В основе аддитивных технологий лежит компьютерная модель будущего изделия, которую можно передать в считанные минуты на другой конец мира — и сразу начать производство.

5. Возможность построения объектов, элементы которых состоят из различных материалов.

Недостатками в свою очередь являются:

1. Целесообразность применения этой технологии обусловлена большим количеством факторов: сложностью модели, необходимыми техническими свойствами объекта, объемом производства и т.п.

2. Дорогостоящие расходные материалы и оборудование. Для лучшего сцепления металлический порошок должен иметь сферическую форму, соответственно нарушение технологии производства порошка может привести к нежелательному результату на этапе производства готового функционального изделия.

3. Скорость изготовления (ограничена мелкосерийным производством)

Точность изготовления и качество

поверхности деталей (практически все АФ-процессы требуют последующей механической обработки в местах сочленений, посадочных мест валов и т.д.).[3]

Ключевыми проблемами при внедрении аддитивных технологий в первую очередь являются:

1. Поиск квалифицированных кадров,
 2. 3D-оборудование, которое невозможно приобрести и невозможно создать без целевой поддержки со стороны государства

3. Материалы – отдельная и сложная проблема междисциплинарного характера. Эти проблемы, могут быть решены только при условии целенаправленного взаимодействия высшей школы, академической и отраслевой науки.

4. Закрытая архитектура большинства АП-установок, что не позволяет исследователям и технологам варьировать условия обработки.[2]

Подводя итог, следует признать, что количество факторов, сдерживающих распространение аддитивного производства, велико. Оборудование дорогое, материалы тоже, скорость изготовления маленькая, качество поверхности деталей таково, что необходима последующая механическая обработка, внутри детали наблюдается неоднородность свойств материала. Но главное, чего не приемлет серийное производство, — это плохая воспроизводимость, причем многоуровневая. Однако перечисленные проблемы отнюдь не ставят крест на аддитивном производстве. Просто надо понимать, что у любой технологии есть границы применимости.



Рисунок 1 – Схема аддитивного производства

Тем не менее у аддитивного производства со всей очевидностью есть ниша, которую можно описать так: производство единичных изделий и мелких партий уникальных деталей из дорогих материалов и в тех случаях, когда стоимость станочной обработки высока. На самом деле это очень большая ниша, начиная от ремонта и восстановления деталей сложных агрегатов и индивидуальных протезов до создания уникальных деталей сложной конфигурации.

Применение аддитивного производства оправданно лишь тогда, когда четко и эффективно налажено управление всем жизненным циклом продукции — то, что в российской промышленности практически отсутствует. Иными словами, нужна раз-

витая, хорошо скоординированная промышленность—от добывающей к перерабатывающей и производящей. Именно с этим столкнулась российская Нанотехнологическая инициатива, объявленная в 2007 году.

Список литературы

1. Аддитивные технологии и аддитивное производство. *Globatek.3D* — 3D-оборудование для профессионалов. URL: http://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech/
2. Evans B. *Practical 3D printers: The science and art of 3D printing*. New York, Apress, 306 p., 2012
3. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов. *Вестник МГТУ*, Т. 17, № 1. – 2014.

УДК.621.791

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

**Привезенцев В.И., к.т.н., доцент;
 Кудрявцев И.В., аспирант, ассистент**

Физико-технологический институт Московского технологического университета, 107996, г. Москва, Российская Федерация.

@ Автор для переписки: Кудрявцев И.В., e-mail: skyth32@gmail.com

Работа посвящена развитию высокоэффективных технологий сварки с помощью импульсного лазерного излучения, проводится анализ влияния состава эвтектического сплава серебро-медь на скорость плавления металла. Приведена формула скорости плавления металла эвтектики при докритических температурах плавления.

Ключевые слова: импульсная лазерная сварка, эвтектика, сплав серебро-медь, скорость плавления.

LASER RADIATION CONSUMPTION EFFICIENCY IN EUTECTIC ALLOYS WELDING

**Privezentsev V.I.;
 Kudryavtsev I.V.**

Moscow technological university, Physico-technological institute, 107996, Moscow city, Russian Federation.

@ Corresponding author Kudryavtsev I.V.: e-mail: skyth32@gmail.com

The work is dedicated to the development of laser impulse welding technology, analyzing an influence of silver-copper eutectic alloy constitution on its melting speed. Formula of eutectics melting speed in under-critical temperature condition is presented.

Key words: Pulse laser welding, eutectics, Silver-Copper alloy, melting speed.

Управление формированием сварного шва, т.е. получение заданной глубины проплавления и ширины шва в условиях импульсной лазерной сварки является важной технологической задачей, для решения которой необходимо исследование особенностей поглощения излучения свариваемым материалом. Принято различать условия формирования, при которых удельная мощность источника нагрева превышает критическое значение, необхо-

димое для начала плавления, и приближается к величине, обеспечивающей развитие кипения и формирование с докритическими плотностями мощности излучения /1,2/. Формирование соединений при развитом кипении облучаемого металла гарантирует увеличение глубины проплавления при малой ширине шва. Недостатком такого процесса является вероятность выплеска перегретого металла сварочной ванны и возникновение кратеров в корне шва.

В ряде случаев более благоприятным следует считать формирование шва при докритических плотностях мощности, например, для никеля и титана менее $7,5 \cdot 10^5$ и $3,4 \cdot 10^5$ Вт/см² соответственно. Коэффициент формы шва при таких условиях не превышает единицы, и формирование происходит без выплеска.

Для расчета параметров облучения применяют модели, связывающие теплофизические характеристики свариваемого металла с плотностью мощности и длительностью импульса ОКГ /1/. Например, глубину проплавления можно оценить с помощью уравнения:

$$hT_m = 3,54 \operatorname{erfc}(h/2\sqrt{\alpha\tau_b}), \quad (1)$$

Где h – глубина проплавления; T_m – температура плавления; α – температуропроводность; τ_b – момент времени, при котором достигается T_m ;

Использование уравнения (2) позволяет рассчитать скорость движения фронта плавления и, следовательно, глубину проплавления с учетом удельной теплоты плавления облучаемого металла /2/.

$$v = h/\tau_1 = \beta_v q; \beta_v = \chi/\rho L_v; \\ L_v = L_{nl} + cGT_c, \quad (2)$$

Как правило, в теоретических разработках описывающих закономерности плавления используются такие теплофизические характеристики как теплопроводность, теплоёмкость, плотность или обобщенная характеристика – температуропроводность. Однако получаемые экспериментально результаты в ряде случаев существенно отличаются от прогнозируемых теоретически. Приведенные зависимости не учитывают теплофизических свойств свариваемого металла в жидком состоянии

и дают хорошее совпадение теоретических оценок с экспериментами для чистых металлов. Большинство сварочных технологий разрабатывается для сплавов, свойства которых существенно меняются в зависимости от концентрации легирующих элементов. Широко применяются сплавы с эвтектической диаграммой состояния алюминий – кремний, серебро-медь, олово-свинец и др. Характерным для таких сплавов является уменьшение вязкости при концентрациях близких к эвтектическим. При докритических плотностях мощности испарение не имеет существенного значения, тогда как теплопередача в сварочной ванне происходит за счёт конвективного движения в расплаве и, следовательно, зависит от его вязкости.

Экспериментальное исследование эффективности плавления сплавов системы серебро-медь показало, минимальные удельные затраты энергии на плавление имеют сплавы эвтектической концентрации. Эксперименты, проведённые со сплавами 0,8Ag + 0,2Cu, 0,5Ag+0,5Cu, 0,2Ag+0,8Cu показали, что при одинаковых условиях облучения (напряжение накачки 400В, дефокусировка 0, длительность 8мс) объем расплавленного металла сварочной ванны уменьшается в 4..5 раз. Учитывая, что действие теплофизических свойств разнонаправлено, такие результаты, очевидно, нельзя объяснить только изменением вышеупомянутых свойств при изменении состава сплава.

В уравнении (2) описывающем скорость движения фронта плавления наиболее существенным является отношение T_H/T_c характеризующее приближение облучаемого металла к температуре кипения, что в результате приводит к росту скорости. Рассматривая это отношение как фактор повышения интенсивности плавления для случая облучения сплавов при докритических плотностях мощности рационально заменить эту величину коэффициентом вязкости, характеризующим увеличение подвижности расплава при перегреве. Расчётное уравнение для определения скорости плавления - v после замены T_H/T_c на коэффициент вязкости будет выглядеть следующим образом:

$$v = \frac{\chi q}{\rho(L_{пл} + cG_{\eta}T_c)}, G_{\eta} = \frac{[1 - k_{\eta}^{\frac{n+1}{n}}]}{(n+1)[1 - k_{\eta}^{\frac{1}{n}}]} \quad (3)$$

где χ – коэффициент поглощения; q – удельная тепловая мощность; ρ – плотность материала; $L_{пл}$ – удельная теплота плавления; c – теплоёмкость; T_c – температура поверхности металла; k_{η} – коэффициент вязкости;

Сплавы системы серебро-медь хорошо изучены, что позволяет использовать характеристики вязкости расплавов для оценки эффективности плавления при ИЛС.

Вязкость сплавов в диапазоне концентрации 20...80% меди при температуре 800...1300 °С изменяется от 5 до 2 сП. Причём темп падения вязкости при перегреве зависит от состава. Наиболее интенсивно вязкость снижается при перегреве сплава 0,8Ag + 0,2Cu. Коэффициент вязкости для такого сплава находится для диапазона температур перегрева $\Delta T = 1,2T_{пл} - T_{пл}$ составляет $k_{\eta} = 0,62$, т.е. вязкость соответствующая температуре плавления $T_{пл} = 800^{\circ}\text{C}$, $\eta = 4,8$ сП снижается до 2,5 сП. Коэффициент вязкости сплава 0,2Ag+0,8Cu в аналогичном диапазоне температур перегрева снижается до 3,8 сП, ($k_{\eta} = 0,76$) и, следовательно, расплав обладает значительно более высокой вязкостью.

Выводы:

Экспериментально установлено влияние состава эвтектического сплава (Ag – Cu) на

эффективность поглощение энергии импульсного лазерного излучения; предложено при анализе скорости плавления на докритических плотностях мощности учитывать снижение вязкости расплава; внесены изменения в разработанную на кафедре модель проплавления, в которой учтено изменение вязкости облучаемых материалов в процессе плавления; полученные результаты расширяют возможность рационального выбора условий ИЛС эвтектических сплавов.

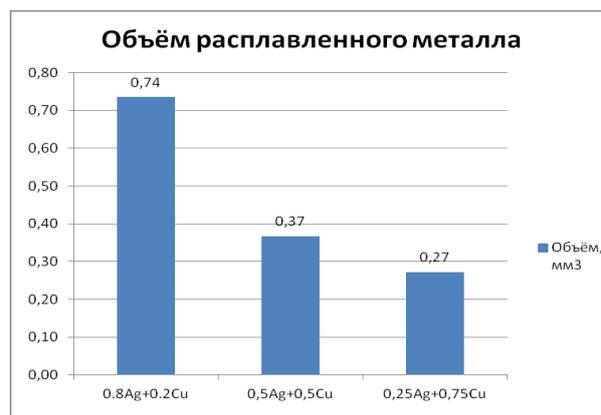


Рис. 1. Объём расплавленного металла сварных точек на образцах из сплавов серебра и меди с различной концентрацией

Список литературы

1. Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, А.Н. Кокора. Лазерная обработка материалов. Машиностроение. 1975, с.296.
2. М.С. Баранов, Б.А. Вершок, И.Н. Гейнрихс. Экспериментальная проверка моделей углубления кратера при воздействии на металл лазерного излучения. Физика и химия обработки материалов. 1976, №5, с. 8...11.

УДК 621.778

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ МЕТИЗНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Мышечкин А.А., к.т.н., доцент;

Минина А.В., аспирант

Физико-технологический институт. Московского технологического университета

© Автор для переписки: Мышечкин А.А. e-mail: Maleksys@rambler.ru

Приводятся результаты исследований и производственного опыта, показывающие технологические особенности производства некоторых видов стальной проволоки.

Ключевые слова: катанка, проволока, волочение, термообработка, качество, прочность, механические свойства.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF PRODUCTION OF STEEL WIRE FOR METALWARE

Myshechkin A.A.;
Minin A.V.

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

@ Corresponding author A.A. Myshechkin e-mail: Maleksys@rambler.ru

Results of research and production experience, showing features of production of low-carbon wire of general purpose.

Keywords: wire rod, wire, drawing, heat treatment, quality, strength, mechanical properties.

Исходные материалы для производства проволоки

Материалом для производства стальной проволоки служит катанка или бунтовой сортовой прокат. Минимальный диаметр катанки, производимой на отечественных предприятиях черной металлургии – 5,0 мм, наиболее массовый – 6,5 мм. Допускаемые отклонения диаметра - от $\pm 0,05$ мм для катанки повышенной точности до $\pm 0,18$ мм – для катанки обычной точности. Овальность катанки не должна превышать 50 % суммы предельных отклонений по диаметру. При увеличении овальности катанки повышается неравномерность деформации при волочении, возможно расслоение проволоки, повышается расход смазок и число обрывов и, как следствие, снижается качество проволоки и производительность оборудования.

Для пружинной проволоки используют сталь с содержанием углерода 0,65 – 0,95%, для канатной - 0,45 – 0,85%.

В последние годы на предприятиях-изготовителях катанки наметилась тенденция к применению ускоренного охлаждения катанки и снижению температуры окончания прокатки с 1050-1100° С до 550-600° С. Это оказывает существенное

влияние на механические свойства катанки и количество окалины на поверхности катанки. Анализ механических свойств катанки показывает, что ускоренное охлаждение и снижение температуры окончания прокатки повышают предел прочности с 290-350 н/мм² до 450-500 н/мм². Величина окалины при этом уменьшается с 25-30 кг до 6-7 кг на тонну катанки. Изменяются также свойства окалины.

Свойства катанки существенно влияют на свойства получаемой проволоки, технологический процесс ее получения (число переходов волочения, наличие или отсутствие отжигов и т.д.), на подготовку ее к волочению (расход кислоты и длительность травления при кислотной подготовке поверхности, возможность удаления окалиноломанием при бескислотной подготовке).

Поэтому, при выборе исходной заготовки для производства проволоки, технологии подготовки ее поверхности к волочению необходимо учитывать назначение проволоки (проволока общего назначения, для холодной высадки, сварочная и т.д.), а также технологические особенности производства заготовки различных предприятиях-изготовителях. Правильный выбор исходной заготовки позволяет сократить число переходов волочения, количество термообработок.

Например, при производстве сварочной проволоки (ГОСТ 2246) нельзя использовать в качестве подмазочного слоя известковое покрытие, так как известь является сильным диэлектриком.

Производство квадратной проволоки для пружинных шайб в роликовых валах

Квадратная проволока для пружинных шайб изготавливается из стали марок 65Г и 70.

В соответствии с техническими требованиями проволока должна поставляться в отожженном состоянии. Проволоку со стороны квадрата до 5,0 мм допускается поставлять в нагартованном состоянии. Временное сопротивление разрыву отожженной проволоки должно находиться в пределах 50 – 80 кг/мм² (500 – 800 МПа), в нагартованном состоянии – 90 – 125

кг/мм²(900 – 1250 МПа). Готовая проволока подвергается испытаниям на навивку и в процессе испытаний она не должна ломаться или растрескиваться после навивки пяти витков вокруг стержня, диаметр которого превышает сторону квадрата в 2,5 раза. Глубина обезуглероживания не должна превышать 1,0% от размера стороны квадрата. На поверхности проволоки не должно быть трещин, плен, надрывов, закатов, волосовин, раковин, ржавчины. Проволока должна иметь гладкую поверхность, на которой допускаются риски и царапины от протяжки глубиной не более половины допуска от стороны квадрата. Поставляется проволока в мотках, должна быть покрыта слоем смазки, предохраняющим металл от коррозии.

Исходным материалом для производства пружинной проволоки квадратного сечения обычно используется катанка. После подготовки к волочению (травление, нанесение подмазочных покрытий) катанка протягивается на передельный размер. Далее производится термообработка передельной заготовки и подготовка ее к новому волочению. Схема протяжки передельной заготовки через роликовые волокы показана на рис. 1.

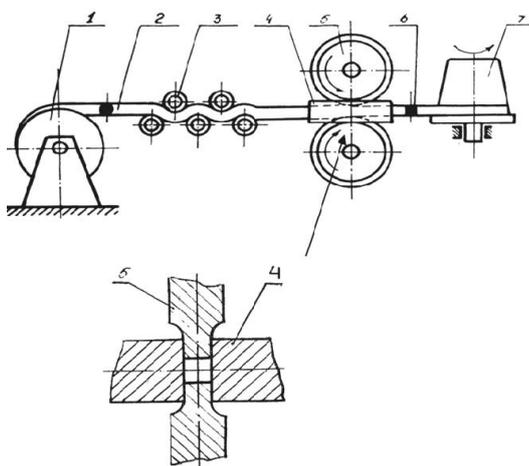


Рис. 1. Схема волочения квадратной проволоки через роликовую волоку:

1 – размотывающее устройство; 2 – круглая заготовка 3- правильные ролики; 4 – горизонтальные ролики; 5 – вертикальные ролики; 6 - готовый квадратный профиль; 7- волочильный барабан

Для повышения качества проволоки пе-

ред волочильным станом рекомендуется устанавливать правильное устройство, которое устраняет нелинейность заготовки и создает усилие противонапряжения, способствующее снижению давления на ролики и повышению их стойкости.

Для волочения квадратной проволоки используют отожженную или патентированную заготовку с фосфатным покрытием, что позволяет повысить устойчивость процесса, снизить число обрывов, повысить стойкость волок.

Технологические параметры при волочении некоторых размеров квадратной проволоки и механические характеристики проволоки представлены в таблице.

Таблица 1
 Технологические параметры процесса волочения квадратной проволоки

Сторона квадрата проволоки, мм	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
Диаметр заготовки, мм	1,0	1,3	1,55	1,86	2,05	2,6
Маршрут волочения	Ø1,0->0,8	Ø1,30->1,0	Ø1,55->1,2	Ø1,85->1,4	Ø2,05->1,60	Ø2,60->2,0
Обжатие, %	18,5	24,6	23,7	27,8	22,4	24,6

Точность размеров проволоки при использовании современных роликовых волок достигает 0,02 – 0,06 мм.

Рассмотрим технологию получения заготовки диаметром 2,05 мм для проволоки со стороной квадрата 1,6 мм. Вначале катанка протягивается на промежуточный размер по следующему маршруту:

Ø 6,5 → Ø 5,75 → 4,95 → 4,25 → 3,70.

Волочение происходит на стане 4/550. Далее заготовка диаметром 3,70 мм отжигается, проходит подготовку к волочению и протягивается на диаметр 2,05 мм:

Ø 3,70 → 3,20 → 2,80 → 2,50 → 2,22 → 2,05.

Волочение происходит на стане 5-6/550. Далее заготовка диаметром 2,05 мм вновь термообрабатывается (отжиг или

патентирование), проходит подготовку к волочению и протягивается в роликовой волоке на готовый размер.

Как показывает производственный опыт, при волочении квадратной проволоки из стали 65Г на ролики волоки действуют большие удельные усилия, снижающие стойкость роликов и точность проволоки. При этом стойкость вертикальных роликов значительно ниже стойкости горизонтальных роликов, что объясняется конструктивной схемой расположения роликов. Обычно происходит выкрашивание рабочей части вертикальных роликов.

В некоторых случаях для повышения устойчивости процесса волочения квадратной проволоки в роликовых волоках, снижения давления на ролики, повышения качества проволоки и стойкости роликов применяют волочение с противонатяжением.

Давление на вертикальные ролики при этом уменьшается на 40 – 50%, на горизонтальные – на 10 – 15%, стойкость роликов повышается в 1,5 – 3 раза. Общее усилие волочения повышается при этом на 10 – 25%.

В процессе волочения с противонатяжением происходит некоторое утонение заготовки на участке между волокой и роликами, что приводит к увеличению радиуса скругления углов квадратной проволоки. Поэтому, при волочении с противонатяжением необходимо учитывать вне-

контактную деформацию и увеличивать диаметр заготовки (ориентировочно на 0,05 мм).

В последние годы производство квадратной проволоки на роликовых волоках расширяется. При этом для повышения точности проволоки и стойкости роликов их изготавливают из твердых сплавов.

Иногда используется волочение проволоки через две последовательно установленные волоки.

В этом случае усилие волочения через предварительную волоку является по отношению к чистой волоке противонатяжением. Общее усилие волочения при этом будет состоять из усилия волочения через чистую волоку и части усилия волочения через предварительную волоку.

С этой точки зрения волочение через две (или даже три) последовательно установленные волоки имеет несомненные преимущества в сравнении с волочением через одну волоку.

Список литературы

1. Мышечкин А.А., Осадчий В.Я. *Машины и технология метизного производства*. М., МГУПИ, 2008, 470 с.
2. Осадчий В.Я., Мышечкин А.А., Борзенков М.И. *Особенности производства некоторых видов стальной проволоки. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. Научно-технический журнал. № 6-2(296), 2012, с.119-124.

УДК 621.778

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В ТРЕХВАЛКОВОМ СТАНЕ ПОПЕРЕЧНОВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ПЕРВОУРАЛЬСКОГО

НОВОТРУБНОГО ЗАВОДА (ПНТЗ)

Субботин С.А., аспирант
Осадчий В.Я., проф., д.т.н.

МИРЭА

Аннотация: в статье описана разработка технологии прокатки непрерывнолитой заготовки (нлз) в трехвалковом стане поперечновинтовой прокатки для увеличения пластических свойств и расширения сортамента на Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ).

Ключевые слова: стан, валок, труба, непрерывнолитая заготовка, поперечновинтовая прокатка, трехвалковый стан.

ESEARCH AND TECHNOLOGY PRO-RINKS DEVELOP IN THE SLAB TREHUACO-TION CAMP POPERECHNOPOLOSTAN ROLLING FIRST URAL PIPE-TN PLANT

Subbotin S. A.;
Osadchy V. Ya.

MIREA

Abstract: the article describes the Development of the technology of rolling nepreryvnolitoj billet (nlz) in a three roll mill priest-recovertool rolling to increase plastic properties and expansion of assortment at Pervouralsk new pipe plant de (path).

Key words: mill roll, pipe concast billet, rolling Porechenkova, a three roll mill.

В настоящее время почти все трубные заводы перешли на непрерывнолитую заготовку, вместо катаной заготовки. Современное оборудование позволяет получать достаточно качественные слитки при помощи выплавки стали в электросталеплавильных печах из углеродистых, низколегированных и среднелегированных марок стали. Этот переход обеспечил большую экономическую выгоду для производств больших партий бесшовных труб.

Однако первая проблема, с которой столкнулись заводы – это то, что пластические свойства литой заготовки оказались значительно ниже, чем катаной, на которой они работали раньше. Вследствие этого на ряде станов выросло количество внутренних и наружных дефектов на гильзах и, следовательно, на трубах.

Так же стоит добавить, что большим недостатком непрерывнолитой заготовки является наличие в заготовке осевой рыхлости, которая приводит к повышенному образованию внутренних дефектов (внутренних плен) особенно на ТПУ-220 и ТПУ-160. Проводился ряд исследований направленных на увеличение пластических

свойств бесшовной трубы и одним из решений, которое позволяло снизить количество внутренних дефектов, было использование грибовидных валков в стане ТПУ-140 ЧТПЗ, кинематические показатели которого лучше, чем у прошивных станов с валками другого типа. Тем не менее, для станов другого типа эта проблема остается актуальной.

Второй проблемой непрерывнолитой заготовки является то, что непрерывная разливка изготавливает заготовку достаточно ограниченного сортамента по диаметру, что мешает работе трубопрокатных агрегатов. Так электросталеплавильный цех (ЭСПЦ) Первоуральского Новотрубного завода (ПНТЗ) производит непрерывнолитую заготовку для ПНТЗ и ЧТПЗ двух диаметров – Ø 150мм и Ø 220мм. Это связано с тем, что стоимость оборудования для прокатки непрерывнолитой заготовки, а если быть точнее, то стоимость кристаллизатора, который регулируется размер заготовки очень высокая. Для малых партий труб приобретать такой кристаллизатор невыгодно. А в настоящее время существует потребность в использовании заготовок и других размеров (Ø105, 115, 120, 130, 140, 160, 170, 180, 190, 210мм) общим объемом 195 тыс. т. в год, которые приходится закупать на других заводах.

Поэтому, основываясь на наших научных исследованиях и учитывая практический опыт Волжского и Синарного трубных заводов, было найдено решение, которое позволяло бы справиться с двумя изложенными проблемами.

Теоретические и экспериментальные исследования Смирнова В.С. [1], Осадчего В.Я. [2], Панова Е.И. [3], Ковалева Д.А. [4] убедительно показывают, что схема напряженного состояния металла при прокатке в трехвалковом стане поперечновинтовой прокатки, позволяет обжимать непрерывнолитую заготовку по диаметру на 20-25% (в зависимости от марки стали), не опасаясь осевого и кольцевого разрушения заготовки.

Основываясь на этих исследованиях на ПНТЗ было принято решение дополнительно прокатывать непрерывнолитую заготовку. Таким образом мы смогли расши-

ритель сортамент с двух доступных диаметров \varnothing 150мм и \varnothing 220мм до восьми доступных диаметров \varnothing 115, 120, 130, 140, 170, 180, 190, 210 мм. Также проводятся исследования на предмет увеличения степени обжатия до 30%, используя программу Deform3D, которая позволяет смоделировать процесс прокатки в трехвалковом стане. Такая степень обжатия позволила бы закрыть потребность в диаметрах \varnothing 105мм и \varnothing 160мм.

Второй немаловажной причиной принятия решения о дополнительной прокатке непрерывнолитой заготовки в трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки стали исследования Ковалева Д.А., который сумел при помощи трехвалкового стана увеличить пластические свойства силуминовых сплавов, которые ранее считались только литейными.

В последнее время пристальное внимание работников науки и производства привлекали сплавы системы Al – Si с содержанием кремния значительно выше эвтектической концентрации. Заэвтектические силумины обладают многими привлекательными свойствами алюминиевых сплавов, а также имеют малую плотность при удовлетворительной прочности и высокой коррозионной стойкости. Также, заэвтектические силумины имеют ряд специфических свойств, отличающих эти сплавы от стандартных алюминиевых сплавов – это высокий модуль упругости, низкий коэффициент линейного расширения, высокая износостойкость в трущихся парах и многие другие свойства.

Ковалев Д.А. в своей работе, посвященной повышению пластических свойств силуминовых сплавов, которые считались ранее только литейными сплавами, показал, что можно при определенных условиях добиться повышения пластичности этих сплавов за счет уменьшения размера зерен кремния.

Используя ту же программу Deform 3D, Ковалев Д.А. исследовал величину и характер распределения напряжений в деформируемой заготовке. На полученных схемах он увидел напряжения (радиальные, тангенциальные, осевые) при различной степени деформации в разных участ-

ках заготовки (начало, середина обжимного участка, пережим, 30мм за пережимом).

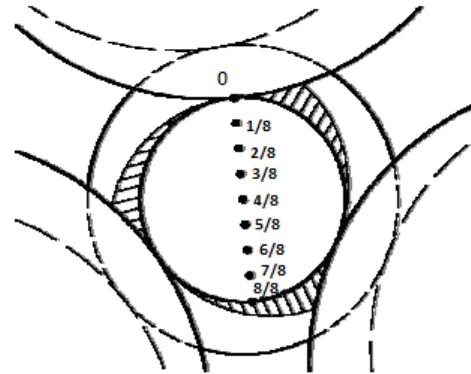


Рис. 1. Схема к определению напряжений в точках по сечению прутка

Анализируя картину распределения и величину напряжений при разной степени деформаций, можно сделать вывод о том, что наиболее опасная зона, с точки зрения разрушения металла заготовки, находится на расстоянии 6/8 – 7/8 диаметра заготовки в зоне металла между валками (рис. 1), где разница между растягивающими осевыми и сжимающими тангенциальными напряжениями достигает максимальных значений, при этом разница между значениями напряжений снижается при уменьшении обжатия заготовки по диаметру.

Опыты показали, что применение процессов прессования или штамповки практически не позволяют изменить размеры кристаллов кремния, оставляя почти такими же, какими они сформировались в процессе литья. Также процессы прессования и штамповки применялись при попытке увеличения пластических свойств непрерывнолитой заготовки и тоже не принесли положительных результатов.

Для улучшения структуры заготовки заэвтектических силуминов и существенного измельчения кристаллов первичного кремния применили технологию поперечно-винтовой прокатки (ПВП)

На рис. 2 представлены результаты влияния ПВП на структуру заэвтектического силумина, а так же зависимость среднего размера кристалла кремния от вытяжки.

Как следует из рис.3 применение ПВП позволяет существенно измельчить кри-

сталлы кремния вплоть до диаметра заготовки 70 мм., однако, дальнейшее применение ПВП существенно не влияет на измельчение структуры первичного кремния. Так, в заготовках средние размеры кристаллов кремния уменьшаются от 50-60 мкм до 10-20 мкм. Основываясь на этих данных можно сделать вывод о том, что активное измельчение кристаллов кремния происходит до значения коэффициента вытяжки равного 2,56, далее средний размер кристалла кремния практически не изменяется – наступает эффект «насыщения». Пластичность металла в результате прокатки в стане ПВП возрастает в 3–3,5 раза ($\delta_{\text{исх. сл.}} = 3,2\%$; $\delta_{\text{прок. заг.}} = 11,7\%$)

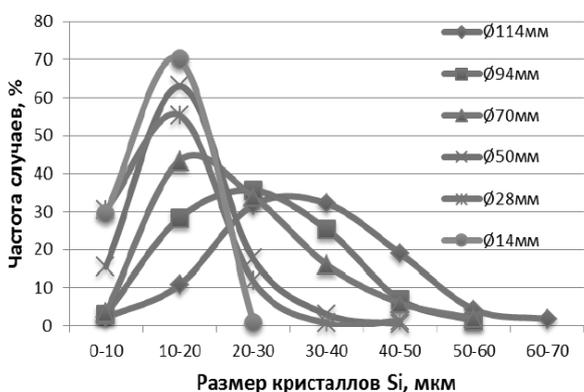


Рис. 2. Зависимость среднего размера кристалла кремния от степени деформации

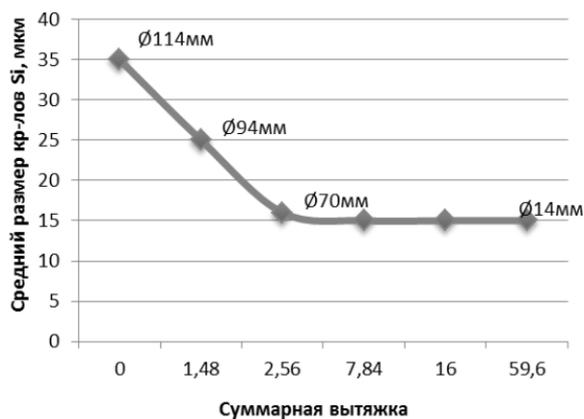


Рис. 3. Зависимость среднего размера кристалла кремния от вытяжки

Также было проведено более детальное исследование изменения размеров кристаллов кремния по радиусу заготовки для прутков диаметром 94мм и 50 мм. Результаты представлены на рис. 4 и 5.

На рисунке 4 видно, что наибольшее количество кристаллов кремния размером 10-20 мкм сосредоточено в периферийной части прокатанной заготовки, что является следствием наиболее интенсивной деформации при ПВП именно во внешних слоях заготовки. Дальнейшее пластическое деформирование прутка из заэвтектического силумина (рис.5) не приводит к значительному измельчению кристаллов кремния. При этом разница в распределении структуры кристаллов кремния по сечению минимизируется, позволяя получать прутки с однородными свойствами и повышенной пластичностью.

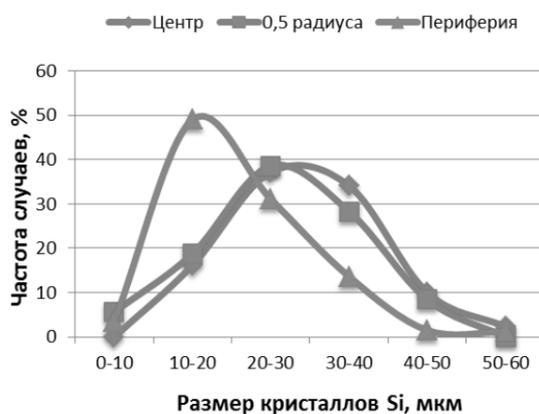


Рис. 4. Изменение размеров кристаллов Si по радиусу прутка Ø94 мм после 1-ой прокатки

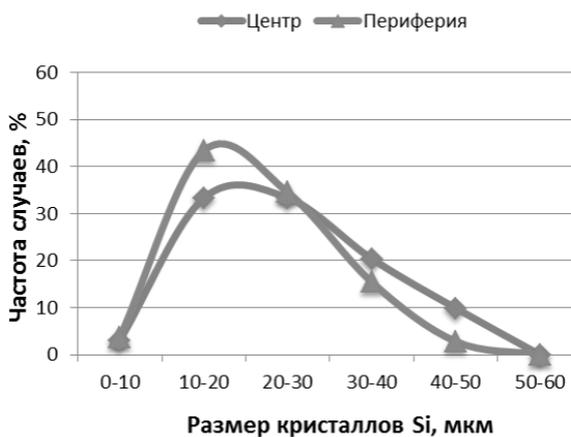


Рис. 5. Изменение размеров кристаллов Si по радиусу прутка Ø50 мм после 2-х прокаток

На основании проведенных исследований и полученных результатов были разработаны и предложены основные технологические параметры для прокатки непрерывнолитой заготовки с целью получе-

ния мелкозернистой структуры и повышения пластичности металла заготовки.

В настоящее время в Цехе №5 ПНТЗ используют стан ПВП для прокатки заготовок из углеродистых и легированных марок стали. Так же ведутся экспериментальные исследования по влиянию трехвалкового стана ПВП на структуру этих марок стали. Планируется теоретическое исследование с применением различных программ, которые позволят узнать, какое влияние на пластические свойства заготовки будут оказывать различные технологические параметры стана. Наша задача выполнить ряд этих исследований, путем построения модели для конкретного трехвалкового стана ПВП цеха №5 ПНТЗ.

Данные исследования позволяют расширить сортамент непрерывнолитой заготовки и повысить ее пластические свойства, что так же позволит отказаться от закупки на стороне большого количества непрерывнолитой заготовки, уменьшить количе-

ство дефектов на трубах и получить значительный экономический эффект.

Список литературы

1. Смирнов В.С. Поперечная прокатка, Машигиз, Свердловск-Москва, 1948г.
2. Осадчий В.Я., Ковалев Д.А. Динамическое моделирование поперечно-винтовой прокатки сплошной заготовки в трехвалковом стане методом конечных элементов // Заготовительные производства в машиностроении // Научно-технический журнал №5 // - Москва, Машиностроение, 2008г.
3. Осадчий В.Я., Панов Е.И., Ковалев Д.А. Освоение универсального стана поперечно-винтовой прокатки для прокатки прутков и труб // Технологические процессы в машино- и приборостроении // Сборник научных трудов МГАПИ- Москва, 2004г.
4. Ковалев Д.А., Осадчий В.Я., Сигалов Ю.М. Исследование и разработка технологии процесса поперечно-винтовой прокатки для повышения пластичности заэвтектических силуминовых сплавов. // Сборник трудов II международной научно-технической конференции «Павловские чтения 2010» - Москва, 2010г

УДК 621.7

ПРОГРАММНОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Плешаков В.В.¹, к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой;
Егорушкин Е.А.¹, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой;
Шурпо А.Н.², к.т.н., старший научный сотрудник;
Симановский С.М.¹, аспирант.

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²Институт конструкторско-технологической информатики РАН

© Автор для переписки: Плешаков В.В. e-mail:

Pleshakov@mirea.ru

Предложен процесс многократного поверхностного пластического деформирования деталей с программным изменением режимов упрочнения на каждом этапе упрочнения в процессе изготовления и эксплуатации. Процесс назван программным поверхностным пластическим деформированием (ПППД). Показана высокая эффективность ПППД при повышении усталостной прочности деталей, устранения негерметичности хромового покрытия деталей агрегатов.

Ключевые слова: пластическое деформирование, усталостная прочность, износ, герметичность.

SOFTWARE SURFACE PLASTIC DEFORMATION OF MACHINE PARTS

Pleshakov V.V.¹;
Egorushkin E.A.¹;
Shurpo A.N.²;
Simanovsky S.M.¹

¹Физико-technological Institute, Moscow techno-

logical University

²Institute of design-technological Informatics of the RAN

Author for correspondence: Pleshakov, V. V., e-mail: Pleshakov@mirea.ru

The proposed process multiple surface plastic deformation of parts with programmatic change of the modes of hardening at each stage of hardening in the manufacturing process and operation. The software called the process of surface plastic deformation. The high efficiency in improving the fatigue strength of components, elimination of PharmaTech-ness of the chrome coating of parts and units.

Key words: plastic deformation, fatigue strength, wear tightness.

Развитие современной техники и системы их технической эксплуатации поставило перед промышленностью и наукой новые задачи [1 – 4]. Это, во-первых, задачи оптимального упрочнения деталей в процессе их ремонта уже подвергнутых (или не подвергнутых) упрочнению при изготовлении. Накопление усталостных повреждений в поверхностном слое циклически упрочняемых деталей из высокопрочных сталей создает предпосылки для создания новых технологий повторного и многократного их упрочнения. Во-вторых, необходимость повышения эффективности методов ППД приводит к созданию новых технологических способов их реализации. Такие способы реализуют процесс многократного, изменяющегося воздействия на обрабатываемую поверхность рабочих тел для целенаправленного формирования свойств поверхностного слоя и повышения эксплуатационных свойств деталей. В-третьих - задачи создания новых технологических способов упрочнения поверхностей деталей покрытиями и ППД в процессе их изготовления и ремонта, для восстановления их геометрической точности, повышения усталостной прочности, износостойкости и коррозионной стойкости. И, наконец, создание методов и аппаратов технологического контроля свойств поверхностного слоя деталей в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта для определения уровня последующего упрочняющего воздействия. Совокупность ука-

занных задач определило новое научное направление в области технологии машиностроения.

Схема взаимосвязи технологических факторов обработки деталей, эксплуатационных факторов с характеристиками качества поверхностного слоя и их эксплуатационными свойствами предполагает наличие обратных связей. Они определяют необходимость многократного технологического воздействия на рабочую поверхность детали в процессе их технической эксплуатации для обеспечения наибольшей их надежности. Обратные связи первого порядка обеспечивают формирование требуемых свойств поверхностного слоя в процессе текущей обработки детали. Связи второго порядка обеспечивают формирование оптимальных свойств деталей уже отработавших часть своего ресурса и имеющих определенный уровень усталостных повреждений в поверхностном слое. Количество обратных связей умножает количество технологических факторов определяющих эффективность обработки, что делает процесс программного ППД чрезвычайно сложным и многофакторным.

Схема эта несколько меняется при обработке и эксплуатации деталей по техническому состоянию. Она предполагает использование современных средств неразрушающего контроля свойств поверхностного слоя деталей для коррекции режимов обработки в зависимости от предыстории технологического воздействия и уровня накопления усталостных повреждений.

Произведена классификация возможных способов реализации программной обработки деталей статическими и ударными методами ППД. В зависимости от реализации процесса деформирования поверхности они разделяются на последовательные, одновременные и комбинированные.

Статические методы: 1. Последовательный характеризуется обработкой поверхности детали за один или несколько рабочих ходов одновременно несколькими инструментами. Инструменты располагаются в плоскости параллельной или перпендикулярной оси детали. 2. Одновременный. Пластическое деформирование поверхности осуществляется несколькими

инструментами, контактные зоны которых достаточно близки. Или же обработка производится одним инструментом с рабочей поверхностью сложной формы. В том числе инструментом, позволяющим в процессе ППД удалять часть упрочненного слоя.

3. Комбинированный предполагает комбинацию рассмотренных методов.

Ударные методы: 1. Последовательный характеризуется порционным воздействием на поверхность рабочих тел, параметры которых и режимы воздействия в каждой последовательной порции определяются программой обработки. 2. Одновременный. Пластическое деформирование осуществляется рабочими телами, имеющими различные параметры рабочей части. Например, динамическая обработка шариками, имеющими разный диаметр, обработка крошкой, галькой. 3. Комбинированный. Предполагает комбинацию первых двух методов, непрерывное изменение режимов в процессе обработки.

Эффективность упрочнения ПППД определяется свойствами поверхностного слоя деталей – эпюрой распределения остаточных напряжений, его прочностными свойствами, микрогеометрией поверхности. Для выявления закономерностей процесса повторного воздействия рабочего инструмента на поверхность во время обработки (обратная связь первого порядка) разработаны математические модели процесса формирования качества поверхностного слоя.

Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое в основном определяется процессами упругопластической деформации и тепловыми процессами. На основании анализа указанных процессов были предложены модели формирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при повторном воздействии инструмента на обрабатываемую поверхность. Они позволяют оценить распределение остаточных напряжений и механических свойств материала в поверхностном слое деталей при обработке их статическими и динамическими методами ПППД. Параметры шероховатости поверхности при ПППД статическими методами оценивались на основе общих кинематических

уравнений формообразования. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили эффективность разработанных моделей для оценки эффективности отделочной и упрочняющей обработки алмазным выглаживанием, обкатыванием роликами и обработке деталей дробью различными методами.

Упрочнение деталей в процессе технической эксплуатации изделий позволяет значительно повысить их ресурс. Однако до сих пор не решена проблема повторного упрочнения деталей, отработавших часть своего ресурса (обратная связь второго порядка).

Для решения технологической проблемы повторного упрочнения произведена оценка уровня накопления усталостных повреждений в поверхностном слое деталей. Для этой цели разработан магнитошумовой метод оценки качества поверхностного слоя. Предложены оригинальные схмотехнические решения, разработаны и внедрены в производство. Выявлены закономерности накопления усталостных повреждений в поверхностном слое в процессе эксплуатационного нагружения деталей, что позволило создать феноменологические модели оценки эффективности повторного упрочнения и разработать технологические рекомендации по эксплуатации их по техническому состоянию.

На основе проведенных усталостных испытаний установлено, что наибольшая эффективность повышения ресурса деталей из высокопрочных, циклически упрочняемых сталей достигается при высоком уровне эксплуатационных напряжений и относительной предварительной наработке до 0,5...0,9. Степень циклического упрочнения достигает 40...45%. При многократном упрочнении в процессе технической эксплуатации ресурс деталей может быть увеличен в 2,4...2,7 раз.

Выявлены закономерности изменения усталостной прочности деталей, отработавших часть своего ресурса, в зависимости от технологических факторов обработки деталей роликами, выглаживания, пневмодинамической и дробеметной обработки. Разработаны методики выбора оптимальных режимов ПППД в зависимости

от условий эксплуатации деталей, состояния поверхностного слоя и уровня накопленных усталостных напряжений [2, 3].

Экспериментально доказано, что применение статических методов ПППД является практически единственным способом устранения негерметичности хромового покрытия деталей агрегатов гидравлических и воздушных систем [1]. Обеспечивает одновременно равновесную шероховатость поверхности и эффективное упрочнение поверхностного слоя. Это дает возможность в несколько раз снизить период приработки и интенсивность установившегося износа деталей, работающих в условиях трения скольжения. Благоприятное сочетание свойств поверхностного слоя дает возможность в 5...10 раз повысить противозадирную стойкость поверхностей деталей, работающих в условиях фреттинг-коррозии. Повышается стойкость деталей к коррозионному растрескиванию, их коррозионная выносливость.

Разработанные технологические рекомендации по повышению безотказности и долговечности деталей внедрены при изготовлении и ремонте летательных аппаратов, транспортных машин. Показано практическое увеличение надежности изделий. Нарботка на отказ цилиндров, амортизаторов и гидроаккумуляторов повысилась в два раза. Исключены случаи разрушения ряда деталей из высокопрочных сталей.

Список литературы

1. *Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник в 2х томах. т.1 / Под общ. ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2014. -444 с. илл.*
2. *Плешаков, В.В. Режимы механической обработки при изготовлении и ремонте деталей колесных и гусеничных машин. - М.: МГУПИ, 2006, -100 с. илл.*
3. *Плешаков, В.В. Механическая обработка деталей колесных и гусеничных машин из труднообрабатываемых материалов В.В. Плешаков, О.М. Щебров, В.А. Комаров. - М.: МГУПИ, 2006, -115 с. илл.*
4. *Плешаков, В.В. Конструкционные и защитно-отделочные материалы в транспортном машиностроении. - М.: Изд-во «Машиностроение», 2005, -172с. илл.*

УДК 621.774.21

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТРУБ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ

Родин П.В., аспирант
Осадчий В.Я., д.т.н., профессор
Дмитриев В.Д. к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Дмитриев В.Д. e-mail: omdti2@inbox.ru

Рассмотрена технология производства труб из коррозионностойкой стали, включающая формовку в клетях с составными валками, сварку током высокой частоты,

удаление внутреннего и наружного грата, применение автоматической системы контроля и регулирования качества сварного шва. Освоено производство труб на ТЭСА 20-76, соответствующих европейским стандартам En 10296-2:2005 и En 10217-7.

Ключевые слова: *электросварные трубы, коррозионностойкие стали, сварка ТВЧ, формовка трубной заготовки, составные валки, контроль качества, автоматические системы.*

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF ELECTRO-WELDED PIPES FROM CORROSION-RESISTANT STEEL

Rodin P.V.,
Osadchy V.Ya.,
Dmitriev V.D.

Moscow technological university. Physico-

technological institute

© Corresponding author Dmitriev V.D. e-mail:
 omdti2@inbox.ru

The technology of production of pipes made of corrosion-resistant steel is considered, which includes molding in cages with compound rolls, welding with high frequency current, removal of internal and external grate, application of an automatic control system and quality control of the welded seam. The production of pipes at TESA 20-76, which comply with the European standards En 10296-2: 2005 and En 10217-7 - was mastered.

Key words: electric welded pipes, corrosion-resistant steels, high-frequency welding, forming of pipe billet, compound rolls, quality control, automatic systems.

Важнейшими аспектами развития технологии производства труб является ресурсосбережение и повышение их качества. При этом можно выделить несколько основных технологий, способствующих более экономному расходованию ресурсов и повышающих качество труб:

- технология автоматического контроля процесса, позволяющая воздействовать с помощью “умной” системы на вариабельность параметров сварочного процесса. Такая технология позволит снизить расходный коэффициент металла и не допустить поставку труб с некачественным сварным швом потребителю;

- технология применения составных валков с плавающим фланцем. Использование таких валков в закрытых клетях способствует выравниванию скоростей, возникающих на поверхности трубы, взаимодействующей с калибром валка. Таким образом, уменьшение проскальзывания предотвращает появление локальных дефектов поверхности и способствует улучшению товарного вида труб;

- технология высокочастотной сварки труб из коррозионностойких марок стали с использованием полупроводниковой сварочной установки позволяющая повысить качество сварного шва за счёт сужения зоны термического влияния и производительность процесса.

Автоматическая система контроля качества сварного шва

На трубоэлектросварочных агрегатах качество сварного шва формируется в

формовочном стане и сварочном узле. Основными параметрами сварочного процесса, влияющими на качество сварного шва, являются:

- температура сварного шва;
- сила сжатия кромок трубной заготовки в опорно-сварочном узле;
- уровень смещения кромок трубной заготовки;
- скорость сварки.

При производстве сварных труб необходимое качество сварки обеспечивается при определенном соотношении температуры нагрева кромок и силы сжатия кромок трубной заготовки (при отсутствии дефектов трубной заготовки). Существуют определенные области сочетаний допустимых значений величин сил сжатия и температур, при которых сварка осуществляется без снижения качества сварного шва. Расширение области применения сварных труб и вызванное этим повышение требований к качеству сварного соединения потребовали создания систем регулирования режима сварки, способных поддерживать температуру и давление в заданном узком интервале.

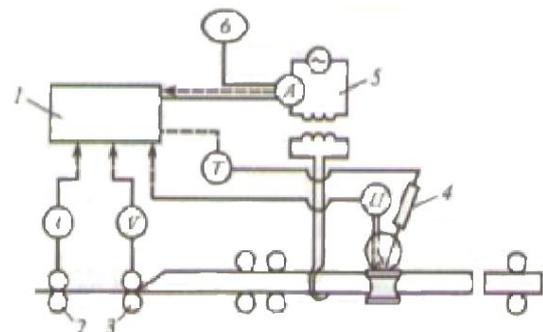


Рис. 1 Схема автоматической системы регулирования температуры сварки труб, в зависимости от изменения толщины ленты. 1 - Микропроцессор, 2 – толщиномер, 3 – энкодер для измерения скорости сварки, 4 – пирометр, 5 – источник питания, 6 – дистанционный пульт управления.

В Японии для стабилизации температуры сварки при изменении толщины исходной ленты применяют автоматическую систему с микропроцессором, управляющим режимом работы источника питания сварочного устройства, и дистанционным пультом управления. Температура регули-

руется на основании следующей входной информации: фактической толщины штрипса, измеряемой толщиномером, значениями скорости сварки и температуры свариваемых кромок, измеряемой пирометром. Кроме того, микропроцессор контролирует действительные значения силы тока и напряжения источника питания и использует полученную информацию для дополнительной обратной связи. Схема автоматической системы приведена на рисунке 1.

В компании "Син ниппон сэйтэцу" разработана также система регулирования температуры сварки, снабженная высокочастотным генератором и индукционным нагревателем, оснащаемая набором электронной и регулирующей аппаратуры. В этой системе автоматический регулятор вырабатывает управляющий сигнал с учетом информации о скорости движения заготовки, фактической расходуемой нагревателем мощности и действительной температуры в очаге сварки, фиксируемой пирометром. Схема автоматической системы приведена на рисунке 2.

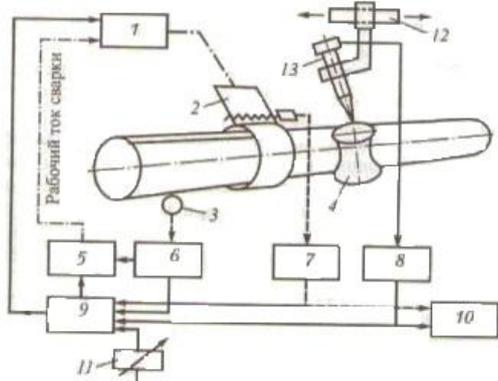


Рис. 2 Схема автоматической системы "Син ниппон сэйтэцу" регулирования температуры сварки труб. 1 – высокочастотный генератор, 2 – высокочастотный индуктор, 3 – датчик скорости, 4 – валок, 5 – регулятор рабочего тока сварки, 6 – преобразователь скорости, 7 – индикатор мощности нагревателя, 8 – индикатор температуры сварки, 9 – регулятор высокочастотного генератора, 10 – устройство контроля предельных значений параметров, 11 – дистанционный датчик температуры сварки, 12 – крепление пирометра, 13 – пирометр.

Сегодня на большинстве трубных п

Особенностью существующих методов контроля качества является то, что все методы применимы лишь к готовой продукции. Продукция уже произведенная с отклонениями по качеству отбраковывается. Поэтому интерес представляет регулирование процесса производства (сварки) труб в режиме реального времени, его исследование и совершенствование. Такая возможность позволяет быстро и эффективно реагировать на отклонение процесса от заданного режима, корректировать его по заданным технологическим параметрам, сокращая уровень производственного брака.

редприятий в процессе производства контролируется только скорость технологического процесса. Остальные параметры контролируются косвенно, т.к. их контроль требует проведения научно-исследовательских работ и значительных дополнительных инвестиций. Существующий уровень развития науки и техники способствует появлению на рынке новых контрольно-измерительных приборов, работающих в условиях агрессивной окружающей среды. Непосредственную важность играет подбор и адаптация существующих приборов под специализированные условия и задачи каждого предприятия. Это позволит создать высокоэффективную систему контроля за качеством, состоящую из следующих устройств:

- лазерных датчиков для измерения ширины и высоты наружного грата, смещения кромок трубной заготовки, толщины задаваемого штрипса, диаметра готовой трубы;
- пирометров спектрального отношения для контроля температуры в условиях задымленности;
- новых конструкций опорно-сварочных узлов с месдозами для измерения силы сжатия кромок трубной заготовки.

Данная система позволит гибко реагировать на изменения параметров процесса уже на этапе производства, не дожидаясь результатов технологических и металлографических испытаний, способствуя снижению уровня брака – важнейшему резерву для повышения производительности

труда и экономической эффективности производства.

Интеграция данной системы в трубное производство имеет смысл для:

- Оценки вариабельности ключевых процессов; Используя вышеуказанные приборы можно задать определенную периодичность измерений необходимой величины и с помощью прикладного программного обеспечения оценить разброс измеряемых значений относительно средней линии процесса во времени. Максимальное и минимальное значения покажут общий размах, исключения могут составлять отдельные пики - отклонения, образующиеся вследствие воздействия на процесс внешних или внутренних факторов. Далее, используя специализированное программное обеспечение для обработки имеющихся данных, формируются специализированные статистические отчеты.

- Проведения анализа возможностей производственного оборудования по мере износа; контролируя процесс в реальном времени можно наблюдать отклонение средней линии процесса в ту или иную сторону. Определенные технологические параметры установившегося процесса будут иметь положительное или отрицательное отклонение от средней линии, что позволит производить необходимые корректировки наладки процесса из-за износа оборудования.

- Оценки минимального уровня ppm производимой продукции; Статистические отчеты, основанные на измерениях в режиме реального времени позволят судить не только о вариабельности процессов, но и о контрольных границах оборудования, установленных на картах Шухарта-Деминга, для прогнозирования минимального уровня ppm и согласования его с потребителем.

- Расчета минимальной допустимой ширины штрипса с учетом анализа добавочного коэффициента на сварку; ширина исходного штрипса для производства трубы данного размера, независимо от типа калибровки, определяется по формуле Б. Д. Жуковского:

$$B_{л} = \pi(D_T - S_T) + \Delta B_{\phi} + \Delta B_{к} + \Delta B_{с}, \quad (1)$$

где $B_{л}$ – ширина ленты;

D_T – диаметр трубы;

S_T – толщина стенки трубы;

ΔB_{ϕ} – припуск на смятие кромок в формовочном стане;

$\Delta B_{к}$ – припуск на обжатие при калибровке трубы;

$\Delta B_{с}$ – припуск на оплавление кромок и образовании грата во время сварки;

Припуск ΔB_{ϕ} на смятие кромок в клетях с разрезной шайбой принимают в зависимости от отношения диаметра трубы к толщине стенки. Припуск $\Delta B_{к}$ нужен для того, чтобы обеспечить возможность некоторого редуцирования трубы в калибровочном стане, что позволит получить трубу с точным наружным диаметром. В зависимости от диаметра трубы принимают разные значения припуска. Для определения припуска $\Delta B_{с}$ на оплавление кромок и образование грата Р. В. Головкин и Е. М. Кричевский [1] рекомендуют формулу:

$$\Delta B_{с} = k * S_T \quad (2)$$

Коэффициент k определяется экспериментальным путем в зависимости от диаметра и толщины стенки трубы. На практике применяют ширину ленты несколько большую, чем по формуле (1). Таким образом, за счет контроля величины давления опорно-сварочных валков можно исследовать слагаемое $\Delta B_{с}$ и принять минимально допустимое его значение для повышения экономической эффективности производства за счет уменьшения расхода металла, выдавливаемого в грат.

- Возможности автоматической корреляции процесса; современные трубоэлектросварочные агрегаты снабжены промышленными компьютерами, на которых установлено программное обеспечение, способное получать обратную связь от контрольно-измерительных приборов. Таким образом, можно скорректировать температуру сварки, в зависимости от изменения скорости процесса, толщины штрипса, марки свариваемого материала путем получения сварочным генератором обратного сигнала от пирометра. Своевременно устранять дефекты трубной заготовки в виде смещения кромок, путем автоматического регулирования верхних валков последних клетей формовочного стана, полу-

чающих сигнал от головного компьютера, в свою очередь принимающего сигнал от лазерного датчика, установленного за сварочным узлом и перед гратоснимателем рата.

- Уменьшения внутриводского уровня ppm; мгновенное автоматическое реагирование системы позволит сократить появление “второго” сорта и усилить контроль качества благодаря визуализации процесса и работы его в режиме реального времени.

Адаптация и использование таких систем контроля качества требует соблюдения высокой культуры производства, постоянного повышения квалификации обслуживающего персонала, проведения большого объема работ НИОКР и непрерывного контроля производственного процесса.

Составные валки с плавающим фланцем

Принцип действия технологии формирующего и калибрующего инструмента с плавающим фланцем заключается в частичном выравнивании скоростей по калибру валка, которая является важным фактором, влияющим на образование дефектов на внешней поверхности трубы (рисок, задиры, царапины).[2]

Помимо разности скоростей, на образование дефектов наружной поверхности труб влияют:

- шероховатость рабочей поверхности калибра;
- шероховатость ленты;
- твердость валков;
- износ формирующего инструмента;
- схема установки валков, чередование клеток и эджерных проводок;
- параметры настройки калибра.

Конструкция применяемого на ПАО «МТЗ «Филит» валкового инструмента с плавающими фланцами приведена в работе [2].

Составная конструкция валков позволяет сократить разницу скоростей по калибру валка, предотвратив тем самым возникновение задиры и царапин на наружной поверхности трубы, способствуя повышению потребительских свойств, востребо-

ванных в строительной и мебельной промышленности.

Изготовление труб из коррозионно-стойких сталей высокочастотной сваркой

На ОАО МТЗ “Филит” в 2012 году был установлен новый ТЭСА “20-76” с применением сварки токами высокой частоты.

В процессе освоения ТЭСА “20-76” сварке подвергались коррозионностойкие стали аустенитного и ферритного класса (АiSi 304, 321, 409, 439). Стали аустенитного класса обладают хорошей пластичностью, коррозионной стойкостью и свариваемостью. Немагнитные стали в отожженном состоянии имеют в своём составе основные химические элементы в диапазоне: $16\% \leq Cr \leq 30\%$; $8.0\% \leq Ni \leq 32\%$ ($Mo \leq 7\%$); $C \leq 0.1\%$. Стали ферритного класса имеют также низкое содержание углерода, а главным легирующим элементом является хром. Магнитные стали всегда имеют в своём составе основные химические элементы в диапазоне: $10.5\% \leq Cr \leq 23\%$; ($Mo \leq 4,5\%$); $C < 0.08\%$. Сварка коррозионностойких сталей отличается от сварки углеродистых и низкоуглеродистых сталей главным образом за счет оксидов, образующихся в процессе нагрева. Эти стали имеют в своём составе значительное количество хрома, который может окисляться в процессе сварки. Основным окислителем является кислород воздуха и кислород, образующийся при диссоциации смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в условиях высоких сварочных температур. Таким образом, сварка должна быть “сухой”, т.е. без попадания СОЖ в зону сварки, что достигается внутренним охлаждением опорно-сварочных валков, обдувом кромок трубной заготовки и усиленному потоку, охлаждающему ферритовый сердечник. Сварной шов должен быть защищен от кислорода воздуха инертным газом, например – аргоном, что достигается путем равномерного заполнения газом сварочного кармана.

Оксиды хрома достаточно тугоплавкие и имеют гораздо более высокую температуру плавления ($2550 \div 2650^\circ C$), чем основной металл. Разогрев кромок штрипса происходит равномерно по всей толщине, а

скорость достижения температуры плавки – около одной сотой секунды. В процессе сварки сила сжатия кромок трубной заготовки опорно-сварочными валками не способствует их перемещению в наружный или внутренний грат, если количество нагретого металла недостаточно. Оксиды остаются в сварном шве, таким образом, появляются непровары, понижающие технологические свойства сварного шва и вызывающие последующее хрупкое разрушение детали в процессе эксплуатации. Однако, если нагрев (мощность и частота сварочного тока) обеспечивает достаточное количество расплавленного металла, тугоплавкие оксиды хрома будут выдавлены в грат [3].

С точки зрения микроструктуры, высокочастотная сварка имеет весьма специфические особенности, вследствие того, что зона плавления резко ограничена, а зона термического влияния (ЗТВ), прилегающая к зоне плавления, гораздо уже по сравнению со сваркой TIG [3].

О влиянии ширины ЗТВ на качество сварного соединения существуют различные мнения. Сторонники большей ЗТВ утверждают, что она увеличивает пластичность металла, и он лучше поддается деформации при изготовлении деталей. Противники утверждают, что большая ЗТВ способствует коррозии сварного шва [4].

Процесс сварки кромок трубной заготовки зависит от множества факторов, которые можно отнести как к подготовке производства (материал, настройка оборудования, проектирование и использование оснастки), так и к самому процессу. На этапе подготовки к сварке исходный материал (штрипс) должен соответствовать требованиям нормативной документации по механическим свойствам, химическому составу, качеству поверхности, допуску по толщине. Телескопичность рулона должна быть не более 15мм, сабельность ленты не должна превышать 1.5мм на 1м длины, величина заусенцев для ленты толщиной менее 1.5 мм не должна превышать 0.05мм, а для ленты с толщиной более 1.5мм – 0.1мм. Штрипс должен быть чистым, без следов масла. Кромки ленты должны быть

ровно обрезанными без зазубрин, сколов, рванин и замятин.

Для снижения рисков при настройке формовочного и калибр(овочного станов на закрытых клетях ТЭСА “20-76” установлены датчики, определяющие положение верхнего валка, а система управления станом позволяет его запомнить, что очень важно, особенно для процесса формовки. Коррозионнотойкая сталь более прочная и пластичная, чем углеродистая, и в точке сварки велика вероятность смещения кромок из-за эффекта “распружинивания”, который в свою очередь устраняется подгибкой кромок в самом начале формовочного процесса. Таким образом, достаточно сохранить в памяти головного компьютера значения высот валков закрытых клетей, полученных в результате настройки, и при последующих перевалках на этот же размер система управления станом позволит автоматически восстановить настройку клетей формовочного и калибровочного станов.

Процесс сварки коррозионнотойких сталей, при отсутствии дефектов формовки, зависит от следующих факторов: скорости сварки, угла схождения кромок, частоты сварочного тока, температуры сварного шва, силы сжатия кромок трубной заготовки, которые, за исключением угла схождения кромок, контролируются непосредственно в процессе производства.

Угол схождения кромок должен быть в пределах $5\div 7^\circ$, его величина зависит от ширины разрезной шайбы шовонаправляющего валка. При ее меньшем угле необходимо усилить нагрев, что может являться критичным для сварочного генератора. Разрезная шайба должна периодически проверяться на наличие налипания металла (заусенцев) с целью предотвращения дефектов, возникающих на кромках.

Глубина разогрева кромок зависит от свойств металла, температуры и частоты сварочного тока. Более высокие частоты тока обеспечивают меньшую глубину нагрева, при уменьшении частоты глубина разогрева увеличивается, и образуется более объемный грат. Этот вопрос подробно исследован в работе [4].

В настоящее время на ТЭСА “20-76” освоено производство труб, соответствующих европейским стандартам En 10296-2: 2005 “Трубы круглые стальные сварные для механического и общетехнического назначения из коррозионностойких сталей” и En 10217-7 “Трубы стальные сварные из коррозионностойкой стали для работы под давлением”. Сварка коррозионностойких сталей гораздо сложнее и более чувствительна к изменению параметров процесса, чем сварка углеродистых сталей. Чистота на стане, исключение попадания кислорода в зону сварки, строгое соблюдение всех установленных процедур системы менеджмента качества, команда квалифицированного и дисциплинированного персонала, мотивированного на качество, - обязательные условия получения высококачественных труб из коррозионно-

стойких сталей, способных конкурировать с зарубежными аналогами.

Список литературы

1. Р.В. Головкин, Е.М. Кричевский. Производство прямошовных труб на непрерывных трубобозлектросварочных станах. М. Металлургия. 1969. С.284.
2. П.В.Родин, В.Я. Осадчий, В.Д. Дмитриев. Новые технологии при производстве сварных коррозионностойких труб малого диаметра. //Производство проката. 2015. № 12. С.14-19.
3. С.А. Кулютин, В.Я. Осадчий, В.Д. Дмитриев, С.А. Субботин. Применение сварки токами высокой частоты при производстве труб малого диаметра из коррозионностойких марок стали. //Производство проката. 2015. №11. С.32-35.
4. В.Я. Осадчий, А.П. Коликов. Производство и качество стальных труб. М.Изд-во МГУПИ. 2012. С.210. качества сварных труб

УДК: 621.39

ПОВОРОТНЫЙ БЕССТУПЕНЧАТЫЙ ВАРИАТОР ДЛЯ РОБОТОТЕХНИКИ И ЭКЗОСКЕЛЕТА

Албагачиев А.Ю., д.т.н., профессор;
Суров М.В., аспирант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Суров М.В. e-mail: maxsur@bk.ru

Проведен анализ существующих приводов робототехники, указаны их недостатки. Предложен и обоснован вариант привода, исключающий недостатки.

Ключевые слова: Бесступенчатый вариатор, привод, рука, рекуперация, гидравлика, электромотор, экзоскелет.

A DRIVE FOR EXOSKELETON AND ROBOTICS

Albagachiev A.Y.;
Surov M.V.

Moscow State University of Instrument Engineering and informatics, Moscow.

@Corresponding author e-mail: e-mail: maxsur@bk.ru

Analyses of existing drive robotics are their shortcomings. Proposed and justified drive option that eliminates the shortcomings.

Key words: CVT, drive, arm, recovery, hydraulics, electric motor, exoskeleton.

Роботы активно применяются в промышленности и являются одним из компонентов автоматизированных систем, которые позволяют увеличить производительность труда без снижения качества. Это позволяет заменить человеческий труд на различных операциях производства, а также на участках с опасными факторами.

Основной проблемой для реализации робототехники, является отсутствие подходящего привода, удовлетворяющего

требованиям по универсальности, адаптивности, экономичности, возможности рекуперации и быстрдействию. Для решения задачи по созданию работоспособного привода для робототехники или экзоскелета необходимо решить основную задачу по оптимизации КПД привода в диапазоне эксплуатации.

Предлагается использовать вместо редуктора вариатор с автоматической настройкой коэффициента редуктивности, зависящей от крутящего момента электродвигателя. Это позволяет использовать электродвигатель в диапазоне его максимального КПД.

В качестве вариатора предлагаю использовать гидравлическую систему. По разработанной схеме входные обороты изменяются в эффективном диапазоне КПД электромотора, а выходные обороты будут такие, как того требует условие перемещения груза, таким образом мы получаем удобный адаптивный привод. Его основными преимуществами перед другими аналогами являются: минимальные габариты, вес, быстрдействие и эффективность использования в широком спектре поставленных задач. Например, с редуктором это невозможно, такой привод эффективно работает только в узком диапазоне максимально расчётной нагрузки. В разработанном приводе применён гидроцилиндр, выполненный в виде тороида с поршнями и лепестковым насосом. Все это в совокупности представляет собой гидростатический трансформатор или редуктор. Добавляя в лепестковый насос возможность менять свой рабочий объем, путем изменения эксцентриситета, мы получаем бесступенчатый вариатор.

Основной задачей привода является перемещение груза, вариатор для простоты эксплуатации сделан автоматическим. Путем подачи на электромотор изменяемого потенциала (мощности) меняется крутящий момент на выходе электромотора. Соответственно, крутить ротор лепесткового насоса мотор будет с различным крутящим моментом. Этот момент через ротор передается на лопасть насоса. Здесь необходимо регулировать площадь лопасти, чтобы момент, развиваемый электромотором,

был эквивалентен давлению на лопасть. Организация зависимости изменения площади лопасти от изменения крутящего момента электромотора, обеспечивается эквивалентная нагрузка на мотор. Получается, что регулировать изменение эксцентриситета ротора (площадь лепестка) будет сам электромотор за счет крутящего момента и давления рабочей жидкости в приводе. Для упрощения конструкции и ликвидации лишних магистралей, буферного бака, золотниковой системы, магистраль выполняется по короткозамкнутой цепи, что исключает кавитацию.

Для выполнения условия стопорения привода, по умолчанию эксцентриситет в насосе равен нулю. Когда напряжение на мотор не подается, ротор насоса находится в центре статора и их оси совпадают. В этих условиях, при разнице давления в полостях тороида, перекачивания жидкости не будет, т.к. площади лопастей в насосе будут равны, благодаря этому привод будет застопорен без применения дополнительных устройств.

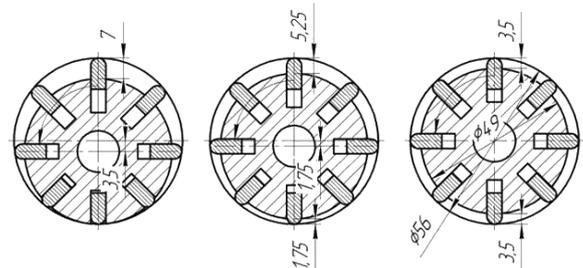


Рис. 2

На рисунке 2 изображен лепестковый насос с различным эксцентриситетом. Слева эксцентриситет равен 3,5мм. Это положение ротора при максимальном крутящем моменте электромотора. В центре изображен насос с эксцентриситетом равным 1,75мм, в этом положении насос будет перекачивать рабочую жидкость в обоих направлениях, но с разным расходом относительно верха и низа. На рисунке справа изображен насос с эксцентриситетом равным 0, это положение будет в случае, когда момент электромотора равен нулю, либо давление в системе превышает максимально допустимое.

Рекуперация будет осуществляться пу-

тем перекачки рабочей жидкости через насос под действием перепада давления в полостях тороида от веса груза. Регулироваться скорость перемещения сустава под действием внешних сил при рекуперации будет за счет нагрузки на электромотор, который работает в режиме генератора. Если требуется быстро опустить груз, то увеличивается нагрузка на генератор, что увеличивает момент на валу и изменяет эксцентриситет в большую сторону, что приводит к изменению площади лепестка, через который прогоняется рабочая жидкость. Данный привод был спроектирован для рычажного механизма экзоскелета (рисунок 3), в котором используется 20 приводов. Модификация экзоскелета грузоподъемностью 300кг весит 110кг (с применением титановых сплавов), без учета веса источника питания. Источник питания: свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (60 Вт·часа/кг) весом 80кг. Дальность хода без груза составляет 40км или 8 часов непрерывной ходьбы со скоростью 5км/ч без учета рекуперации. С рекуперацией 55км или 11 часов ходьбы. С грузом 300кг дальность хода экзоскелета составит 20км или 4 часа непрерывной ходьбы со скоростью 5км/ч без учета рекуперации. С рекуперацией 27км или 5,4 часа. С применением лантанд-фторидного аккумулятора, у которого удельная емкость составляет 350 Вт·часа/кг, показатели по автономности увеличатся в 6 раз.

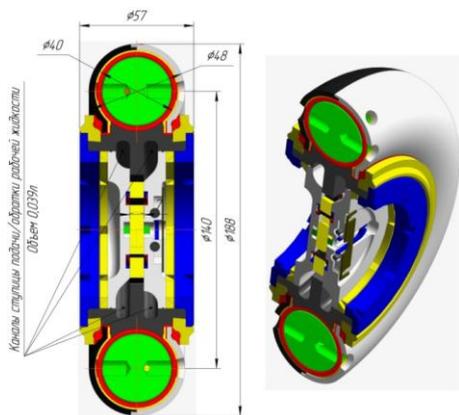


Рис. 3.

С разработанным приводом (рис. 4) данный экзоскелет или робот будет легким, мобильным, экономичным. Привод не

требует подключения масло-магистралей, т.к. является самодостаточным и независимым, к нему необходимо подключить только питание для электромотора. Конструкция экзоскелета является модульной, что позволяет использовать каждый узел автономно от общей системы.

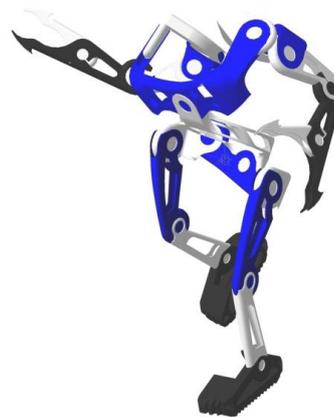


Рис.4.

Разработанный привод локтевого сустава (масса снаряженная 3,9кг, грузоподъемность 300кг, угловая скорость под нагрузкой 5 рад/с.) оптимально конвертирует входные обороты электромотора в высокий крутящий момент на выходе. В настоящий момент предлагаемый привод находится в стадии окончательной сборки действующего макета.

Список литературы

1. Устьянцев М.В. Рекуперация энергии при ресурсных испытаниях гидроцилиндров/ М.В. Устьянцев, Н.М. Корниенко // Перспектива 2010: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. - Нальчик: Каб.-Балк. унт, 2010:-Т. V,-С. 333-337.
2. Жога, В.В. Шагающий робот с ортогонально-поворотным движителем / В.В. Жога, А.Е. Гаврилов, П.В. Федченков // Матер. 7-й науч.-техн. конф. "Мехатроника, автоматизация, управление" (МАУ-2010), проводимой в рамках 3-й мультikonф. по проблемам управления (МКПУ-2010), 12-14 окт. 2010 г. / Гос. науч. центр РФ ОАО "Концерн "ЦНИИ Электронприбор" [и др.]- СПб., 2010. - С. 175-17.
3. Афонин В.Л., Подзоров П.В., Слещев В.В. Обращающееся оборудование на основе механизмов параллельной структуры (Учебное пособие). МГТУ СТАНКИН, 2006, 450с.

УДК62-538.4

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Вознесенская К.С., магистр 2 курса

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Вознесенская К.С. e-mail: kate_vel@mail.ru

В статье рассматриваются возможности CAD/CAM/CAE-систем в машиностроении, которые позволяют сократить срок внедрения новых изделий, а также оказывают существенное влияние на технологию производства, позволяя повысить качество и надежность выпускаемой продукции, повышая, тем самым, ее конкурентоспособность.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, технологический процесс, управляющая программа.

RELEVANCE OF APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

Voznesenskaya K.S.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author Voznesenskaya K.S. e-mail: kate_vel@mail.ru

In article possibilities of CAD/CAM/CAE systems in mechanical engineering which allow to reduce the term of introduction of new products are considered, and also have essential impact on the production technology, allowing to increase quality and reliability of products, increasing, thereby, its competitiveness.

Keywords: system of the automated design, technological process, the operating program.

Задача современного производства – это как можно быстрее выдать готовый продукт при минимальных затратах. Появление

какого-либо изделия можно представить в виде:

- Первый уровень — формируется объект, обладающий рядом свойств.
- Конструкторско-технологический уровень – объект формируется окончательно, происходит его разработка с точки зрения конструктора и технолога.
- Производственный уровень – это реальное воплощение объекта, подготовка оснастки для его производства.
- Последний уровень – выдача заказа.

Со второго и третьего уровня происходит пополнение базы конструкторских и технологических решений, оттуда же берутся уже готовые решения, когда-то отработанные и проверенные, либо какие-то решения отвергаются как заведомо невыполнимые, убыточные.

Но это, идеальная схема. На деле, в данной схеме возможны многочисленные обратные связи. Основная проблема – это недостаток информации об объекте производства и/или ее неверное истолкование, а также большие затраты времени на обработку этой информации. Одно из средств, позволяющих сильно сократить время проектирования – это САПР.

Технология CAD/CAM/CAE призвана обеспечить ускорение и упрощение процесса производства. Данная технология направлена на избежание ошибок при управлении сложным циклом разработки и производства детали, учитывает многие факторы, которые ранее не учитывались из-за сложности расчетов.

Существуют множество самых разных САПР, как похожих друг на друга, так и весьма отличающихся. В основном существует такая классификация пакетов САПР [1]:

1. Тяжелые САПР. Обеспечивают полный цикл проектирования от разработки внешнего вида, до подготовки документации и разработки управляющих программ. Такие САПР – это Unigraphics, CATIA, Pro/Engineer.

2. Средние САПР. Полного цикла не обеспечивают, обычно имеют провалы в цепи проектирования. Из российских производителей среднего САПР наиболее широко известны фирма «АСКОН», САПР

«Компас», и фирма «Топ-системы», которая разрабатывает САПР T-flex.

3. Легкие, или т.н. «специализированные» САПР, которые решают только узкие задачи проектирования – например, только проектирование кулачков или пресс-форм. В качестве примера можно привести продукцию фирмы Delcam, которая никак не может обеспечить полный цикл проектирования, но зато обеспечивает создание управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ. Из российских вариантов специализированного САПР можно выделить ГЕММУ и АДЕМ.

Все САПР основываются на представлении каким-либо образом объектов производства: двухмерный чертеж; трехмерная модель; математическая модель объекта; готовая деталь.

Наибольшее распространение сейчас получили трехмерные модели – как наиболее простые и функциональные, исключая возможность двойного толкования и удобные в построении. Но математическое моделирование все больше и больше распространяется в мире, уже многие САПР, в основном тяжелые, работают именно с математическими моделями.

Разные САПР создаются для решения разных задач, причем весьма отличающихся друг от друга. И соответственно отличается их идеология, способы построения объектов, требуемое программное обеспечение. Иметь на производстве несколько типов разных САПР нецелесообразно. Особенно, если существуют трудности с импортом-экспортом моделей.

Рассмотрим на примере детали типа «импеллер» эффективность применения модуля САМ системы Sprut-Технология [3]. Такие детали изготавливаются методом копирования. Оборудование, на котором производится обработка, морально устаревает и предлагается его замена на современный 5-ти координатный обрабатывающий центр. В связи с этим, необходим расчет траектории при фрезеровании криволинейных поверхностей на станках с ЧПУ.

Суть работы в САМ системе сводится к определенному алгоритму действий. Технолог должен задать обрабатываемую мо-

дель и общие требования к процессу обработки, такие как высота гребешка, максимальный угол врезания, способы подхода и т. п. По введенной информации система автоматического программирования рассчитывает оптимальную траекторию с учетом кинематики станка и крепежной оснастки.

Работа начинается с загрузки в SprutCAM 3D модели детали, которую необходимо обработать. В качестве оборудования для обработки выбран 5-координатный обрабатывающий центр MIKRON UCP 600 Vario.

Обработка детали будет происходить в три этапа. Вначале необходимо выбрать большую часть материала между стенками лопаток. Если пользоваться стандартными методами задания рабочих зон система не будет понимать, что именно от нее требуется. Для решения этой задачи необходимо правильно обозначить область обработки, для чего проецируем на плоскость YX границы межлопаточного пространства (рис. 1)

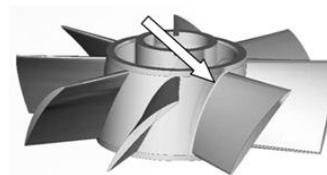


Рис. 1. Проекция границ межлопаточного пространства

Затем в режиме 2D редактора достраиваем область обработки, полностью включающую в себя межлопаточное пространство. Выполнив это, мы обеспечиваем абсолютные гарантии того, что обработка будет производиться только в заданной области.

Далее задаем ряд параметров: режущий инструмент, нижний уровень, шаг по Z, радиальный и осевой припуск. Выполнив вышеперечисленные действия, мы получим удовлетворяющую нас траекторию черновой выборки межлопаточного пространства.

Одним из плюсов SprutCAM является возможность размножения траектории по оси различными методами.

Следующим этапом будет чистовая обработка самих лопаток. Для этого необхо-

димо выбрать все поверхности, образующие стенки лопаток и описать их как направляющие поверхности в виде изолиний с шагом 0,2. В результате мы получим траекторию, огибающую контур лопатки, изменяющуюся с шагом по Z на 1 мм (рис. 2).

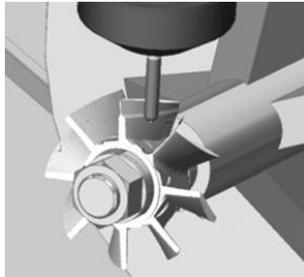


Рис.2. Траектория чистой обработки боковой поверхности лопатки

Заключительным этапом является обработка дна межлопаточного пространства. Благодаря возможности копирования параметров операций, мы указываем те же

параметры, что и в первой операции, и система сама просчитает, что необходимо доработать. В нашем случае это будет дно межлопаточного пространства.

Таким образом, использование системы SprutCAM для расчета управляющих программ обработки деталей, позволит в кратчайшие сроки организовать изготовление импеллера с учетом требуемого качества и трудоемкости обработки.

Список литературы

1. Левин В.И. Информационные технологии в машиностроении / В.И.Левин. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 272 с.
2. Матвеев В.Н. Повышение эффективности станков с ЧПУ путем создания программных модулей / В.Н. Матвеев, Е.И. Егорова // Материалы научной сессии по итогам 2003 г. — Альметьевск: АГНИ, 2004. — С.25.
3. СПРУТ — технология [Официальный сайт]. URL:<http://www.sprut.ru> (дата обращения: 10.11.2014).

УДК 658.562

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА

Загорная Е.О., магистрант;
Зерний Ю.В., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Зерний Ю.В. e-mail: Zerni_uv@mail.ru

В работе рассматриваются методы управления качеством продукции, базирующиеся на использовании современных программных средств, которые позволяют получить количественные оценки параметров изделий и производственных процессов. Приведены примеры, иллюстрирующие приведенную методику.

Ключевые слова: управление качеством, экономический

анализ, дисперсионный анализ, регрессия, Парето-анализ.

USE OF METHODS FOR ASSESSING THE LEVEL OF PRODUCT QUALITY AT THE PRODUCTION STAGE

Zagornaya E.O.;
Zerny Yu.V.

Physical and Technological Institute of Moscow Technology University

© Corresponding author : e-mail Zerni_uv@mail.ru

The paper considers methods of product quality management based on the use of modern software tools which allow to obtain quantitative estimates of the product parameters and production processes. Examples are given illustrating the above procedure.

Keywords: quality management, economic analysis, variance analysis (ANOVA), regression, Pareto-analysis.

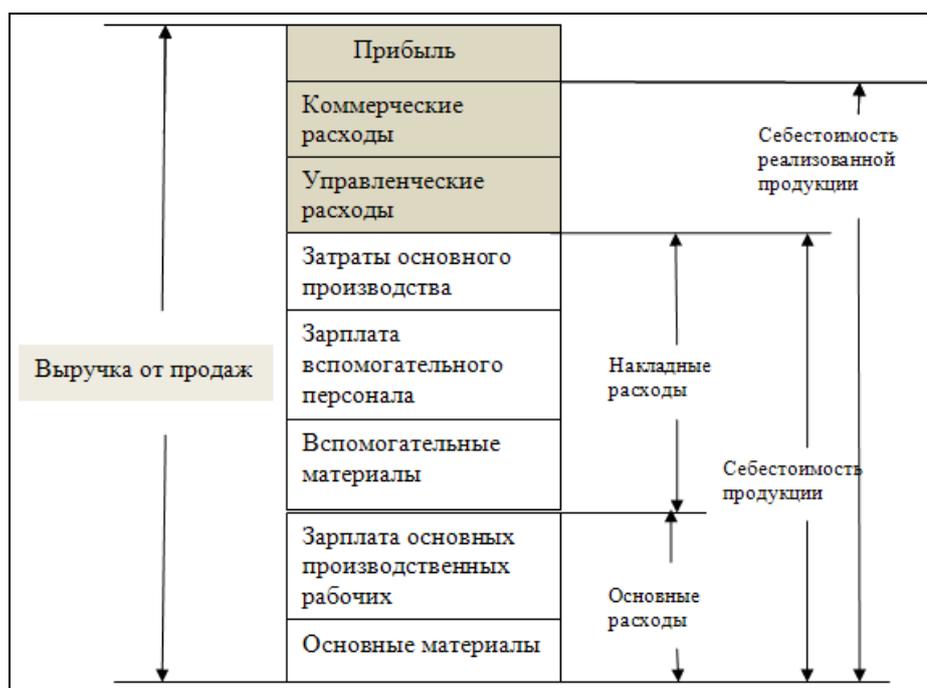


Рис. 1. Структура расходов организации

В настоящее время в стране разрабатывается и изготавливается большое количество разнообразных приборных устройств. Основной задачей производства является выпуск продукции заданного качества, с минимальными затратами (себестоимостью) и в заданные сроки. Отсюда следует, что задача обеспечения эффективности производства базируется на знании и умении технико-экономическими методами управлять производительностью труда, структурой себестоимости и разнообразными показателями качества продукции.

Главной целью любого предприятия, выпускающего приборостроительную продукцию, является получение прибыли Π .

Ее величина определяется разницей между ценой при продаже Π и затраченными материальными средствами – себестоимостью C .

$$\Pi = \Pi - C.$$

Таким образом экономические категории качества проявляются через прибыль производителя от продажи качественного изделия и через затраты производителя на обеспечение ожидаемого потребителем качества.

В условиях рыночной экономики, когда качество продукции наряду с ее стоимостью являются основными факторами успешного существования организации, все

больше внимания уделяется учету, анализу и управлению затратами на качество. Информация о затратах становится главной для решения следующих задач:

- обеспечения качества изготовления продукции и совершенствования технологии и организации производства;
- оценки эффективности функционирования системы качества организации;
- идентификации «узких мест» и критических областей в деятельности предприятия, требующих совершенствования;
- разработки параметров качества, поддержания достигнутого уровня качества и его повышения.

Традиционный учет ограничивает область применения программы затрат на качество статьями, входящими в себестоимость производства продукции (рис. 1). При этом выделение основных затрат на качество из себестоимости весьма затруднительно. (1)

Следовательно, основная доля потерь, связанных с некачественной продукцией возникает на этапе производства и затем проявляется на этапах контроля и эксплуатации.

Затраты производителя продукции можно классифицировать следующим образом (табл.1) [1].

Таким образом, возникает задача свя-

зять технико-экономические показатели, связанные с обеспечением заданного уровня качества, управлением качеством, с инженерными методами, позволяющими установить количественные соотношения между факторными и результативными признаками технологического процесса.

Ниже, представлены несколько примеров применения таких методов, которые могут войти в арсенал инженеров, разрабатывающих систему менеджмента качества предприятия. Результаты расчета получены с использованием Statgraphics Centurion16[2].

Таблица 1
Структура затрат на качество

Элементы затрат на качество	Доли от суммарных затрат, %
Организационные затраты, Z_1	0,5...5
Затраты на контроль качества, Z_2	10...50
Затраты на внутренний брак, Z_3	25...40
Затраты на внешний брак, Z_4	25...40

Таблица 2
Испытания материалов от 4-х поставщиков

Поставщик	Прочность (Н/мм ²)				
	1	200	140	170	145
2	190	150	210	150	150
3	230	190	200	190	200
4	150	170	150	170	180

Так, с помощью дисперсионного анализа исследовалась прочность материала, предлагаемого 4-мя поставщиками. Результаты расчета показаны в таблице 3.

Таблица 3
Таблица дисперсионного анализа

Источник дисперсии	Сумма квадратов	ЧСС	Средн. квадрат	F-статист	P-значение
Между группами	4980,0	3	1660,0	3,65	0,0352
Внутри групп	7270,0	16	454,375		
общая	12250,0	19			

F-статистика, которая в данном случае равна 3,65337, представляет собой отношение оценки между группами к внутригрупповой оценке. Так как P-значение F-теста меньше 0,05, существует статистически значимая разница между средним прочностью с одного уровня поставщика на другой при уровне достоверности 95,0%.

Следующий пример, демонстрирует возможность учета влияния технологической операции на результативный признак. Исследовался выходной параметр изделия до операции и после. Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4
Таблица регрессионного анализа

Параметр	оценка	Стандартная ошибка	T-статистика	P-статистика
коэффициент	14,7374	7,15226	2,06052	0,0508
коэф. регрессии	0,739757	0,0950182	7,78543	0,0000

Определен коэффициент корреляции = 0,851424. R-квадрат = 72,4923 процента. Стандартная ошибка Est. = 3,4572. Средняя абсолютная погрешность = 2,66303; Статистика Дурбина-Ватсона = 2,10119 (P = 0,5987). Уравнение модели следующее: после обработки = 14,7374 + 0,739757 до обработки. Так как значение P в таблице ANOVA меньше 0,05, существует статистически значимая зависимость между результатами после и до обработки при уровне достоверности 95,0%. Статистика R-квадрат показывает, что модель объясняет 72,4923% изменчивости после обработки. Коэффициент корреляции равен 0,851424, что свидетельствует о умеренно сильной взаимосвязи между переменными.

И, наконец, в третьем примере показано ранжирование долей брака по 8 причинам (на 8 участках цеха) на рис.2.

Как следует из рисунка, наибольший брак связан с наличием раковин. Как видно из диаграммы Парето (кумуляты) основной объем брака (раковины) возникает на шестом участке.

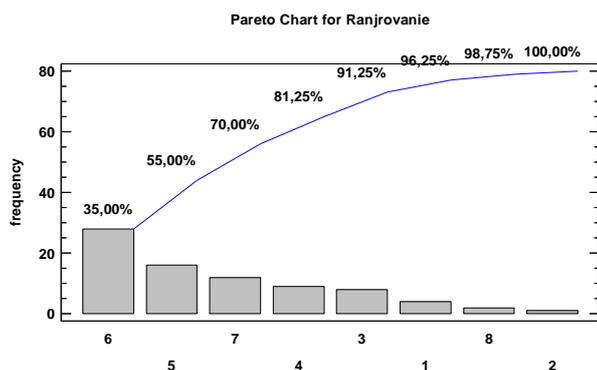


Рис. 2. Контрольный листок для регистрации (ранжирования) видов дефектов валов: 1-царапины, 2-трещины, 3-заусенцы, 4-неперпендикулярность торцов, 5-вмятины, 6-раковины, 7-конусность, 8-прочие

Ограниченный объем на позволяет по-

казать другие инструменты, используемые в задачах оценки уровня качества, общее количество которых весьма значительно. Использование этих методов позволяет перейти от базирования на опыт и квалификацию исполнителей к получению подтвержденных количественных оценок, математических моделей объектов и процессов.

Список литературы

1. Всеобщее управление качеством/О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, др.; Под.ред. О.П. Глудкина. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.
2. Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах – СПб: Питер, 1997. – 240 с.

УДК 621.7.43

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ

Карпов С. М., к.т.н., доцент;
Комаров Д. И., магистр 2-го года

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Карпов С. М. e-mail: karpov07@inbox.ru

Работа посвящена совершенствованию технологии раскроя листового материала для одной из самых массовых операций листовой штамповки – вытяжки без утонения стенки. Вытяжка цилиндрических деталей из листового материала может производиться из заготовок различной конфигурации, не обязательно являющейся круглой. С учётом этого, в работе приведены примеры наиболее рациональной, с точки зрения коэффициента использования материала, формы листовых заготовок.

Ключевые слова: раскрой материала, вытяжка, листовая штамповка

IMPROVEMENT OF MATERIAL

SPRAY TECHNOLOGY FOR EXHAUST OPERATION

Karpov S. M.;
Komarov D. I.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: e-mail: karpov07@inbox.ru

The work is devoted to improving the technology of cutting sheet material for one of the most massive operations of sheet punching - drawing without wall thinning. Extraction of cylindrical parts from sheet material can be made from blanks of different configuration, different from the circle, so in the work examples of the most rational from the point of view of the utilization factor of the material, the forms of sheet blanks are given.

Key words: Material cutting, stretching, sheet punching

Вытяжкой получают полые детали разнообразной формы из плоских листовых или полых тонкостенных заготовок, не требующие, как правило, дальнейшей обработки, кроме обрезки неровного края. К ним относятся: детали, имеющие форму

тел вращения (осесимметричные): днища котлов и различных цилиндрических резервуаров, металлическая посуда, детали осветительной аппаратуры (например, детали автомобильных фар); детали коробчатой формы: топливные баки двигателей внутреннего сгорания, бидоны для горючесмазочных материалов, тара для продуктов консервного производства; детали, имеющие одну ось симметрии или асимметричные: автокузовные детали — крыша автомобиля, его двери, капот; цилиндрические детали, у которых толщина дна больше толщины стенок: артиллерийские гильзы, гильзы стрелкового оружия, металлическая посуда с толстым дном и многие другие [1].

Большая часть операций вытяжки осуществляется из штучных заготовок полученных вырубкой из листов или полос. В связи с этим операция раскроя листового материала играет значительную роль в технологии изготовления изделий вытяжкой. Под раскроем понимается отыскание наиболее рационального (эффективного) размещения плоских заготовок в листе (полосе, ленте) относительно друг друга и кромок листового проката. Проектирование (разработка) раскроя заключается в выборе рационального положения заготовок в исходном металле. Параметрами эффективности раскроя должны быть плотность размещения заготовок в исходном материале, материальные затраты на осуществление разделения и т.п. Но, определяя рациональность той или иной схемы раскроя, необходимо учитывать не только ее экономичность или коэффициент использования металла (КИМ). Раскрой должен обеспечить высокое качество деталей, высокую производительность (низкую трудоемкость), простоту конструкции штампа и высокую стойкость его рабочих частей, а также удобство и безопасность работы. Согласно ГОСТ 18970-84 мерой эффективности раскроя служит КИМ:

$$КИМ = \frac{M_{д}}{H}, \quad (1)$$

где $M_{д}$ – масса детали, кг;

H – норма расхода материала на одну деталь, кг.

$$H = \frac{M}{n_{д}} N, \quad (2)$$

где M – масса листа (рулона, фрагмента ленты) применяемого для штамповки, кг;
 $n_{д}$ – число деталей, полученных в результате раскроя материала, шт.

Кроме коэффициента использования материала в технологических расчетах используют показатель эффективности раскроя – коэффициент раскроя η_p , определяемый по формуле:

$$а) \text{ полоса} - \eta_p = \frac{F_{д}}{B \cdot t}, \quad (3)$$

$$б) \text{ лист (лента, рулон)} - \eta_p = \frac{F_{д} \cdot n}{B \cdot L}, \quad (4)$$

где $F_{д}$ – площадь вырубленной заготовки, мм²;

n – кол-во деталей, полученных из листа, шт.;

B – ширина полосы (листа, рулона, ленты), мм;

t – шаг подачи материала при штамповке, мм;

L – длина листа (рулона, ленты), мм.

Если коэффициент раскроя η_p зависит только от формы внешнего контура деталей и их взаимного расположения, то КИМ кроме указанных факторов зависит еще и от наличия в детали отверстий.

Выбор новой схемы раскроя ленты при изготовлении изделий, показанных на рис. 1, в виде правильного шестигранника или восьмигранника позволяет избавиться от перемычек между деталями и зазоров от края ленты.

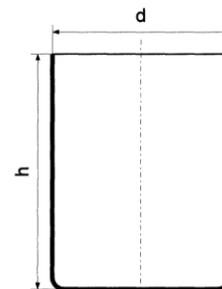


Рис. 1. Изделие типа «Колпачок»

Помимо существенного увеличения КИМ, это упрощает сбор отходов, поскольку не требует применения дополнительных ножей для резки отработанной

ленты. Схема раскроя ленты по новой схеме представлена на рис. 2.

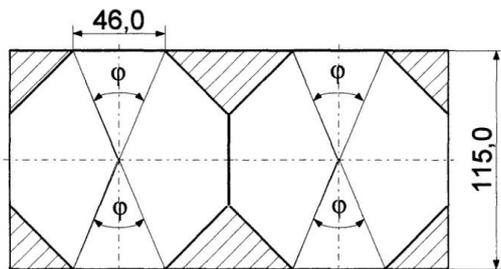


Рис. 2. Схема раскроя ленты

Выбранный новый раскрой ленты позволил существенно (на 12,5 %) повысить коэффициент использования материала, а также уменьшить на два число необходимых технологических переходов.

Список литературы

1. Попов Е. А., Ковалев В. Г., Шубин И. Н. *Технология и автоматизация листовой штамповки: Учебник для вузов.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 480 с.: ил.

УДК 681.58.8

ЭНДОПРОТЕЗ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА И ЕГО ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Албагачиев А.Ю. д.т.н., профессор;
Крюков А.И. магистрант

© Автор для переписки Крюков А.И. e-mail:
 LLE@BK.RU

Московский Государственный Университет
 Приборостроения и Информатики

В данной статье мы определим, какой материал лучше подходит к эндопротезу тазобедренного сустава, найдем коэффициенты и силы для эксперимента для выбранного нами материала, далее разберем установку для испытания материала.

Ключевые слова: эндопротез, углеродное волокно, армирование, испытательная установка, фибрилл

ENDOPROSTHESIS OF THAZEDED JOINT AND ITS TRIBOLOGICAL PROPERTIES

Albagachiev A.Y.;
Kryukov A.I.

©Author for correspondence
 Kryukov AI E-mail: LLE@BK.RU

Moscow State University of Instrument-Making
 and Informatics

In this article, we will determine which material is better suited to the hip joint endoprosthesis, find the coefficients and forces for the experiment for the material selected by us, then we will disassemble the apparatus for testing the material.

Key words: endoprosthesis, carbon fiber, reinforcement, test installation, fibrils

В эндопротезировании важным параметром является пара трения эндопротеза. Т.к. жизненный цикл эндопротеза имеет свой ресурс и в изготовлении протеза из разнообразных материалов и сплавов необходимо знать, каков износ на данной паре трения эндопротеза. У эндопротеза основной износ идет на трение. При обработке различных видов металла поверхность имеет вид неровности (рис.1), а при обработке или не обработанном углеволокне (рис.2).



Рис.1 Поверхность металла



Рис. 2 Поверхность из углеродного волокна

Созданные в последние десятилетия минувшего века прочные высокомодульные углеродные волокна (УВ) и армированные ими полимерные композиционные

материалы - углепластики обнаружили устойчивое использование в всевозможных секторах экономики индустрии, при данном в реальное время темпы наращивания их изготовления в вселенской экономике оформляют в пределах 10% в год. Это обосновано успешным сочетанием в УВ высочайшей крепости (до 7 ГПа) и модуля упругости (200-700 ГПа) с невысокой плотностью (1,7-2,0 г/см³), с уникальными тепловыми, хим, противокоррозионными, электрофизическими и другими качествами. Высочайшие механические свойства УВ обоснованы их специфичной микроструктурой. Главным симптомом такового строения считается присутствие нескончаемой квази-изотропной среды, «армированной» фибриллами. Постоянная среда делает роль специфичной матрицы, передавая нагрузку на фибриллы. По собственным термомеханическим свойствам она близится к коксу, размягчаясь в спектре температур, зависящим от конечной температуры получения волокна (1600-1700°С). Углеродные фибриллы средней шириной 0,1-0,4 мкм определяют модуль упругости и крепости волокна.

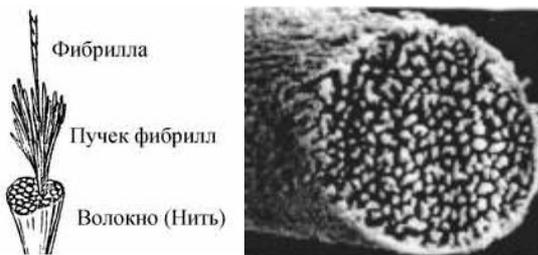


Рис. 3 Углеродное волокно

Углеродные волокна владеют высочайшей хим стойкостью ко всем брутальным средам за исключением мощных окислителей. Высочайшая хим стойкость углеродных волокон обозначила разработку хемостойких углепластиков в обмен нержавеющей сталей, сплавов и цветных металлов для приготовления разной аппаратуры и узлов, работающих в критериях влияния брутальных сред. В одном ряду с высочайшими механическими качествами и хемостойкостью углепластики владеют неплохими антифрикционными чертами, относительно невысоким коэффициентом трения и увеличенной износостойкостью.

Коэффициент трения углепластиков колеблется от 0,1 до 0,17 в зависимости от критерий проверки, а по износостойкости они в 5-10 один превосходят антифрикционные марки бронзы, применяемые для приготовления подшипников скольжения. Итоги проверки на трение* кое-каких незаполненных и заполненных углеродными волокнами пластиков в сопоставлении с бронзой приводятся в табл. 1.

По таблице видно что армирование углеволокном в полимере дает положительный коэффициент на износ и коэффициент трения.

Таблица 1

Показатели коэффициентов и нагрузок.

Материал	Удельная нагрузка МПа	Коэффициент трения	Коэффициент износа К*10 ⁶ мм ³ / Н*М	Примечание
Бронза	3,0	0,21	3,8	Схватывается с контротелом
	6,3	0,31	12,5	
	7,4	0,33	108,0	
Полиамид 12	7,4	0,12	37,0	Плавится
	11,0	0,10	92,0	
Полиамид 12+20%УВ	7,4	0,06	3,8	
	11,0	0,04	6,0	
Полипропилен	7,4	0,15	45,0	
	11,0	0,10	120,0	
Полипропилен+20% УВ	7,4	0,15	3,2	
	11,0	0,10	6,8	
	13,0	0,08	12,0	
Нейлон 6,6	0,1	0,28	20,0	
Нейлон 6,6+20% УВ	0,1	0,20	4,0	
Нейлон 6,6+30% УВ	0,1	0,20	2,0	
Нейлон 6,6+40% УВ	0,1	0,18	1,2	

Коэффициент линейного термического

расширения (КЛТР) - λ углепластиков в 15-20 раз ниже, чем у металлов и в 50-100 раз ниже, чем у неармированных полимеров

На основе показаний было выверено что коэффициент трения у полипропилен 0,08-0,15 и при армировании УВ приобретет высокие показатели износостойкости

Т.к. Коэффициент трения определяется практически путем была разработана установка испытания сферических тел на износ (Рис. 4).

Таблица 2

Показатель линейного расширения.

Материал	$\Lambda * 10^6, 1/^\circ\text{C}$
Алюминий	23,8
Медь	16,5
Полиамид 6,6	5,40
Полиамид 6,6 + 40% УВ	0,96
Полипропилен	0,15
Углеродное волокно	-0,41

Расчёт установки.

Среднестатистическая скорость передвижения бегом человека составляет $S_{\text{бег}} = 15$ км/час. Среднестатистическая длина ног $L_{\text{ног}} = 880$ мм. Средний шаг при беге $H_{\text{ног}} = 800$ мм. При заданных параметрах угол шага равен $\lambda_{\text{ног}} = 54,4^\circ$. Переведем скорость бега в мм/сек. Скорость составит $S_{\text{бег}} = 4166,6666$ мм/сек. Коэффициент скорости на угол ног будет равен $K_s = S_{\text{бег}} / L_{\text{ног}} = 4,7648$. Т.к. самый эффективный диаметр головки эндопротеза равен $D_{\text{гол}} = 32$ мм. То периметр равен $P_{\text{гол}} = 100,531$. Момент вращения на головке будет равен $M_{\text{гол}} = S_{\text{бег}} * D_{\text{гол}} = 152,4736$ мм/сек. Обороты в минуту равны $O_{\text{гол}} = M_{\text{гол}} * 60 / P_{\text{гол}} = 91$ об/мин. Т.к. диаметр вращающего вала равна $D_{\text{ввал}} = 16$ мм. Что в 2 раза меньше головки то момент вращения вала составит $M_{\text{вал}} = M_{\text{гол}} * 2 = 2439,5776$ мм/сек. Рассчитаем момент вращения от вала \rightarrow редуктор \rightarrow мотор. Диаметр шестерни вала $D_{\text{швал}} = 28,29145$ мм. Диаметр первичного вала редуктора $D_{\text{Пред}} = 28,216$ мм. Диаметр вторичного вала редуктора $D_{\text{Вред}} = 26$ мм. Диаметр вала мотора $D_{\text{Мот}} = 15,25$ мм. $O_{\text{мотор}} = O_{\text{гол}} * (D_{\text{гол}} / D_{\text{ввал}}) / (D_{\text{швал}} / D_{\text{ввал}}) * (D_{\text{швал}} / D_{\text{Пред}}) * (D_{\text{Пред}} / D_{\text{Вред}}) * (D_{\text{Вред}} / D_{\text{Мот}}) = O_{\text{гол}} * (D_{\text{гол}} / D_{\text{Мот}}) = 190,95$ об/мин.

Среднестатистический вес человека равен 80 кг. Переведем килограммы в ньютоны $F = 784$ Ньютона. Скорость вращения мотора в метр/сек равна $u = O_{\text{мотор}} * D_{\text{Мот}} / 1000 * 60 = 174,71925$ м/сек Расчет мощности мотора равна $P = F * u = 137072$ Ватт.

Установка для испытания на износ сферических тел [рис.4], содержащая валы(1), установленные перпендикулярно друг другу, привод на вращение, рабочий брусок(2) и механизм его подачи отличающийся тем, что привод вращения снабжен контроллером, регулирующим частоту вращения валов.

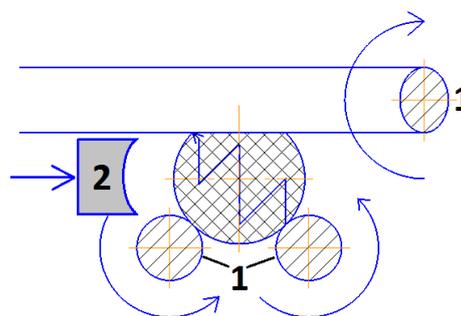


Рис. 4. Принцип работы испытательной установки

Способ испытания сферического тела на износ осуществляемый на вращающихся валах, установленные попарно-перпендикулярно друг другу и испытуемого тела между валами и рабочего бруска между ними, отличающимся тем, что вращение валов осуществляют с переменной скоростью по синусоидальному закону(Рис. 6).

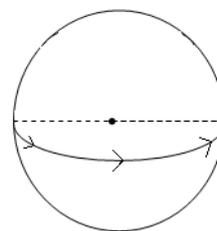


Рис. 5 Линейное вращение.

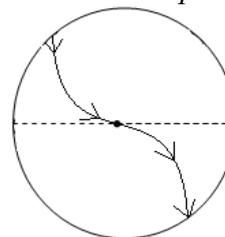


Рис. 6 Вращение по синусоидальному закону.

Список литературы:

1. Молчанов Б.И. - Свойства углепластика и область их применения / 1996г. С. 10.
2. Литвинов В.Б. – Структурно-

- механические свойства высокопрочных углеродных волокон / 2011г. С. 24.
3. Скипенко Т.О. Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава / 2013г. С. 10.

УДК 621.9.04

**СОКРАЩЕНИЕ
ТРУДОЕМКОСТИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ТИПА «БЛИСК» ЗА СЧЕТ
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ
ПЛАВКИ**

**Краско А.С., старший преподаватель;
Баранова Н.С., старший преподаватель;
Мокану А.А., студент**

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@ Автор для переписки: Мокану А.А. e-mail: toni-blic-mokanu@mail.ru

В настоящей статье рассматриваются методы снижения трудоемкости изготовления деталей типа «блиск» газотурбинных двигателей. Рассматриваются преимущества применения наукоемких методов, таких как аддитивная технология электронно-лучевой плавки при обработке деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов. Приведен пример перспективного технологического процесса.

Ключевые слова: аддитивные технологии, блиск, моноколесо, электронно-лучевая плавка, титановые сплавы.

**REDUCTION OF THE
LABORIOUSNESS OF
MANUFACTURING BLISK'S
COMPONENTS ON ACCOUNT OF
USING ELECTRON BEAM
MELTING TECHNOLOGY**

**Krasko A.S.;
Baranova N.S.;**

Mokanu A.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@ Corresponding author e-mail: toni-blic-mokanu@mail.ru

In the article, methods of reducing laboriousness of manufacturing ITEMS "BLISK" TYPE are being considered. The advantages of applying science-intensive methods, such as the additive technology of electron beam melting when processing complex shape parts from hard-to-work materials are being taken up. An example of a perspective technological process is given.

Keywords: additive manufacturing, blisk, mono-wheel, electron-beam melting, titanium alloys

На сегодняшний день производство блисков (англ. bladed disk - турбина, лопатки которой составляют единое целое с диском ротора) осуществляется путём соединения лопаток и диска, либо изготовлением цельной заготовки (рис.1). При использовании данной технологии, для получения готового изделия, из заготовки, в среднем, удаляется 80-85% металла. С учетом того, что блиски изготавливаются из труднообрабатываемых материалов (титановые сплавы и сплавы на основе никеля), процесс производства готовой детали является весьма трудоемким. [3]



Рис. 1. Деталь типа «блиск»

В производство внедряют методы обработки, которые снижают трудоемкость обработки детали. К таким методам относятся: плунжерное фрезерование, высокоскоростная обработка, метод гидростатического прессования лопаток и диска и тд. Наиболее часто применяют технологию плунжерного и высокоскоростного фрезерования или их комбинацию. Однако, существенного снижения станкоемкости не происходит, например, только на фрезерование межлопаточных каналов блиска массой 14 кг из заготовки массой 124 кг уходит в среднем 180 часов.

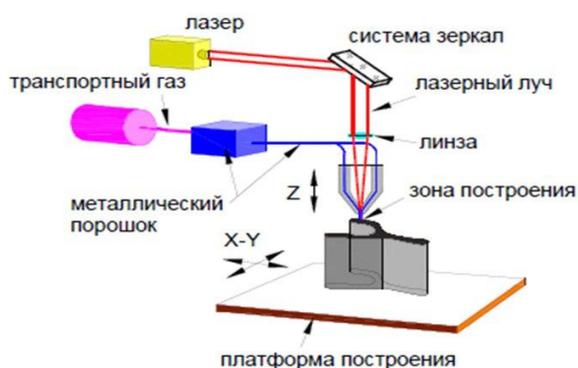


Рис. 2. Схема процесса электронно-лучевой плавки

В настоящее время наиболее перспективным методом изготовления деталей типа блиск являются аддитивные технологии. Аддитивные технологии или Additive Manufacturing (AM-технологии). На сегодняшний день использование аддитивных технологий в авиастроении составляет 9,9% от общего распределения по отраслям. Данный процент будет расти, т.к. использование AM-технологии обретает значительную роль в этой отрасли за счет повышенной экономичности, почти неограниченной свободы геометрии изделий, возможности менять структуру металлов во своему желанию и сокращения времени производства. [1]

Современный уровень развития материаловедения позволяет изготавливать порошки из титановых и никелевых сплавов.

В качестве аддитивной технологии нами был выбран метод электронно-лучевой плавки (ЕВМ). Суть данной технологии заключается в том, что плавкий материал

подается в место, куда в текущий момент времени подведена энергия. Происходит непосредственное осаждение металлического порошка, тем самым идет построение фрагмента детали. Использование подобных электропучков, которые действуют в вакуумной камере, обеспечивает наиболее высокую детализацию создаваемого объекта. Что достигается корректировкой электронного луча с помощью манипуляции магнитными полями. На рис. 2 представлена принципиальная схема электронно-лучевой плавки. [1]

Рассмотрим базовый технологический процесс изготовления блиска. Заготовка диаметром 700 мм изготовлена из титанового сплава ВТ6 ОСТ 1 90197-89. Её масса составляет 124 кг. Последовательность основных операций следующая: черновая токарная обработка; термическая обработка; черновое фрезерование межлопаточных пазов; термическая обработка; чистовая токарная обработка; полуступовое и чистовое фрезерование лопаток; шлифование лопаток. При этом значительная часть времени тратится на фрезерование межлопаточного паза, для рассматриваемой детали это 56 часов, при общем времени изготовления детали в цехе – 156,5 час. Масса готовой детали составляет 14 кг, т.е. 88,71% металла отправляется в отходы. [2]



Рис. 3. 5-осевой металлический 3D-принтер MX-1000 компании InssTek

Внедрив аддитивные технологии, а именно способ электронно-лучевой плавки ЕВМ, в производство блиска, получаем технологический процесс со следующей последовательностью основных операций: черновая токарная обработка; термическая обработка; наращивание лопаток методом электронно-лучевой плавки; термическая обработка; чистовая токарная обработка;

получистовое и окончательное фрезерование лопаток.

Применение технологии электронно-лучевой плавки позволило сократить количество операций. Из базового технологического процесса были удалены операции, на которых происходило фрезерование межлопаточного пространства. Была включена операция наплавки лопаток, получение лопаток происходит путем прямого наплавки материала. При этом остается припуск для чистового фрезерования. Заготовкой детали служит штампованный диск массой 24 кг.

Сравнительный анализ трудоемкости основных операций и коэффициента использования материала приведен в таб.2. [3]

Таблица 2
Сравнительный анализ трудоемкости фрезерных операций

Этап обработки	Время автоматической работы станка, мин	
	Базовый вариант	Проектный вариант
Черновая обработка межлопаточного паза (плунжерное фрезерование)	3360	-
Наплавление лопаток	-	380
Получистовая обработка лопаток	1290	998
Чистовая обработка лопаток	120	120
Всего	4770	1498
Коэффициент использования материала	0,11	0,50

Применение аддитивных технологий при производстве деталей сложной формы и состоящими из труднообрабатываемых материалов стало возможным благодаря развитию современного материаловедения – получения мелкодисперсных порошков титановых и никелевых сплавов, а также благодаря развитию станкостроения.

В качестве оборудования для электронно-лучевой наплавки была выбрана установка МХ-1000 компании InssTek, общий которой представлен на рис. 3. Данная установка позволяет проводить 5-координатную наплавку широкого спектра материалов благодаря наличию вакуумной камеры.

Благодаря применению технологии электронно-лучевой плавки может быть достигнуто сокращение трудоемкости изготовления блиска в 3 раза или на 3272 минут (54,5 час.). Коэффициент использования материала вырос в 4,5 раза.

Список литературы

1. Зленко А. А., Нагайцев М. В., Добрыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении / Пособие для инженеров. 2015. НАМИ. Москва
2. Жеманюк П. Д., Богуслаев А. В., Мозговой С. В., Карась Г. В., Качан А. Я. Обработка проточных поверхностей моноколес высокоскоростным фрезерованием / Вестник двигателестроения, 2002. – №1. – с 110-111
3. Лукина С. В., Манаенков И. В. Повышение эффективности многокоординатного фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ / Известия МГТУ «МАМИ» №2(14). 2012, т. 2 с. 124-128.

УДК 678

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛОВ ТРЕНИЯ. ТОРМОЗНАЯ ПАРА АВИАЦИОННОГО ДИСКА.

Албагачиев А.Ю. д.т.н., профессор;
Федоров М.С. магистрант

Московский Государственный Университет
Приборостроения и Информатики

© Автор для переписки Федоров М.С.
e-mail: Errorcpu@yandex.ru

В работе рассматриваются новые технологии тормозной пары трения авиационного диска и его материалы, функции и их зависимости, расчет температурных зависимостей.

Ключевые слова: Углеродное волокно, Армирование, Испытательная установка, Фибриллы.

INCREASE OF OPERATIONAL TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF FRICTION UNITS. BRAKE RATE OF AERONAUTICAL DISC

Albagachiev A.Yu.;
Fedorov M.S.

¹Moscow State University of Instrument-Making and Informatics

@ The author for correspondence Fedorov MS. El. address: Errorcpu@yandex.ru

The paper considers new technologies that allow them to analyze and analyze data.

Keywords: Carbon fiber, Reinforcement, Test installation, Fibrils.

Многие выпускаемые фрикционные материалы применяющиеся в авиатормозах не отвечают требованиям современной технике по жизненному ресурсу, который не превышает около 500 посадок. Созданные в последние десятилетия минувшего века прочные высокомодульные углеродные волокна (УВ) (Рис. 1) и армированные ими полимерные композиционные материалы - углепластики обнаружили устойчивое использование в всевозможных секторах экономики индустрии, при данном в реальное время темпы наращивания их изготовления в вселенской экономике оформляют в пределах 10% в год. Это обосновано успешным сочетанием в УВ высочайшей крепости (до 7 ГПа) и модуля упругости (200-700 ГПа) с невысокой плотностью (1,7-2,0 г/см³), с уникальными тепловыми, хим, противокоррозионными, электрофизическими и другими качествами. Высочайшие механические свойства УВ обоснованы их специфичной микроструктурой. Главным симптомом такого

строения считается присутствие нескончаемой квази-изотропной среды, «армированной» фибриллами. Постоянная среда делает роль специфичной матрицы, передавая нагрузку на фибриллы. По собственным термомеханическим свойствам она близится к коксу, размягчаясь в спектре температур, зависящим от конечной температуры получения волокна (1600-1700°С). Углеродные фибриллы средней шириной 0,1-0,4 мкм определяют модуль упругости и крепости волокна. (Рис. 2).

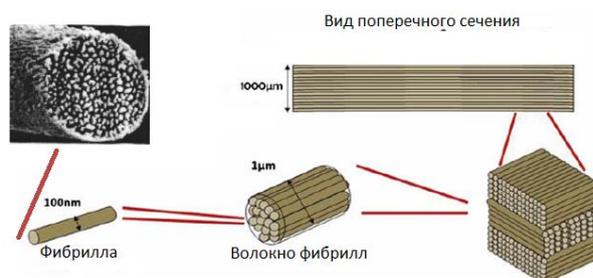


Рис. 1. Углеродное волокно

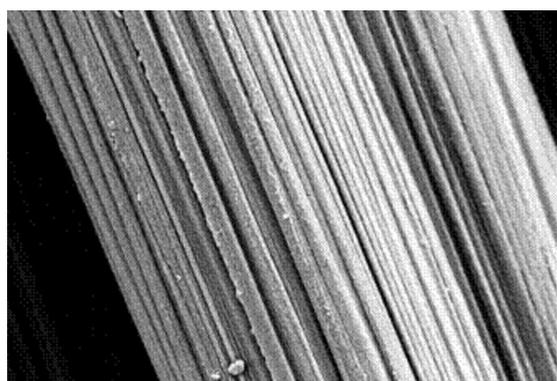


Рис. 2. Структура поверхности углеродного волокна

Углеродные волокна владеют высочайшей химической стойкостью ко всем брутальным средам за исключением мощных окислителей. Высочайшая хим стойкость углеродных волокон обозначила разработку хемостойких углепластиков в обмен нержавеющей сталей, сплавов и цветных металлов для приготовления разной аппаратуры и узлов, работающих в критериях влияния брутальных сред. В одном ряду с высочайшими механическими качествами и хемостойкостью углепластики владеют неплохими антифрикционными чертами, относительно невысоким коэффициентом трения и увеличенной износостойкостью. Коэффициент трения углепластиков ко-

леблется от 0,1 до 0,17 в зависимости от критерий проверки, а по износостойкости они в 5-10 один превосходят антифрикционные марки бронзы, применяемые для приготовления подшипников скольжения. Итоги проверки на трение кое-каких незаполненных и заполненных углеродными волокнами пластиков в сопоставлении с бронзой приводятся в табл. 1.

Таблица 1
Показатели коэффициентов и нагрузок.

Материал	Удельная нагрузка МПа	Коэффициент трения	Коэффициент износа $K \cdot 10^6$ мм ³ / Н*м	Примечание
Бронза	3,0	0,21	3,8	Схватывается с контртелом
	6,3	0,31	12,5	
	7,4	0,33	108,0	
Полиамид 12	7,4	0,12	37,0	Плавится
	11,0	0,10	92,0	
Полиамид 12+20%УВ	7,4	0,06	3,8	
	11,0	0,04	6,0	
Полипропилен	7,4	0,15	45,0	
	11,0	0,10	120,0	
Полипропилен + 20% УВ	7,4	0,15	3,2	
	11,0	0,10	6,8	
	13,0	0,08	12,0	
Нейлон 6,6	0,1	0,28	20,0	
Нейлон 6,6+20% УВ	0,1	0,20	4,0	
Нейлон 6,6+30% УВ	0,1	0,20	2,0	
Нейлон 6,6+40% УВ	0,1	0,18	1,2	

По таблице видно, что армирование углеродным волокном в полимере дает положительный коэффициент на износ и коэффициент трения.

Коэффициент линейного термического расширения табл.2 (КЛТР) - λ углепластиков в 15-20 раз ниже, чем у металлов и в 50-100 раз ниже, чем у неармированных полимеров

Таблица 2
Показатели линейного расширения.

Материал	$\lambda \cdot 10^6, 1/^\circ\text{C}$
Алюминий	23,8
Медь	16,5
Полиамид 6,6	5,40
Полиамид 6,6 + 40% УВ	0,96
Полипропилен	0,15
Углеродное волокно	-0,41

На основе показаний было выверено что коэффициент трения у полипропилен 0,08-0,15 и при армировании УВ приобретает высокие показатели износостойкости.

По логичному соображению была разработана пара трения дисков из углеволокна.

Диск 1 (Рис. 3) углеволокна диска прямые и направлены от центра (солнышко). Диск 2 (Рис. 4) углеволокна диска расположены по радиальному направлению. Такая пара трения имеет низкий износ т.к. углеволокна диска 1 и диска 2 пересекаются в перпендикулярном положении.

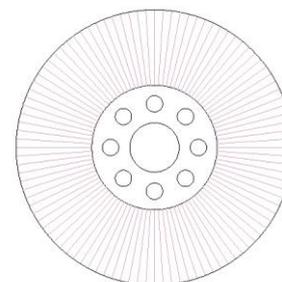


Рис. 3. Диск 1 с прямым направлением

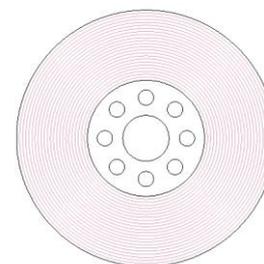


Рис. 4. Диск 2 с радиальным направлением от центра углеволокна.

А.В.Чичинадзе, д-р техн. наук, проф. (ИМАШРАН); А.Ю.Албагачиев, д-р техн. наук, проф. (ИМАШРАН) и В.Д.Кожемякина (ИМАШРАН) был разработан температурный расчет в тормоз-

ных дисках из углеродного фрикционного композитного материала.

Максимальная путевая скорость для начала торможения самолета 240 км/час.

Исходные данные для расчета:

1) начальная температура $\vartheta_0 = 93^\circ\text{C}$;

2) время нарастания давления на поверхности трения $t_m = 0,5\text{с}$;

3) наружный диаметр номинальной поверхности трения тормозного диска

$$D_{\text{нар}} = 0,424\text{м};$$

4) внутренний диаметр номинальной поверхности трения тормозного диска

$$D_{\text{вн}} = 0,279\text{м};$$

5) толщина тормозных дисков: вращающегося (ротор) $b_{\text{вр}} = 20,6 \cdot 10^{-3}\text{ м}$, неподвижного (статор) $b_{\text{неподв}} = 23,8 \cdot 10^{-3}\text{ м}$;

б) полная работа трения на одной номинальной поверхности трения

$$W_{\text{тр}} = 1776\text{ кДж};$$

7) начальная скорость скольжения по среднему радиусу диска

$$R_{\text{ср}} = 0,176\text{м составляет } v_{\text{ск нач}} = 15,57\text{м/с};$$

8) режимы торможения: $t_{\text{т}1} = 30,3\text{с}$; $t_{\text{т}2} = 50,6\text{с}$ и $t_{\text{т}3} = 21,6\text{с}$;

9) номинальная площадь трения одной поверхности трения $A_a = 0,08\text{ м}^2$.

В соответствии с гипотезой суммирования температур на поверхности трения и рекомендациям теории тепловой динамики трения и изнашивания ТДТИ максимальная температура на поверхности тормозного диска при однократном трении $\vartheta_{\text{макс}}$, что характерно для торможения самолета при посадке, определяется по формуле:

$$\vartheta_{\text{макс}} = \vartheta_0 + \vartheta^* + \vartheta_{\text{всп}}, \quad (1)$$

где ϑ_0 - начальная исходная температура диска до начала процесса трения;

ϑ^* - средняя температура номинальной (или контурной) площади поверхности трения диска; $\vartheta_{\text{всп}}$ - температурная вспышка фактического пятна касания при дискретном контактировании, которое является обязательным условием внешнего сухого трения твердых тел.

Средняя температура ϑ^* определяется по следующей формуле:

$$\vartheta^* = (\alpha_{\text{тр}} * W_{\text{тр}} * b) / (A_a * \lambda * t_{\text{т}}) = [((1/3) - \Sigma^*) \tau_N + F_{\text{отв}}] \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{тр}}$ - коэффициент распределения тепловых потоков между элементами пары трения;

$W_{\text{тр}}$ - полная работа трения за одно торможение продолжительностью $t_{\text{т}}$;

b - эффективная толщина элемента пары трения диска;

A_a - номинальная (или контурная) площадь поверхности трения дисков;

λ - коэффициент теплопроводности материала диска;

$t_{\text{т}}$ - среднее значение продолжительности торможения;

τ_N, τ_W - временные факторы мощности и работы трения при торможении;

$F_{\text{отв}}$ - эффективное число Фурье;

$$\Sigma^* = \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-(\pi n)^2 F_{\text{отв}}}, \quad (2)$$

где для инженерных расчетов совершенно достаточно иметь для быстросходящегося ряда $n = 1, 2, 3$.

Сначала находим номинальную площадь трения:

$$A_a = \frac{\pi}{4} (D_{\text{нар}}^2 - D_{\text{вн}}^2) \quad (3)$$

Число Фурье F обудет равно:

$$F_{\text{отв}} = (A_a * t_{\text{т}}) / b^2 \quad (4)$$

Расчетные формулы для определения τ_N, τ_W, τ_V и v_t по исходным данным будут следующими.

Временной фактор мощности трения τ_N при торможении определяется из следующего соотношения:

$$\tau_N = (n_2 + 1)(n_2 + 2) \tau^{n_2} (1 - \tau) \quad (5)$$

Временной фактор работы трения τ_W при торможении:

$$\tau_W = \tau^{n_2 + 1} [(n_2 + 1)(1 - \tau) + 1] \quad (6)$$

Текущая скорость скольжения τ_V , которая является функцией τ_W , определяется как:

$$\tau_V = (1 - \tau_W)^{1/2} \quad (7)$$

$$v_t = v_{\text{нач}} (1 - \tau_W)^{1/2} = v_{\text{нач}} * \tau_V \quad (8)$$

Температурная вспышка $\vartheta_{\text{всп}}$ в формуле (1) по рекомендации теории ТДТИ вычисляется по формуле:

$$\vartheta_{\text{всп}} = (1,71 d_r * A_r^{1/2} * \tau_N * W_{\text{тр}}) / (A_r * t_{\text{т}} [4\lambda_1 * A_{a2}^{1/2} + \lambda_2 (\pi * d_r * v_{\text{скт}})^{1/2}]) \quad (9)$$

где d_r - диаметр среднестатистического пятна фактического контакта;

A_r - суммарная фактическая площадь контакта.

Обычно A_r для пластического и упруго-пластического контакта определяется из соотношения:

$$A_r = P / H_V \quad (10)$$

где P —нагрузка;

HB —твердость более мягкого элемента пары трения;

$v_{скт}$ —текущая скорость скольжения (остальные величины те же, что и ранее).

$$d_r = ((8r_1 * h_{1m})/v_1)^{1/2} * (P_a / (HB_{2t} * b_{o1}))^{1/2} \quad (11)$$

где r_1 и h_{1m} —радиус и максимальная высота единичной неровности поверхности трения диска;

v_1 и b_{o1} —параметры кривой опорной поверхности диска;

P_a —давление на номинальной (или контурной) поверхности;

HB_{2t} —текущая твердость материала в функции средней температуры поверхности трения диска.

Расчетные значения средней температуры ϑ^* , температурной вспышки $\vartheta_{всп}$ и максимальной температуры $\vartheta_{макс}$, проведен-

ные по формулам (1-11) представлены в таблице 3 и на рис. 5.

Значения ϑ^* , $\vartheta_{всп}$ и $\vartheta_{макс}$ для режима по τ и t

$$(W_{ТП} = 1776 \text{ кДж}; v_{ск нач} = 15,57 \text{ м/с}; t_T = 30,3 \text{ с}; t_m = 0,5 \text{ с}; \vartheta_0 = 93^\circ\text{C})$$

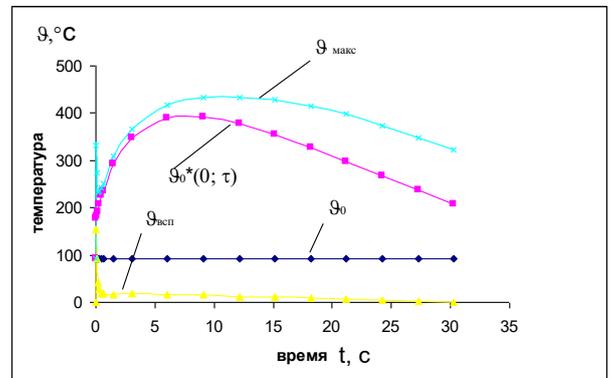


Рис. 5. Расчетные значения

Таблица 3

τ	$t, \text{ с}$	$V_t, \text{ м/с}$	$\vartheta^* + \vartheta_0, ^\circ\text{C}$	$\vartheta_{всп}, ^\circ\text{C}$	$\vartheta_{макс}, ^\circ\text{C}$
0	0	15,57	93	0	93
0,001	0,0303	15,56	177,82	154,5	332,32
0,002	0,0606	15,54	181,65	91,63	273,28
0,005	0,1515	15,5	192,09	40,39	232,48
0,01	0,303	15,43	207,5	26,54	234,04
0,0165	0,5	15,33	225,27	17,58	242,85
0,02	0,606	15,28	233,91	17,57	251,48
0,05	1,515	14,81	291,98	17,03	309,01
0,1	3,03	14,06	347,38	17,44	366,5
0,2	6,06	12,52	389,17	17,15	416,8
0,3	9,09	10,97	392,16	15,41	433,56
0,4	12,12	9,42	377,6	11,01	432,98
0,5	15,15	7,86	354,5	10,93	427,43
0,6	18,18	6,29	327,18	8,9	414,66
0,7	21,21	4,72	297,91	6,78	398,69
0,8	24,24	3,45	266,86	4,77	373,16
0,9	27,27	1,75	237,87	2,69	348,65
1,0	30,3	0	208,16	0	322,32

Список литературы:

1. Чичинадзе А.В. А.Ю.Албагачиев В.Д.Кожемякина - Температурный расчет в тормозных дисках - Для самолетов из углеродного фрикционного композиционного материала
2. Молчанов Б.И. - Свойства углепластика и область их применения / 1996г. С. 10.
3. Литвинов В.Б. - Структурно-

4. Скипенко Т.О. - Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава / 2013г. С. 10.
5. Николаев Л.Ф - Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов/1990г. С. 329.

УДК 004.942; 629.054; 629.735

МЕТОДЫ ОТРАБОТКИ КОМПЛЕКСА БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Ермилов Д. Ю., студент 1-ого курса
 магистратуры**

*Физико-технический институт Московского
 технологического университета*

© Автор для переписки: Ермилов Д. Ю. e-mail:
 aiker1995@yandex.ru

Работа посвящена методам отработки комплекса бортового оборудования (КБО) летательного аппарата, на основе анализа текущей ситуации в области имитационного моделирования, а также обоснованию выбора полунатурного моделирования как наиболее эффективного, наглядного и безопасного моделирования, позволяющего исключить неопределённость, проявляющуюся при других методах отработки комплекса бортового оборудования летательного аппарата.

Ключевые слова: имитационное моделирование, полунатурное моделирование, системы управления, бортовое оборудование, летательный аппарат

METHODS OF PROCESSING OF THE COMPLEX ONBOARD EQUIPMENT OF THE AIRCRAFT

Ermilov D. Yu.

*Moscow technological university. Physico-
 technological institute*

© Corresponding Ermilov D. Yu. e-mail:
 aiker1995@yandex.ru

The work is devoted to the methods of working out the complex onboard equipment (COE) of an aircraft based on the analysis of the current situation in the field of simulation modeling, as well as to justify the choice of semi-real simulation as the most effective, visual and safe simulation allowing to eliminate the uncertainty manifested in other methods of working out the COE of an aircraft.

Key words: simulation, semi-simulation, control systems, onboard equipment, aircraft.

На данный момент остро поставлен вопрос имитационного моделирования полёта летательного аппарата, дающего воз-

можность проведения тестовых испытаний и отработки деталей полёта, без всякого риска для нового оборудования, для пилотов и авиации в целом.

Современные авиационные машины оснащены не менее современными бортовыми вычислительными системами (БВС), которые содержат в своей структуре достаточно большое число автономных бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ) или вычислительных модулей. Каждый из них отличен от другого: архитектурой, составом структуры и взаимодействием со своими «абонентами», а также большим объёмом сложного бортового программного обеспечения (ПО).

Создание такой БВС представляет собой длительный, трудоёмкий и дорогостоящий процесс. Стоимость и реализуемость предлагаемых технических решений при этом становятся определяющими факторами разработки. БВС для новых авиационных машин по срокам создаётся раньше чем собирается сама авиамашин, вследствие чего появляется определённый промежуток времени, которого достаточно для тестирования данного оборудования на имитационной модели создаваемого летательного аппарата.

При помощи имитационной модели можно смоделировать объект, сложность которого может быть очень высока. В данном случае факторами ограничения может послужить плохая квалификация специалиста, а также требования адекватности модели и достижения очень высокой точности результатов. Это напрямую связано с получением статистических выборок большого объёма, что ведет к необходимости получения большого числа реализаций модели и, следовательно, высокопроизводительных компьютеров.

На рис. 1 приведены зависимости сложности разработки модели от сложности исследуемого объекта для аналитической и имитационной модели. Различный характер зависимостей показывает, что начиная с некоторого уровня сложности объекта S_0 , имитационная модель становится предпочтительней, чем аналитическая.

При построении имитационной модели особое значение в этих условиях приобре-

тают современные технологии построения и отработки бортового ПО авиационных комплексов. На ранних стадиях проектирования системы, математическое моделирование наиболее эффективно, натурное же – на завершающих, а вот полунатурное моделирование обычно используется на промежуточных стадиях.

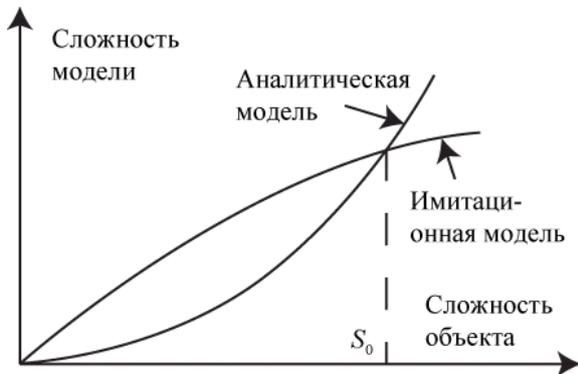


Рис. 1. Рост сложности моделей

Опыт применения технологии полунатурного моделирования для отработки программно-аппаратных решений комплексов бортового оборудования самолётов стратегической авиации составляет уже больше тридцати лет. Однако на текущий момент лишь малое число предприятий ведёт работы по созданию стендов полунатурного моделирования для отработки всего спектра специфических задач комплексов бортового оборудования модернизируемых и вновь разрабатываемых летательных аппаратов.

Главной причиной выбора полунатурного моделирования является то, что для разработанной БВС (летательного аппарата), в ряде случаев, проведение натурного моделирования затруднено или вообще невозможно. Эти ограничения могут быть связаны с вопросами безопасности, финансовыми потерями, а также доступностью измеряемых величин и процессов. Кроме того, проведение натурного моделирования может быть просто преждевременным, т. к. алгоритмы управления системой и обработки сигналов ещё не отлажены.

На первый план выходят методы полунатурного моделирования, в которых особое внимание должно быть уделено использованию моделей визуализации летательного аппарата, что позволит эффек-

тивнее провести анализ всей модели.

Весь процесс разработки создаваемой модели визуализации летательного аппарата можно разделить схематично (рис. 2) на три этапа:



Рис. 2. Этапы разработки – модели визуализации: а) Первый этап; б) Второй этап; в) Третий этап

Первый этап заключается в разработке ядра системы, в данном случае комплекса бортового оборудования (КБО) (летательного аппарата), которое будет тестироваться или же его имитационной модели.

На втором этапе выполняется подключение математической модели, т. е. программного средства позволяющего проводить вычисления полётной динамики.

На третьем этапе создаётся комплекс полунатурного оборудования, позволяющего выполнить интеграцию КБО, через математическую модель в визуальную модель. На данном этапе подключатся к работе так называемая стендово-имитационная среда, которая включает модели самолёта и его информационных систем, модели окружающего мира и т. п., что позволит провести лётные испытания для отработки тестов, для данного КБО.

Таким образом использование полунатурных методов моделирования при создании новой модели визуализации должно не только дать оценку искомым характеристикам и проводить вычисления, но и отразить динамику всего случайного процесса, т. е. описать движение летательного аппарата под действием различных сил, моментов, с учётом применения механизмов управления и действия природных сил, используя классический метод коэффициентов, что также позволит не только рассчитывать параметры движения, но и даст возможность моделировать автопилоты, положения управляющих поверхностей, шасси и т. д.

Список литературы

1. Боев В.Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П. *Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования.* — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.

2. Кубланов М.С. *Математическое моделирование задач летной эксплуатации воздушных судов на взлете и посадке: монография / М.С. Кубланов.* - Москва: РИО МГТУ ГА, 2013. - 270 с.

УДК 621.892.8

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛУБРИКАЦИИ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Покидько Б.В., к.х.н., старший научный сотрудник^{1,2};

Алисин В.В., к.т.н., заведующий лабораторией¹;

Рощин М.Н., к.т.н., ведущий научный сотрудник¹;

Симакова Г.А., профессор²

¹ Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской Академии Наук, Россия, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технологический университет» (МИРЭА), Россия, 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

@ Автор для переписки: Покидько Б.В. e-mail: pokidko2000@mail.ru

Эффективность влияния смазки на износ поверхностей трения зависит от прочности граничной пленки смазки, сформированной между поверхностями. Прочность пленки твердого смазочного материала выше, чем жидкого, поэтому в жидкую смазку вводят твердые порошкообразные наполнители, в частности, графит. Для снижения седиментации вводимые порошки должны находиться в максимальной степени дисперсности, однако получение частиц дисперсностью менее 10 мкм с использованием только лишь методов механического диспергирования проблематично. В данной работе представляется новый смазочный материал с наполнителем из порошков модифицированных самодиспергирующихся алюмосиликатов.

Ключевые слова: слоистые алюмосиликаты, смазочные композиции, самопроизвольное диспергирование, волновая гомогенизация

ADVANCE MATERIALS FOR HEAVILY LOADED FRICTION UNITS LUBRICATION

Pokidko B.V.;

Alisin V.V.;

Roshcin M.N.;

Simakova G.A.

1. Blagonravov Institute of Machine Building, Russian Academy of Sciences, per. Malyy Khariton'evskii 4, Moscow, 101990 Russia

2. Moscow Technological University (MIREA), Vernadsky Avenue 78, Moscow 119454 Russia

@ Corresponding author e-mail: e-mail: pokidko2000@mail.ru

An efficiency of the influence of greases on to the surfaces wear depends on the strength of lubricant film between contacting surfaces. The strength of boarder film increase than the rheological state of lubricant material shift from the liquid to solid state. For this reason very often the solid powders are introduced into the lubricant material, particularly graphite powders. To prevent the sedimentation process in such a systems it is necessary to rich the maximum degree of dispersion of the solid particles. It is difficult and unreal in some cases to obtain the particles with dimensions less than 10 mkm if one use only the mechanical methods of dispersion. In the present work the advanced lubricant material is presented composed with self-dispersed modified nanosilicate powders.

Key words: layered aluminosilicates, lubricant compositions, spontaneous dispersion, wave homogenization

Основным источником самодиспергирующегося алюмосиликатного порошкообразного наполнителя являются природные бентонитовые глины, основным поро-

дообразующим минералом в которых является минерал класса слоистых алюмосиликатов - монтмориллонит. Отличие монтмориллонита от применяемых в маслах в качестве порошкового наполнителя природных слоистых серпентинитов состоит в наличии высокого перманентного заряда, способности к ионному обмену, модифицированию, активации и возможности полного расслоения агрегатов до первичных частиц нанометровой толщины по механизму самопроизвольного диспергирования. Разработана технология физико-химического дробления агрегатов в твердых порошках слоистых алюмосиликатов на наноразмерные частицы с получением устойчивых дисперсий с равномерным распределением частиц по объему с использованием волновой гомогенизации смеси. Предлагается на основе выполненных исследований создать промышленную технологию эффективной рельсовой смазки на основе минерального масла и алюмосиликатных слоистых наночастиц, модифицированных катионными органическими веществами (катионными ПАВ). Наиболее экономичным подходом к созданию подобного смазочного материала является метод *in situ* (рис. 1) модификации гидрофильных глинистых частиц непосредственно в процессе механического

(волнового, ультразвукового) смешения минеральной и масляной фазы при температуре 80-100°C.

Процесс модификации основан на способности алюмосиликатных наночастиц к ионному обмену в следствие наличия перманентного отрицательного заряда на их базальной поверхности. В ходе реакции ионного обмена должны реализовываться одновременно несколько физико-химических процессов: - растворение катионного модификатора в масляной фазе с образованием однородного коллоидного (мицеллярного) раствора; - грубое распределение агрегатов минеральных частиц в органической фазе с образованием микрогетерогенной системы; - диффузия органических катионов к поверхности силикатных частиц в процессе механического смешения компонентов при повышенной температуре; - проведение реакции ионного обмена удаление с поверхности неорганических ионов и химическая адсорбция органических катионов; - расщепление (диспергирование) слоистых частиц в агрегатах с последующим реструктурированием и образованием стабилизированных наноразмерных коллоидных дисперсий (гелей).



Рис. 1. Схема приготовления катионной смазки путем *in situ* модификации в процессе механического диспергирования

Проведенные исследования [1,2] показали, что существует возможность регулирования вторичной структуры образующихся органогелей для создания структур с оптимальными структурно-механическими (реологическими), динамо-механическими (релаксационными) и трибологическими свойствами. Для достижения указанной цели необходимо с учетом возможностей существующему промышленного оборудования исследовать и подтвердить ряд ранее полученные результаты, кратко перечисленные ниже:

- 1) влияние типа модификатора и его содержания в системе;
- 2) установление концентрационной зависимости основных трибологических и структурно-механических характеристик конечной смазки;
- 3) влияние интенсивности и природы механического воздействия при смешении на структуру и свойства конечных смазочных материалов;
- 4) конечная оптимизация состава смазки с соблюдением требования к оптимальному соотношению цена/качество;
- 5) проведение расширенных испытаний катионной смазки с оптимизированным составом;
- 6) разработка технологического регламента получения катионной смазки.

Конечным результатом проекта является смазка, представляющая углеводородное масло с добавками агрегатов твердых наночастиц, подвергнутых физико-химической модификации поверхностно-активными веществами (ПАВ) и образующих в маслах седиментационно устойчивые наноразмерные дисперсии, способные к образованию обратимых тиксотропных структур, обеспечивающих высокую долговечность смазки, снижение коэффициента трения и повышение износостойкости смазываемых поверхностей трения. Это позволяет получать устойчивые обратимые наноструктурированные дисперсии в масляной фазе, проявляющие наноразмерные эффекты. Седиментационная устойчивость смазки как дисперсной системы определяется, главным образом, размерами индивиду-

альных наночастиц, которые по данным рентгено-структурного анализа, электронной микроскопии и динамического светорассеяния имеют пластинчатое строение, причем толщина единичных пластинок составляет величину порядка 3-4 нм, а длина и ширина пластинок равна 100-500 нм. Более эффективная смазочная способность композиций, содержащих указанную присадку, проявляется благодаря тому, что в ее состав входят пластинчатые отрицательно заряженные минеральные наночастицы, способные образовывать адсорбционные ламеллярные слои катионных поверхностно-активных веществ на поверхности наночастиц, а также ламеллярные и мицеллярные структуры в объеме масляной фазы. Пластинчатое строение и нанометровая толщина используемых наночастиц, а также возможность гидрофобизации их поверхности путем реакций ионного обмена обеспечивают наличие развитой межфазной поверхности, достигающей 600-700 м²/г и способствует образованию разветвленных фрактальных структур, которые придают смазке тиксотропные свойства. Высокая степень гомогенизации дисперсий достигается с использованием метода резонансной технологии. Использование резонансных режимов движения двухфазной системы имеет ряд преимуществ перед традиционной вибротехникой и ультразвуковой технологией, среди которых важнейшими являются уменьшение энергозатрат, ускорение протекания технологических процессов и повышение эффективности гомогенизации. Экспериментально определены рабочие частоты (160-180 Гц) приводящие к резонансу и смешиванию двухфазной среды (присадки) на используемом лабораторном волновом гомогенизаторе, что не приводит к ухудшению смазочной способности синтезируемой присадки.

Проведенные реологические эксперименты показали, что при высоких скоростях сдвига напряжения сдвига стабилизируются и рост напряжений прекращается [5]. Это обстоятельство позволяет предположить, что разработанные смазки

особенно перспективны для применения в высокоскоростном железнодорожном транспорте.

Выводы

Разработаны физико-химические основы создания смазочных материалов нового типа и получены экспериментальные образцы катионных смазок с повышенными эксплуатационными свойствами. Технология синтеза смазки не требует больших капитальных затрат, но нуждается в доработке и привязке технологических операций к существующему промышленному оборудованию и в пер-

спективе патентной защите.

Список литературы

1. Алисин В.В., Покидько Б.В., Роцин М.Н., Силова Т.В., Симакова Г.А. Исследование коллоидных смазочных материалов с твердыми наночастицами алюмосиликатов для снижения износа стальных пар трения / *Трение и износ. №6, т.34, 2013 г. - с. 603-609.*
Алисин В.В., Покидько Б.В., Симакова Г.А. / Смазка для лубрикации зоны контакта колес и рельсов. Патент РФ № 2503712 МКИ С10М 113/16 - 2013

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»»

Руководитель секции: Зуев В.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры аппаратного, программного и математического обеспечения вычислительных систем
 Физико-технологического института МИРЭА

УДК: 621.391

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ И РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ СОВМЕСТНО С РАДИОСЕТЬЮ

Багдасарян С.А.¹ к.т.н.; **Багдасарян А.С.^{2,3}** д.т.н., профессор;
Кащенко Г.А.⁴ к.т.н., доцент;
Кащенко А.Г.¹, к.т.н.

¹ ООО «НПП «Технологии радиочастотной идентификации и связи»

² ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,

³ ФГУП НИИ «Радио», все Москва,

⁴ ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж

© Автор для переписки: Багдасарян А.С.
 e-mail: bas@niir..ru

Аннотация. При решении многих задач, связанных с построением интеллектуальной системы комплексной безопасности (ИСКБ), в частности задач мониторинга безопасности критически важных объектов (КВО), мониторинга территории с целью сбора разведывательной и иной информации, эффективность и

оперативность сбора данных можно значительно повысить за счет использования дистанционной системы радиочастотной идентификации (РЧИ), функционирующей совместно с радиосетью (РС). Важным достоинством технологии РЧИ является возможность бесконтактного ввода информации, что позволяет существенно сократить время ввода по сравнению с традиционными методами, исключить возможность ошибок. Оперативный ввод информации является важным звеном для обеспечения безопасности КВО, а пунктов управления войсками разведывательной и иной информацией. Для обеспечения безопасности КВО нами впервые в рамках настоящего проекта разработаны математические модели рационального выбора варианта беспроводной радиосети (РС), в том числе аэромобильной, построенной на основе беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и функционирующей совместно с системой радиочастотной идентификации (РЧИ) с радиочастотными метками (РЧМ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Ключевые слова: сенсорная сеть, радиочастотная идентификация, поверхностные акустические волны, маршрутизация.

FUNDAMENTAL BASES OF CONSTRUCTION INTELLECTUAL SYSTEM OF COMPLEX SAFETY CRUCIAL OBJECTS WITH USE OF TECHNOLOGIES OF RISK MANAGEMENT AND RFID, FUNCTIONING TOGETHER WITH A RADIO NETWORK

Bagdasaryan A.C.;
Bagdasaryan S.A.;
Kashchenko A.G.;
Kashchenko G.A.

@avtor for correspondence: Bagdasaryan A. S.
 e-mail: bas@niir.ru

Summary: For increase in safety of the geographically distributed crucial objects (CO) it is offered to use system of

radio frequency identification (RFID) with tags on the surface acoustic waves (SAW) together with a sensor network (CN). Mathematical models of routing in CN taking into account set of figures of merit are considered. It is shown that for increase in requirements to resistance to failures of CN in the conditions of influence destabilizing factors it is expedient to use multicriteria multipath routing.

Keywords: sensor network, radio frequency identification, surface acoustic waves, routing.

Введение. По означенной выше проблеме* впервые были проведены следующие фундаментальные исследования [1-10]:

А) Обоснование совокупности количественных, качественных и интервальных критериев для оценки эффективности систем РЧИ на ПАВ, функционирующих в составе ИСКБ с учетом особенностей КВО и разработка методики формирования допустимого множества альтернативных вариантов этих систем.

Б) Многокритериальный анализ влияния отдельных компонентов РЧИ на эффективность этих систем. Многокритериальный структурно-параметрический синтез системы РЧИ на ПАВ.

В) Разработка методики эволюционного синтеза наилучшего варианта системы РЧИ на ПАВ, функционирующей в составе ИСКБ.

Г) Разработка алгоритмов для построения программно-аппаратной архитектуры системы РЧИ, функционирующей в составе ИСКБ с учетом возможности ее совместности с КВО.

Содержание выполненных работ: Реализация методологии развития и совершенствования фундаментальных основ эволюционного проектирования ИСКБ КВО с применением технологий управления рисками и РЧИ с РЧМ на ПАВ [1]. Для обеспечения безопасности критически важных объектов (КВО) впервые разработаны математические модели рационального выбора варианта беспроводной радиосети (РС), в том числе аэромобильной, построенной, например, на основе беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [2,3], и функционирующей совместно с системой радиочастотной идентификации (РЧИ) с радиочастотными метками (РЧМ)

на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Получены следующие основные важнейшие результаты:

1. Обоснована совокупность количественных, качественных и интервальных критериев для оценки эффективности систем РЧИ на ПАВ, функционирующих в составе ИСКБ с учетом особенностей КВО и методики формирования допустимого множества альтернативных вариантов этих систем [1,4-10], в том числе на основе следующих моделей [1,5,6] :

- Модель радиосети и системы радиочастотной идентификации,

- Математические модели выбора рациональных вариантов радиосети и системы радиочастотной идентификации,

- Математическая модель выбора единственного варианта из множества Парето-оптимальных в условиях определенности,

- Математическая модель выбора единственного варианта из множества Парето-оптимальных в условиях неопределенности);

2. Сформированы допустимые альтернативные варианты системы РЧИ в условиях определенности. Для обеспечения безопасности критически важных объектов (КВО) разработаны математические модели рационального выбора варианта беспроводной радиосети (РС) [2,3,7-10];

3. Сформированы допустимые альтернативные варианты системы РЧИ в условиях неопределенности;

4. Проведены многокритериальный анализ влияния отдельных компонентов системы РЧИ на ее эффективность функционирования и Многокритериальный структурно-параметрический синтез системы РЧИ на ПАВ;

5. Разработана методика эволюционного синтеза наилучшего варианта системы РЧИ на ПАВ, функционирующей в составе ИСКБ;

6. Проведена модернизация системы РЧИ на основе эволюционного подхода [4]. Рассмотрен эволюционный подход к проектированию систем РЧИ с РЧМ на ПАВ, функционирующих в составе ИСКБ КВО и существенно повышающих их эффективность за счет модернизации их ком-

понент на каждом этапе эволюции системы. Суть подхода заключается в поэтапном развитии системы из некоторого исходного состояния в конечное, при котором система гарантирует, в случае реализации угроз НСД, что величины риска (ущерба) и затрат будут приемлемыми и не приведут к катастрофическим последствиям. Метод обоснования требований (показателей качества) к системе РЧИ с РЧМ на ПАВ, функционирующей в составе ИСКБ КВО, основанный на использовании критериев риска НСД и затрат на построение системы, позволяющий найти наилучший вариант системы при приемлемых риске (ущербе) и затратах;

7. Проведен многокритериальный анализ влияния модернизации системы РЧИ на эффективность ИСКБ КВО [1]. Рассмотрена модель выбора наилучшего варианта систем РЧИ с РЧМ на ПАВ, функционирующих в составе ИСКБ критически важных объектов. Суть модели заключается в следующем: решение рассмотренной двухкритериальной задачи осуществляется в два этапа. На первом находится множество Парето – оптимальных решений. На втором этапе путем решения задачи однокритериальной (скалярной) оптимизации определяется единственный оптимальный по доминирующему критерию вариант выбора системы РЧИ с РЧМ на ПАВ;

8. Рассмотрена модель оценки угроз и уязвимостей критически важных объектов систем радиочастотной идентификации (РЧИ) с радиочастотными метками (РЧМ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ), функционирующих в составе интеллектуальных систем комплексной безопасности (ИСКБ) критически важных объектов (КВО). Модель разработана с использованием модифицированного метода анализа иерархий (ММАИ). Модель позволяет учитывать субъективные предпочтения лица, принимающего решение, (ЛПР) в задачах оценки опасности угроз и уязвимостей системы защиты КВО с учетом модели нарушителя прав доступа к системе [5]. Модель угроз предназначена для выявления актуальных угроз НСД к КВО, а также для формирования на ее основе требований к средствам защиты рас-

сматриваемого КВО от этих угроз. Эффективность применяемых для защиты КВО от угроз НСД систем РЧИ должна соответствовать относительной опасности рассматриваемых угроз. Для нейтрализации угроз НСД к КВО целесообразно использовать системы РЧИ различных технологий. Предложены шкалы для оценки степени относительной опасностей угроз НСД и степени уязвимости КВО от угроз НСД. Предложена методика оценки относительной опасности угроз НСД к КВО. Методика основана на использовании модифицированного метода анализа иерархий (ММАИ). Приведен условный пример ранжирования угроз безопасности и уязвимости КВО с учетом наличия в СКУД к этим объектам систем РЧИ различных технологий.

9. Представлена система навигации и идентификации объектов (СНИО) и ее структурная реализация на основе применения технологии RFID с использованием радиочастотных меток (РЧМ) на ПАВ в полной мере отвечает требованиям для систем опознавания беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [10];

10. Дано описание технологии дозаправки беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Проведен анализ радиоэлектронной системы обеспечения автоматического маневрирования БЛА. Рассматриваются вопросы организации дозаправки БЛА самолетом-танкером и мониторинга безопасности во время дозаправки на основе применения технологии радиочастотной идентификации [2].

11. Исследованы возможные функциональные схемы считывающих устройств РЧМ на ПАВ (ридеров) на основе различных принципов.

12. Различные компоненты в системе РЧИ с радиочастотными метками (РЧМ) на ПАВ не одинаково влияют на эффективность ИСКБ КВО в целом. В этой связи продолжены фундаментальные исследования особенности проектирования РЧМ на ПАВ, и на их основе проведена разработка новых конструктивных и топологических решений РЧМ на ПАВ с повышенной помехозащищенностью с предельными характеристиками в расширенных частотных

диапазонах [11-20]

Степень новизны полученных результатов. Все вышеприведенные результаты работы получены впервые, в том числе:

- Разработаны и исследованы конструкции однонаправленных ВШП приемопередающего тракта метки и отражающих структур, формирующих кодовые последовательности меток [11-16];

- Предложены и проведены исследования ПАВ меток с временным и частотным разделением;

- Найдены патенточистые конструктивно-технологические решения активных и полуактивных меток [11,12], в том числе с высокой мощностью опрашивающего сигнала [17] и топологий интегральных микросхем [13-16], выполненных на пьезоэлектрических звукопроводах [18] с использованием базовых ПАВ технологий [19,20] и их монтажа в керамике LTCC [21].

Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем.

В известных отечественных публикациях выбор варианта системы защиты КВО от угроз НСД осуществляется на основе решения однокритериальной задачи оптимизации по критерию вероятность защищенности объекта при ограничениях на затраты. Этот критерий не учитывает вероятность реализации угрозы НСД, вероятность уязвимости системы защиты от этих угроз и масштаб возможных потерь, что существенно снижает целесообразность его применения. Кроме того, при решении задачи однокритериальной оптимизации возможно получить далеко не оптимальное решение, которое можно улучшить одновременно по двум критериям, что свидетельствует о неконкурентоспособности такого решения и следовательно о неэффективности варианта системы защиты.

В известных зарубежных публикациях сообщается о широком применении теории рисков для построения систем защиты КВО, в частности атомных электростанций, от широкого спектра угроз. Анализ существующих публикаций свидетельствует, что наиболее мощной и развитой

системой обеспечения безопасности КВО обладает США, вследствие чего она может рассматриваться в качестве образца при построении отечественных систем обеспечения безопасности аналогичных объектов. Однако конкретных сведений о методологии построения систем защиты не приводятся.

Вместе с тем, в области проектирования систем РЧИ с РЧМ на ПАВ у РФ и США наблюдается приблизительный паритет, который обусловлен высоким уровнем развития теории и практики разработки ПАВ-компонентов в РФ. Это подтверждается также большим числом зарегистрированных патентов, посвященных изобретению ПАВ-компонентов для систем РЧИ. В этой связи, а также на основе полученных основных результатов проекта, следует считать, что уровень полученных результатов проекта сопоставим с мировым уровнем. Последнее подтверждается патентами и свидетельствами Федеральной службы интеллектуальной собственности и возможностью патентования за рубежом.

Более того, результаты анализа зарубежных источников, приведенные выше исследования и полученные результаты в части разработки математических моделей выбора рациональных вариантов радиосети и системы РЧИ для обеспечения безопасности КВО в составе ИСКБ определяют мировой уровень по всем направлениям решения рассматриваемой проблемы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 15-07-01528 А.

Авторы благодарны академику Ю.В. Гуляеву, член-корреспонденту РАН С.А. Никитову, профессорам В.И. Николаеву, М.И. Самойловичу и д.т.н. В.В. Бутенко за внимание к работе и обсуждение результатов, Г.Я. Карапетьяну, С.О. Николаевой, Т.А. Багдасарян за помощь в изготовлении лабораторных макетов и образцов.

Список литературы

1. А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян, В.В. Бутенко, А.Г. Кащенко, Г.А. Кащенко Проектирование RFID интеллектуальных систем безопасности критически важных объектов с метками на поверхностных акустических вол-

нах: модель выбора наилучшего варианта системы на основе многокритериального подхода Сборник научных трудов XXI Международной научно-технической конференции «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ», XXVIII Международного симпозиума «ТОНКИЕ ПЛЕНКИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ», XXVIII Международной научно-технической конференции «НАНОИНЖЕНЕРИЯ», ISBN 978-5-7038-4552-3 2016, с. 71-75

2. Ананьев А.В., Багдасарян А.С., Бутенко В.В., Каценко К.А., Сафонов А.В. Радиотехническая система обеспечения высокой продолжительности полета и автоматического маневрирования беспилотных летательных аппаратов с использованием технологии радиочастотной идентификации. Труды НИИР. – 2016. № 2 С. 2-12.

3. Ананьев А.В., Каценко Г.А. Формирование и выбор оптимального варианта бортовой системы связи. Мат. докл. XIII Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского» [Текст] / Сборник докладов. – М.: Издательский дом Академии имени Н.Е. Жуковского. 2016. С. 345-352.

4. А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян, В.В. Бутенко, А.Г. Каценко, Г.А. Каценко К МЕТОДОЛОГИИ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ РЧИ С РЧМ НА ПАВ В СОСТАВЕ ИСКБ КВО Сборник научных трудов XXI Международной научно-технической конференции «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ», XXVIII Международного симпозиума «ТОНКИЕ ПЛЕНКИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ», XXVIII Международной научно-технической конференции «НАНОИНЖЕНЕРИЯ», ISBN 978-5-7038-4552-3, 2016, с 65-70

5. А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян, В.В. Бутенко, А.Г. Каценко, Г.А. Каценко ПРОЕКТИРОВАНИЕ RFID ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С МЕТКАМИ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ: МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УГРОЗ И УЯЗВИМОСТЕЙ Сборник научных трудов XXI Международной научно-технической конференции «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ», XXVIII Международного симпозиума «ТОНКИЕ ПЛЕНКИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ», XXVIII Международной научно-технической конференции «НАНОИНЖЕНЕРИЯ», ISBN 978-5-7038-4552-3, 2016, с. 76-81

6. В.В. Бутенко, С.А. Багдасарян, А.Г. Ка-

ценко Модели нарушителя прав доступа и угроз безопасности к критически важным объектам Труды научно-исследовательского института радио (Труды НИИР), ISSN 0134-5583, 2016, №3, с. 2-9.

7. Ананьев А.В., Багдасарян А.С., Каценко Г.А. Подсистема опознавания «свой-чуждой» на основе технологии RFID в составе воздушного эшелона объединенной автоматизированной цифровой системы связи вооруженных сил РФ. Сб. ст. по мат. докл. V Всерос. НТК «Научные чтения им. Попова». – Воронеж. – ВУНЦ ВВС «ВВА». – 2016 г. С. 29-33.

8. Ананьев А.В., Змий Б.Ф., Каценко Г.А. Оценка риска влияния физических и информационных разрушающих воздействий на аэромобильную сеть связи. Мат. докл. I Всероссийской научно-практической конференции «Авионика. Актуальные вопросы состояния, эксплуатации, и развития комплексов бортового РЭО воздушных судов, проблемы подготовки специалистов». – Воронеж. – ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016 г. С. 22-26.

9. Ананьев А.В., Ерзин И.Х., Филатов С.В., Каценко Г.А. Применение сетей связи на основе БЛА в составе ОАЦСС ВС РФ. Сб. ст. по мат. докл. V Всерос. НТК «Научные чтения им. Попова». – Воронеж. – ВУНЦ ВВС «ВВА». – 2016 г. С. 22-28.

10. Ананьев А.В., Змий Б.Ф., Каценко Г.А. Модернизация бортовых приемо-передающих систем беспилотных летательных аппаратов на основе эволюционного подхода. Радиотехника. – 2016. № 8. С. 46-49.

11. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В., Николаев В.И., Николаева С.О. РАДИОМЕТКА ДЛЯ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН Патент на изобретение RU 2 579 522

12. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В., Карапетьян Г.Я. ПАССИВНЫЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ Патент на изобретение RU 2 585 487

13. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В., Карапетьян Г.Я., Николаева С.О. ТИМС 2016630040 Кристалл 16 битной радиочастотной метки с отражателями в виде полосок для измерения физических величин Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы № 2016630040

14. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В., Карапетьян Г.Я., Николаева С.О. ТИМС 2016630041 Кристалл 20 битной радиочастотной метки с отражателями в виде

полосок для измерения физических величин
Свидетельство о государственной регистра-
ции топологии интегральной микросхемы №
2016630041

15. А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян,
В.В. Бутенко, С.О. Николаева Заявка №
2016630090/69 на государственную регистра-
цию ТИМС Кристалл 20-битного акустоэлек-
тронного датчика-метки на поверхностных
акустических волнах

16. А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян,
В.В. Бутенко, С.О. Николаева Заявка №
2016630091/69 на государственную регистра-
цию ТИМС Кристалл 16-битного акустоэлек-
тронного датчика-метки на поверхностных
акустических волнах

17. Nikitov S.A., Bagdasaryan A.S., Kondrat'ev
S.N., Sinitsyna T.V., Mashinin O.V., Gruzdev
A.S. SURFACE-ACOUSTIC-WAVE FILTERS
WITH A HIGH INPUT POWER FOR A NOMI-
NAL FREQUENCY OF 2170 MHZ FOR COM-
MUNICATION SYSTEMS AND RADAR AND
TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT *Journal of Communications Technology and Electron-
ics*. 2016. Т. 61. № 4. С. 443-448.

18. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В., Дорофее-
ва С.О. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПЬЕЗОКРИ-
СТАЛЛЫ ДЛЯ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ УСТ-

РОЙСТВ НА ПАВ Сборник трудов. Всероссий-
ская научно-техническая конференция «ОП-
ТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И
СИСТЕМЫ» («ОПТОТЕХ-2016»), г. Москва
17.11.2016, с.112-115

19. Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С. ПАССИВ-
НАЯ АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА: СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В сборнике:
Оптические технологии, материалы и систе-
мы сборник научных трудов Всероссийской
научно-технической конференции. Московский
технологический университет, Физико-
технологический институт. Москва, 2016. С.
6-11.

20. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В., Гарифу-
лина А.Т. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В АКУСТОЭЛЕКТРОНИКЕ В сборнике: Оп-
тические технологии, материалы и системы
сборник научных трудов Всероссийской науч-
но-технической конференции. Московский
технологический университет, Физико-
технологический институт. Москва, 2016. С.
108-111.

21. Бутенко В.В., Багдасарян А.С., Багдаса-
рян С.А., Карапетьян Г.Я., Николаева С.О.
Акустоэлектронные идентификационные
метки в керамике LTCC Труды НИИ Радио.
2013. № 1. С. 16-23.

УДК 621.37

РАЗМЕЩЕНИЕ ПАВ- РАДИОМЕТОК НА ОБЪЕКТАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Николаева С.О.¹, аспирант;

Багдасарян А.С.^{2,3}, д.т.н., профессор,
научный консультант

¹Воронежский Технический Университет, Во-
ронеж;

²ФГУП «Научно-исследовательский инсти-
тут радио», Москва;

³Физико-технологический институт Москов-
ского технологического университета, Москва

© Автор для переписки: Багдасарян А.С. e-mail:
bas@niir.ru

Габариты и конструктивный облик радиометок в ос-
новном определяется антенным устройством (АУ), ко-
торое значительно превосходит собственные размеры
кристалла метки. С целью обеспечения эксплуатацион-
ной надежности предложено выполнить радиометку
совместно с антенно-фидерным устройством в микро-
модульном монолитном исполнении. Описаны четыре
варианта такого монолитного исполнения.

Ключевые слова: ПАВ-радиометка, радиочастотная
идентификация, антенное устройство.

PLACEMENT OF SAW-TAGS ON IDENTIFICATION OBJECTS

Nikolaeva S.O.¹;
Bagdasaryan A.S.^{2,3}

¹Voronezh Technical University, Voronezh

²Federal state unitary enterprise «Research
Instiitut Radio», Moscow;

³Moscow technological university. Physico-

technological institute, Moscow

® Corresponding author e-mail: bas@niir.ru

Overall dimensions and a constructive appearance of radio tags generally is defined by the antenna arrangement (AA) which considerably exceeds own die sizes of a tag. For the purpose of ensuring operational reliability it is offered to execute a radio tag together with the antenna-feeder device in micromodular monolithic execution. Four options of constructive shape and the topological scheme of such monolithic execution are presented.

Keywords: SAW-Tag, radio-frequency identification (RFID), antenna

Радиометка на поверхностных акустических волнах (ПАВ) является основным ключевым элементом системы радиочастотной идентификации (РЧИ) и определяет большинство ее технико-экономических характеристик. При этом массовость применения радиометок предопределяет необходимость их низкой стоимости, что возможно только в условиях крупносерийного производства и высокого уровня технологичности.

Основными компонентами ПАВ-радиометки являются: кристалл ниобата лития с отражающими структурами, корпус на основе керамики LTCC, антенные устройства. Маршрут их изготовления представлен в работе [1] и заключается в проведении следующих основных технологических процессов:

1. Изготовление фотошаблона
 - подготовка топологии на информационном носителе;
 - изготовление группового фотошаблона по карте сборки.
2. Перенос изображения с фотошаблона на поверхность пьезопластины
 - проведение фотолитографии;
 - напыление металла на пьезопластину;
 - резка пьезопластины на отдельные кристаллы.
3. Сборка корпуса и радиометки в целом
 - монтаж кристалла метки в корпусе;
 - герметизация корпуса;
 - измерение характеристик меток;
 - изготовление антенны;
 - монтаж метки с антенной.

В работах [2-4] показано, что определяющим фактором для реализации радиометки является выбор типа отражающих

структур, сформированных на подложке акустоэлектронной метки. Было проведено сравнение эксплуатационных характеристики отражателей на основе отдельных электродов, канавок и ВШП. На основании анализа полученных результатов, в т.ч. технологичности их изготовления [1], в качестве базовой конструкции отражателей были выбраны отражающие ВШП.

Отражатели в структурах радиометок выполнялись с малым коэффициентом отражения (не более 0,1-0,15). В этом случае переотраженные от соседних отражателей ПАВ будут по амплитуде почти на порядок меньше, чем отраженные ПАВ, падающие на отражатели от приемопередающего однонаправленного ВШП. Поэтому отражатели, выполненные в виде ВШП, должны содержать малое число электродов, чтобы коэффициент отражения от них не превышал вышеуказанной величины. Кроме того, необходимо учитывать то, что ПАВ, падающие на следующий отражатель, будут по амплитуде несколько меньше, чем ПАВ, падающие на предыдущий отражатель, так как при каждом отражении часть энергии ПАВ уходит в отраженный сигнал и амплитуда ПАВ по мере распространения в системе отражателей убывает. Это приводит к тому, что по мере удаления от приемопередающего ВШП импульсы в отраженной последовательности имеют разную амплитуду. Чтобы этого не происходило, коэффициент отражения последовательно уменьшается по определенному закону.

Это достигается тем, что отражательные ВШП выполнены из двух одинаковых частей, сдвинутых относительно друг друга на расстояние, которое зависит от номера отражателя, отсчитываемого от приемопередающего ВШП.

В этом случае ПАВ, отраженные от каждой половинки отражателя приходят на приемопередающий ВШП со сдвигом фаз, определяемым расстоянием между одинаковыми частями отражателя.

Для обеспечения технических требований, предъявляемых к ПАВ-радиометкам в части стойкости к внешним воздействиям и снижения массогабаритных показателей, а также с целью создания базовых конст-

рукций микроминиатюрных модулей меток на ПАВ различной разрядности, применялась низкотемпературная обжигаемая керамика LTCC [5]. Применение керамики LTCC для монтажа кристаллов акустоэлектронных меток обеспечило высокие электрические характеристики за счет снижения вносимого затухания, высокую надежность и степень миниатюризации. Снижение вносимого затухания достигалось путем внесения в объем корпуса LTCC согласующей индуктивности по методу планарного монтажа. Каждый корпус состоит из шести обожжённых слоев толщиной 0.216 мм с заложенными в них переходными отверстиями. Линейные размеры определяются разрядностью проектируемой метки. На рис.1 приведена конструкция 32-битной метки в корпусе LTCC.

Отражательные ВШП метки выполнены с убывающим коэффициентом отражения для компенсации затухания ПАВ в системе отражателей. При этом неравномерность отраженных импульсов не превышает 3 дБ. На данную топологию получено «Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы» [6, 7].

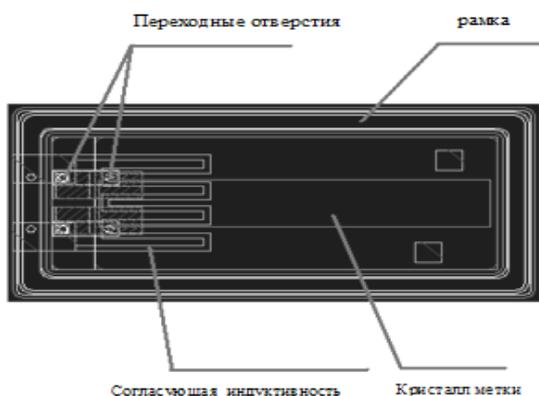


Рис. 1. Конструкция корпуса LTCC для 32-битной акустоэлектронной метки



Рис.2. Топология KM-32

В качестве примера на рис.2 приведена топология интегральной схемы 32-битной акустоэлектронной метки, а на рис.3 пока-

заны ее импульсные отклики, измеренные на ИКПП «Обзор - 103».

На завершающем этапе сборки радиометки осуществлялся монтаж корпусированной в керамике LTCC метки с антенным устройством.

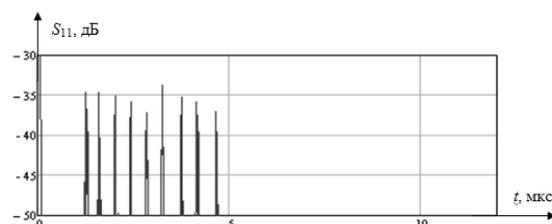


Рис.3. Последовательность отраженных импульсов 32-битной акустоэлектронной метки

В работе [8] нами был проведен анализ существующего парка антенных устройств (АУ) для мобильной телефонии, беспроводного доступа, GPS и др. В качестве базовых конструкций для применения в составе радиометок были выбраны два типа АУ:

- слабонаправленная микрополосковая антенна с U-щелью, предназначенная преимущественно для целей радиодоступа;
- ненаправленная кольцевая антенна, представляющая собой $\lambda/4$ кольцевой проводник, выполненный печатным способом на двухстороннем фольгированном диэлектрике.

На рис. 4–6 представлены варианты размещения ПАВ-радиометок с антеннами в зависимости от условий эксплуатации.

В заключение следует отметить, что в ряде случаев практической реализации системы РЧИ, таких как идентификация комплектующих элементов при сборке, эксплуатации и ремонте изделий [9-11], логистика и контроль лекарственных препаратов и продуктов питания, отсутствует необходимость совместного конструктивного исполнения метки и антенны. В качестве примера на рис.7 представлен конструктивный облик радиометки в системе РЧИ, предназначенной для идентификации в торговой сети поддельной алкогольной продукции.

В этом случае метка и антенна автономно монтируются в специальной пластмас-

совой пробке, разрушающейся в процессе ее вскрытия. Используется 8-битная метка с закодированной информацией о производителе и с датой выпуска продукции.



Рис.4. Радиометка со слаботокнаправленной U-образной антенной, закрепленные в подвесной системе альпинистской каски



Рис.5. Радиометка со слаботокнаправленной U-образной антенной, закрепленные на армейской каске



Рис.6. Радиометка с направленной антенной, установленные на приклад



Рис.7. Радиометки в системе РЧИ для идентификации алкогольной продукции

Выводы. Габариты и конструктивное исполнение радиометок в основном определяется типом антенного устройства, которое значительно превосходит собственные размеры метки. При этом АУ должно оставаться работоспособным при его размещении на любых материалах, в т.ч. на металле и диэлектрике. С целью обеспечения эксплуатационной надежности предложено радиометку совместно с антенно-фидерным устройством выполнить в микромодульном монолитном исполнении.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-07-00464 А и № 15-07-01528 А).

Список литературы:

1. Бутенко В.В. Акустоэлектронные идентификационные метки в керамике LTCC / Бутенко В.В., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Николаева С.О. // Труды НИИ Радио. 2013. № 1. С. 16–23.
2. Bagdasarian A.S. To issue on development of piezoelectric devices on surface acoustic waves / Bagdasarian A.S., Bagdasaryan S.A., Dneprovski V.G., Karapetyan G.Y. // В книге: Piezoelectrics and Related Materials: Investigations and Applications, New York. 2012. С. 189- 238.
3. Багдасарян А. Радиочастотные метки на ПАВ Особенности конструкции и технологии / Багдасарян А., Багдасарян С., Бутенко В., Карапетьян Г. // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2012. № 7 (121). С.076-082.
4. Чигиринский С. Особенности и преимущества производства многослойных структур на основе керамики (LTCC, HTCC, MLCC) / Чигиринский С. // Компоненты и технологии. 2009. № 11. С. 130–131.
5. Багдасарян С. ПАВ-датчики дистанционного контроля физических величин / Багдасарян С., Днепроvский В., Карапетьян Г., Нефедова Н., Сеницына Т. // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2008. № 1. С. 46-51.
6. Николаев В.И. Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы «Кристалл 20-битной акустоэлектронной метки» / Николаев В.И., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Николаева С.О., Багдасарян А.С. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности № 2014630137 от 30 октября 2014 г.
7. Николаев В.И. Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы «Кристалл 52-битной акустоэлектронной метки» / Николаев В.И., Ба-

гдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Николаева С.О., Багдасарян А.С. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности № 2014630143.

8. Нечаев Ю.Б. Антенны для UHF RFID меток / Нечаев Ю.Б., Багдасарян А.С., Бутенко В.В., Борисов Д.Н., Винокурова Н.Н., Николаева С.О. // Труды НИИР. 2015. № 2. С. 9-19.

9. Николаева С.О. Радиочастотная идентификация на ПАВ комплектующих элементов при сборке, эксплуатации и ремонте изделий // ВИА 13.10.16.

10. Гуляев Ю.В. Радиочастотная идентификация с использованием технологии ПАВ / Гуляев Ю.В., Багдасарян С.А. // Наука и технологии в промышленности. 2005. № 1. С.54.

11. Багдасарян А. Малогабаритные радиочастотные идентификационные метки на ПАВ. Расширение функциональных возможностей / Багдасарян А., Багдасарян С., Днепровский В., Карапетьян Г., Николаева С. // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2014. № 3 (134). С. 70-76.

УДК 621.372.54

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАВ ФИЛЬТРОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ ВХОДНОГО СИГНАЛА

Синицына Т.В.¹, к.т.н., главный конструктор;

Гарифулина А.Т.¹, главный контролер, аспирант²;

Груздев А.С.¹, инженер, аспирант²

Багдасарян А.С.², д.т.н., профессор, научный консультант¹

¹ООО «БУТИС», Москва

²Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва

© Автор для переписки: Гарифулина А.Т. e-mail: alis@ro.ru

В статье приведены результаты испытаний базовых конструкций ПАВ-фильтров импедансного типа, предназначенных для систем специальной связи, радиолокационной и телекоммуникационной аппаратуры, в условиях воздействия радиочастотных сигналов большой мощности.

Ключевые слова: поверхностная акустическая волна (ПАВ), импедансные ПАВ-фильтры, мощность радиосигнала.

INVESTIGATION OF OPERATING CHARACTERISTICS OF SAW FILTERS IN CONDITIONS OF HIGH POWER INPUT SIGNAL

Sinitsyna T.V.¹;

Garifulina A.T.^{1,2}

Gruzdev A.S.^{1,2};

Bagdasaryan A.S.^{1,2}

¹ Limited Liability Company «BUTIS»

² Moscow technological university. Physicotechnological institute

© Corresponding author e-mail: Garifulina A.T. alis@ro.ru

The article presents the results of the tests of basic structures of SAW impedance filters intended for special communications systems, radar and telecommunication equipment in conditions of exposure of high power RF signals.

Keywords: surface acoustic wave (SAW), impedance SAW filters, radio signal power.

Фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ) широко применяются в системах приема, обработки и передачи информации различного функционального назначения благодаря уникальной совокупности параметров, малым размерам и устойчивости к внешним воздействующим

факторам. Современные методы проектирования [1,2] и технологическое оснащение обеспечили возможность промышленного выпуска ПАВ-фильтров на частотный диапазон 20-3300 МГц, а применение конструкций резонаторного типа позволило реализовать уровень вносимого затухания 1-3 дБ в сочетании с высокой внеполосной избирательностью [3,4], что сделало их приоритетным элементом частотной селекции современной радиоэлектронной аппаратуры. Тем не менее, в силу конструктивных особенностей ПАВ-фильтров, до недавнего времени имелось ряд проблем, связанных с ограничением допустимой мощности входного радиосигнала.

Исследования, проведенные в этом направлении, показали, что решение данной задачи связано с использованием следующих конструктивно-технологических подходов при проектировании ПАВ-фильтров с высокой входной мощностью [5-7]:

- использование импедансных конструкций, особенностью которых является большое количество электродов во встречно-штыревых преобразователях (ВШП);
- использование секционированных ВШП или их параллельное включение;
- применение многослойных структур при формировании электродов преобразователей, например, Ti+Al+Ti+Al;
- применение пьезоэлектрических пластин с повышенной проводимостью.

Такое конструктивно-технологическое решение позволило реализовать широкую номенклатуру ПАВ-фильтров на частотный диапазон 216-2170 МГц с гарантированным уровнем входной мощности не менее 1,2 Вт [8-11]. Целью данной работы было исследование предельных возможностей базовой конструкции к уровню мощности входного сигнала в зависимости от рабочей частоты ПАВ-фильтров и конструктивного исполнения ВШП.

Поскольку стандартное оборудование для формирования сигналов высокой мощности в заданном частотном диапазоне отсутствует, для проведения испытаний был разработан специализированный измерительный стенд [12], обеспечивающего следующие технические характеристики:

Диапазон рабочих частот, МГц	20–4000
Выходной уровень сигнала не менее, Вт	5,0
Максимальный уровень входного сигнала, дБм	27
Коэффициент усиления, дБ	10 – 36
Неравномерность коэффициента усиления не более	2,5
Потребляемая мощность, Вт	170

В качестве частото задающего устройства использовался генератор СВЧ сигнала GS-8. Для контроля уровня мощности СВЧ сигнала, подаваемого на вход ПАВ-фильтра, использовался ваттметр поглощаемой мощности МЗ-56. Испытание на воздействие сигнала большой мощности проводилось в условиях повышенной температуры среды (+85⁰С) и длительности воздействия сигнала 30 минут при каждом заданном уровне мощности.

Следует отметить, что основным фактором, который определяет устойчивость ПАВ-фильтров к данному типу воздействия, является напряженность электрического поля в зазоре между электродами противоположной полярности в ВШП. При определенной величине поля между электродами возникает электрический пробой, что приводит к разрушению структуры ВШП. Поскольку напряженность электрического поля в зазоре обратно пропорциональна числу электродов ВШП, необходимо использовать ВШП большой протяженности. Кроме того, для реализации ПАВ-фильтров с высокой входной мощностью целесообразно применять на входе фильтра секционированные ВШП или параллельное/последовательное включение ВШП, что позволяет уменьшить напряженность электрического поля в зазоре от 2 до 4 раз.

Величина напряжение пробоя обратно пропорциональна ширине зазора А, который, в свою очередь, зависит от скорости ПАВ (V), рабочей частоты фильтра (F₀) и коэффициента металлизации в электродной структуре K_м (отношение ширины электрода к полупериоду структуры): $A = \lambda/2(1 - K_m)$, где $\lambda = V/F_0$ – период электродной структуры. Также величина критической напряженности, при которой

возникает пробой, зависит от материала звукопровода (в т.ч. от величины поверхностной проводимости) и качества очистки поверхности в процессе изготовления фильтра. Сравнительные конструктивно-технологические параметры фильтров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Тип фильтра	Частота, МГц	Конструктивные особенности	Тип материала, скорость волны, м/с	Толщина слоистой структуры Ti+Al+Ti+Al, нм	Число электродов ВШП	A, МКМ
Ф1	216	Секционированный входной ВШП	39°-LiTaO ₃ , 4050	780 (30+110+30+610)	161 в каждой секции	6,1
Ф2	664	На входе фильтра два ВШП, включенных последовательно	41°-LiNbO ₃ , 4500	265 (30+100+30+105)	379 в каждом ВШП	1,9
Ф3	2170	На входе фильтра два ВШП, включенных последовательно	46°-LiTaO ₃ , 4050	172 (20+40+20+92)	631 в каждом ВШП	0,45

Результаты испытаний приведены на рис.1-3.

Проведенные исследования показали, что разработанная базовая конструкция имеет запас по допустимому уровню мощности входного сигнала даже для СВЧ диапазона частот (более чем в два раза).

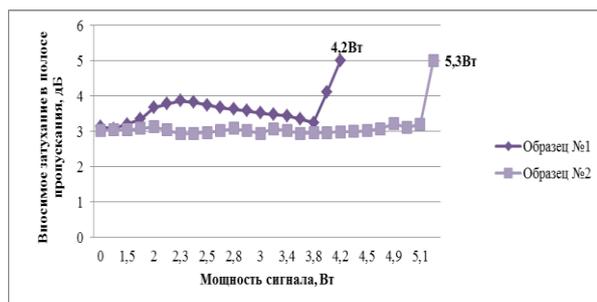


Рис.1. Результаты испытаний фильтра Ф1 на частоту 216 МГц

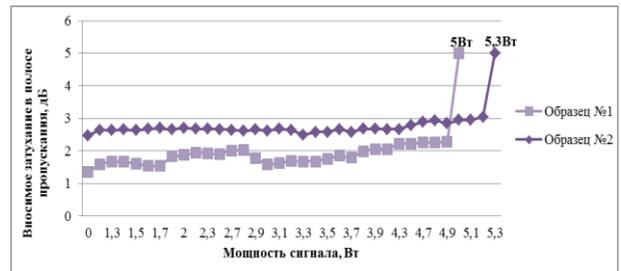


Рис.2. Результаты испытаний фильтра Ф2 на частоту 664 МГц

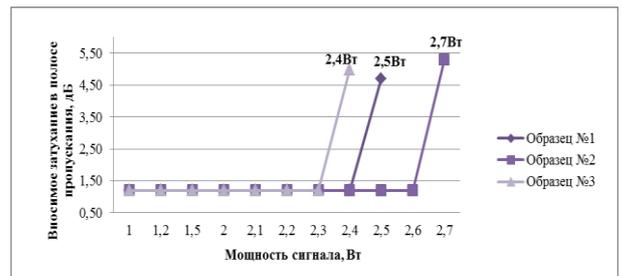


Рис.3. Результаты испытаний фильтра Ф3 на частоту 2170 МГц

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17-07-01372 А).

Список литературы

1. Багдасарян А., Синецына Т. Устройства селекции частоты на ПАВ Физико-технические принципы построения // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2011. № 4. С. 38-44.
2. Прапорщиков В.В., Дорофеева С.С. Моделирование фильтров на ПАВ в среде MATHCAD методом связанных мод // В сборнике: Информатика: проблемы, методология, технологии Материалы XVI Международной научно-методической конференции. Под редакцией Тюкачева Н.А.. 2016. С. 398-403.
3. Багдасарян А., Синецына Т., Машигин О., Иванов П., Егоров Р. Устройства частотной селекции в современных системах связи, радиолокации и телекоммуникации // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2013. № 8. С. 128-136.
4. Багдасарян А., Багдасарян С., Карапетьян Г., Машигин О., Синецына Т. Импедансные фильтры на ПАВ для телекоммуникационных систем. Российский приоритет // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2014. № 7. С. 48-65.
5. Синецына Т.В., Багдасарян А.С., Бутенко В.В., Данилов А.Л., Иванов П.Г. Фильтры на ПАВ с высокой входной мощностью: базовые модели для анализа электродных структур // Электросвязь. 2015. № 10. С. 65-70.
6. Синецына Т.В., Багдасарян А.С., Конд-

ратьев С.Н., Машинин О.В. Фильтры на поверхностных акустических волнах с высокой входной мощностью для радиотехнических систем связи: конструктивно-технологические особенности // Теория и техника радиосвязи. 2015. № 3. С. 40-45.

7. Сеницына Т.В., Гарифулина А.Т. Конструктивно-технологические особенности реализации фильтров на ПАВ с высокой входной мощностью // В сборнике: Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике, сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Московский технологический университет, Физико-технологический институт. 2016, С. 191-194.

8. Сеницына Т.В., Багдасарян А.С., Кондратьев С.Н., Машинин О.В., Егоров Р.В. Фильтры с высокой входной мощностью для радиотехнических систем: фильтр на ПАВ на номинальную частоту 216 МГц // Теория и техника радиосвязи. 2015. № 3. С. 28-39.

9. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В., Машинин

О.В., Егоров Р.В. СВЧ фильтры на ПАВ с высокой входной мощностью для систем и аппаратуры передачи и обработки информации // Труды НИИР. 2016. № 1. С. 26-31.

10. Никитов С.А., Багдасарян А.С., Кондратьев С.Н., Сеницына Т.В., Машинин О.В., Груздев А.С. Фильтры на поверхностный акустических волнах с высокой входной мощностью для систем связи, радиолокационной и телекоммуникационной аппаратуры на номинальную частоту 2170 МГц // Радиотехника и электроника. 2016. № 4. С. 389-394.

11. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В. Фильтры на ПАВ, выдерживающие входную мощность радиосигнала 1-2 Вт, для телекоммуникационной аппаратуры // Техника радиосвязи. 2016. №3 (30). С. 80-89.

12. Сеницына Т.В., Машинин О.В., Багдасарян А.С., Львов В.Ф., Гарифулина А.Т. Испытания ПАВ-фильтров на воздействие сигнала с высокой входной мощностью // Труды НИИР. 2015. № 4. С. 9-13.

УДК 621.3.011.732

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ФИЛЬТР НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ НА ОСНОВЕ STW-КВАРЦА

Сеницына Т.В.¹, к.т.н., главный конструктор;

Багдасарян А.С.², д.т.н., профессор, научный консультант;

Дорофеева С.С., старший инженер¹, аспирант³

¹ ООО «БУТИС»

² ФГУП «НИИР»

³ Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Дорофеева С.С. e-mail: rabbit-house@mail.ru

В работе описан принцип конструирования высокочастотного фильтра на поверхностных акустических волнах на основе STW-кварца. Представлены экспериментальные характеристики фильтра на номинальную частоту 898 МГц.

Ключевые слова: поверхностная акустическая волна (ПАВ), ПАВ-фильтр, STW-кварц, температурный коэффициент частоты (ТКЧ)

HIGH-FREQUENCY SURFACE ACOUSTIC WAVE FILTER BASED ON STW-QUARTZ

Sinitsyna T.V.¹;
 Bagdasaryan A.S.²;
 Dorofeeva S.S.^{1,3}

¹ Limited Liability Company «BUTIS», Moscow

² Federal State Unitary Enterprise «Radio Research and Development Institute of radio» FSUE «NIIR», Moscow

³ Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow

®Corresponding author e-mail: rabbit-house@mail.ru

The work describes how to design high frequency surface acoustic wave filter based on STW-Quartz. Experimental characteristics of the filter at a nominal frequency of 898 MHz are presented.

Key words: surface acoustic wave (SAW), SAW filter, STW-quartz, temperature coefficient of frequency (TCF)

При проектировании высокостабильных фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ) в качестве материала пьезоподложки используются кварц ST-среза или кристаллы семейства лангасита (LGS) [1,2]. Данные материалы имеют достаточно малую скорость распространения волны: 3158 м/с для ST-кварца, 2740 м/с для 22,5°-LGS и 2815 м/с для (0°,90°,40°)-катангасита. По этой причине их практическое использование при применении стандартной фотолитографии ограничено частотой 800 МГц, при которой минимальный размер электрода не превышает 1 мкм. Проведенные ранее исследования [3] показали, что для ВЧ и СВЧ диапазонов эффективнее использовать ST-90°X срез кварца, в котором возбуждаются поверхностные сдвиговые волны (STW), имеющие скорость распространения волны порядка 5000 м/с, что в 1,6 раз превышает скорость волны в обычном ST-срезе кварца. Это позволяет расширить допустимый частотный диапазон до 1250 МГц. В статье приведены результаты разработки ПАВ-фильтра с номинальной частотой 898 МГц, реализованного на подложке из STW-кварца 38°-среза.

В качестве базовой конструкции фильтра была применена резонаторная продольно-связанная структура (LCRF),

обеспечивающая малый уровень вносимого затухания за счет исключения потерь, связанных с двунаправленностью излучения поверхностных акустических волн встречно-штыревым преобразователем (ВШП). С конструктивной точки зрения это достигается путем введения дополнительных отражателей по краям структуры (рис.1). Встречно-штыревые преобразователи ВШП1 и ВШП2 содержали по 192 и 200 штырей, соответственно, причем ВШП1 был взвешен методом выборочного удаления для обеспечения требуемого внеполосного подавления. Боковые отражатели (отражатель 1) имели по 140 штырей, центральный (отражатель 2), выполняющий также роль электромагнитного экрана между входом и выходом, имел 20 штырей.

Следует отметить, что резонаторные кварцевые фильтры имеют ряд специфических особенностей по сравнению с аналогичными фильтрами на материалах с большим коэффициентом электромеханической связи. В частности, вследствие волноводного характера распространения ПАВ в пределах акустического тракта при превышении апертуры фильтра критического значения на частотах выше центральной частоты возникают паразитные резонансы поперечных мод, которые искажают частотные характеристики фильтра. В качестве одного из способов подавления паразитных мод апертуру акустического канала уменьшают до величины меньшей критической. Однако при этом возникают проблемы с импедансами ВШП, что затрудняет согласование фильтра в тракте и достижение минимальных вносимых потерь.

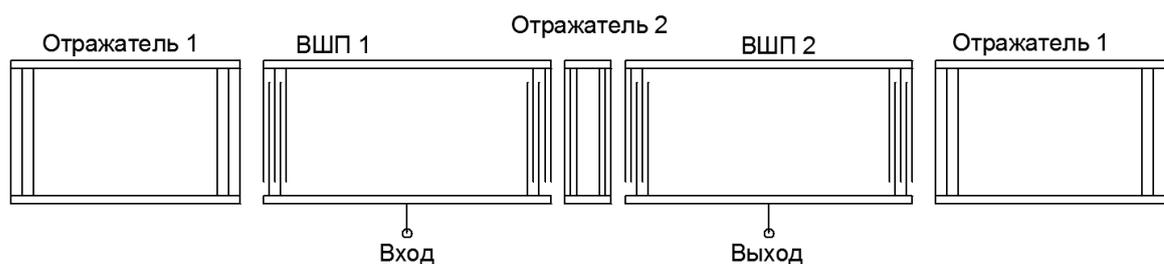


Рис.1. Базовая конструкция одного канала ПАВ-фильтра на основе продольно-связанной резонаторной структуры

В качестве компромиссного решения фильтры такого типа выполняются многоканальными, в которых апертура отдельного канала задается такой, чтобы обеспечить подавление паразитных резонансов. Для реализации данного фильтра была выбрана 2-х канальная структура, к которой апертура каждого канала составляла 27λ (длина волны $\lambda=5,55$ мкм). Электродные структуры имели коэффициент металлизации 0,6 и были сформированы на пленке алюминия толщиной 1200 Å. Габаритный размер топологии составил 2,3x1,7 мм. Амплитудно-частотная характеристика разработанного фильтра приведена на рис.2. Ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ составила 1,49 МГц (0,16%), вносимое затухание 6,22 дБ.

Исследование температурной стабильности устройства показало, что при толщине пленки алюминия 2% температурный коэффициент частоты (ТКЧ) в диапазоне температур от -60°C до $+85^\circ\text{C}$ составил $7,5 \times 10^{-6}$ ед./град (рис.3). Это несколько хуже, чем у обычного ST-кварца, но более чем в 2 раза лучше, чем у 112°YX -среза танталата лития. Результаты данного эксперимента подтверждаются данными, приведенными в работе [4].

Существенным недостатком узкополосных фильтров на ПАВ на основе обычного ST-среза кварца является плохая временная стабильность, которая выражается в изменении средней частоты фильтра со временем. Поэтому в рамках данной работы были проведены исследования стабильности параметров фильтров на STW-кварце методом ускоренного старения (3 цикла в диапазоне температур от минус 60°C до $+70^\circ\text{C}$). Дальнейшие измерения показали, что фильтры сохранили свою работоспособность без изменения параметров, следовательно, STW-кварц можно считать стабильным и успешно применять в качестве пьезоэлектрической подложки для узкополосных фильтров на ПАВ.

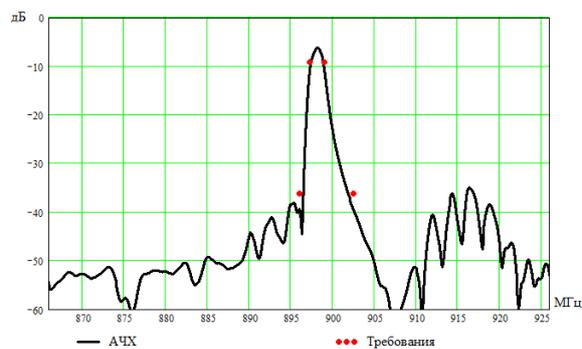


Рис.2. Амплитудно-частотная характеристика фильтра на номинальную частоту 898 МГц

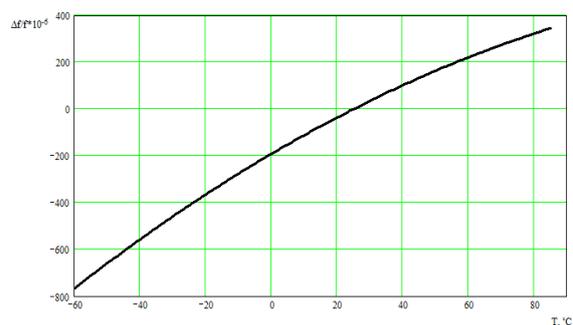


Рис.3. Температурный коэффициент частоты

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 17-07-01372 А).

Список литературы

1. Сеницына Т.В., Дорофеева С.С. Исследования пьезоэлектрических свойств КТГС и кварца для ПАВ-устройств // Сборник научных трудов XXI Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в промышленности России», М. 2016. С.24-29.
2. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В., Дорофеева С.С. Перспективные пьезокристаллы для высокостабильных устройств на ПАВ // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Оптические технологии, материалы и системы», М. 2016. С.112-115.
3. Сеницына Т.В., Дорофеева С.С., Груздев А.С. Пьезокристаллы для высокостабильных устройств на ПАВ // Труды НИИР, 2016, № 3. С. 10-17.
4. Yatsuda H., Yamanouchi K., Iijima H., Mineshima N. High-frequency and narrow band STW filters for cellular power amplifiers // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1998, P. 403-406.

УДК 621.3.011.732

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

Синицына Т.В.¹, к.т.н., главный кон-
структор;
Багдасарян А.С., д.т.н., профессор²,
научный консультант¹;
Прапорщиков В.В., аспирант², гене-
ральный директор³

¹ООО «БУТИС», Москва

²Физико-технологический институт
Московского технологического университета,
Москва

³ООО «НПП «Техно-ПАРК», Москва

© Автор для переписки: Прапорщиков В.В. e-mail:
sinicina59@mail.ru

В работе описаны основные методы моделирования устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Приведены сравнительные характеристики фильтров на ПАВ, предназначенных для применения в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) различного функционального назначения, рассчитанные на основе P-матричного метода и теории связанных мод.

Ключевые слова: поверхностная акустическая волна (ПАВ), устройство на ПАВ, встречно-штыревой преобразователь, моделирование, вторичные эффекты

MODELING METHODS OF SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICES

Sinitsyna T.V.¹;
Bagdasaryan A.S.^{1,2};
Praporshchikov V.V.^{2,3}

¹ Limited Liability Company «BUTIS»

² Moscow technological university. Physic-
technological institute, FSUE «NIIR»

³ Limited Liability Company «NPP «Techno-
PARK»

© Corresponding author e-mail: viktor_butis@gmail.ru

The work is dedicated the basic methods of modeling of surface acoustic wave devices (SAW). Provides comparative characteristics of SAW filters intended for use in electronic equipment (REE) of various functional purposes, based on the P-matrix method and coupling-of-modes theory.

Key words: surface acoustic wave (SAW), SAW device; interdigital transducer, modeling, secondary effects

Одним из основных требований при проектировании современных РЭА является уменьшение длительности и цены разработки. Решение данной задачи связано с точностью моделирования элементов, входящих в ее структуру. Данная работа посвящена вопросам моделирования частотно-избирательных элементов, выполненных по ПАВ-технологии, поскольку именно эти устройства нашли наиболее широкое применение в диапазоне частот от 20 до 3500 МГц. Встречно-штыревые преобразователи (ВШП) являются основными элементами ПАВ-устройств, осуществляющими возбуждение и прием поверхностной акустической волны, поэтому в первую очередь очень важно иметь адекватную физическую модель преобразователя [1]. Высокую точность расчета дает полевой анализ ВШП, основанный на применении функции Грина, связывающей поверхностный потенциал и плотность зарядов для поверхности пьезоэлектрического полупространства. Однако сложный математический аппарат данного метода не позволяет применять его для расчета устройств на ПАВ, использующих эффект отражения, обусловленного электрическим и механическим воздействием на приповерхностный слой пьезоэлектрика. Модель дельта-функций является по сути математической абстракцией и обеспечивает приемлемые результаты только вблизи частоты акустического синхронизма ВШП, поскольку частотные свойства ВШП определяются только его периодичностью, числом δ -источников и распределением максимального значения интенсивности источников, а не законом

распределения электро-упругого поля.

Достаточно эффективной, однако не лишенной определенного математического формализма, является модель эквивалентных схем, в основе которой лежит представление преобразователя в виде шестиполюсника с двумя акустическими и одним электрическим входом. В современных модификациях модели эквивалентных схем ВШП разбивается на элементарные ячейки, каждая из которых описывает фрагмент звукопровода между центрами соседних электродов. В модели учитываются такие эффекты второго порядка, как отражение/рассеяние волны и накопление энергии на границе металл – свободная поверхность. Достоинством модели является то, что эквивалентные параметры базовых ячеек определяются положением границ электродов, что позволяет моделировать электродные структуры произвольной конфигурации, в том числе сформированных на пьезоэлектрических материалах с естественной направленностью излучения волны. Основным недостатком модели эквивалентных схем является ее слабая физическая обоснованность, а именно отсутствие связи с теорией волн, что приводит к необходимости использования поправочных коэффициентов при расчетах.

Наиболее перспективным методом анализа ВШП с ненулевым уровнем отражений в электродных структурах является P -матричный метод, основанный на использовании теории связанных мод (coupling-of-modes-COM) [2], рис.1.

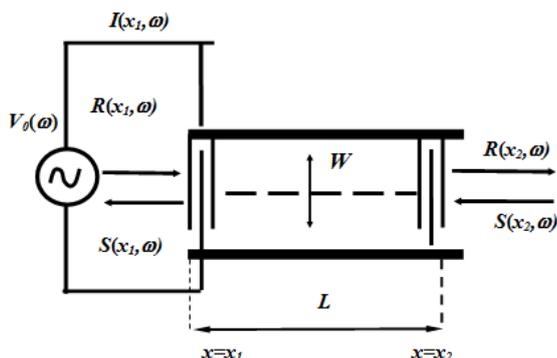


Рис.1. Модель ВШП, используемая в COM-теории

При этом P -матрица (1) показывает связь выходящих акустических волн и тока с входящими акустическими волнами и потенциалом преобразователя:

$$\begin{bmatrix} S(x_1, \omega) \\ R(x_2, \omega) \\ I(x_1, \omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(\omega) & P_{12}(\omega) & P_{13}(\omega) \\ P_{21}(\omega) & P_{22}(\omega) & P_{23}(\omega) \\ P_{31}(\omega) & P_{32}(\omega) & P_{33}(\omega) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R(x_1, \omega) \\ S(x_2, \omega) \\ V_0(\omega) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} P_{11} &= P_{22} = R \\ P_{21} &= P_{12} = T \\ P_{13} &= P_{23} \\ P_{31} &= P_{32} = -2P_{13} \end{aligned} \quad (1)$$

где I и U , соответственно, ток и напряжение на преобразователе; R – коэффициент отражения волны, T – коэффициент прохождения волны.

Современные модификации данного метода, оперирующие элементами одного звена (электрода) позволяют выполнять синтез рабочих характеристик неоднородных преобразователей с модуляцией периода структуры, аподизацией (переменная величина рабочего перекрытия электродов) и произвольным распределением отражений в пределах электродной структуры ВШП, рис.2.

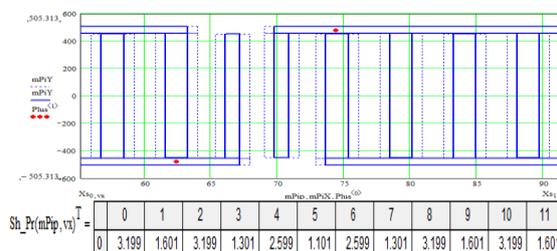


Рис.2. Фрагмент топологии высокоизбирательного ПАВ-фильтра на основе продольно-связанных резонаторов

Для расчета проводимости ПАВ-устройства в целом целесообразно использовать преобразование P -параметров в Y -параметры. Это позволяет производить оценку влияния вторичных электромагнитных факторов (паразитных индуктивностей и сопротивлений проволочных перемычек, соединяющих контактные площадки ВШП с площадками корпуса; взаимной индуктивности между этими перемычками; паразитной емкости связи вход-выход, паразитной емкости площадок корпуса и т.д.) в удобной математической

форме. Данный подход был использован при разработке САПР фильтров на ПАВ любой сложности [3,4], которая обеспечила высокую сходимость теоретических и экспериментальных результатов в пределах одной итерации, рис.3.

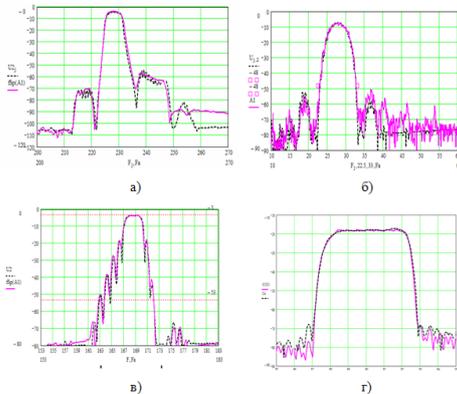


Рис.3. Теоретические (пунктирные) и экспериментальные (сплошные) амплитудно-частотные характеристики ПАВ-фильтров на основе а) продольно-связанных резонаторов; б) U-образных ответвителей; в) реверсивных ответвителей; г) трансверсальной

двухканальной конструкции
 Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ
 (грант № 17-07-01372 А)

Список литературы

1. Сеницына Т.В., Багдасарян А.С., Бутенко В.В., Данилов А.Л., Иванов П.Г. Фильтры на ПАВ с высокой входной мощностью: базовые модели для анализа электродных структур // *Электросвязь*, 2015, № 10, С. 65-70.
2. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В. Анализ ВШП методом связанных мод // *Системы и средства связи, телевидения и радиовещания*, 2003, № 1-2, С. 11-15.
3. Сеницына Т.В., Багдасарян А.С., Бутенко В.В., Данилов А.Л., Иванов П.Г. Синтез фильтров на ПАВ для систем связи, радиолокационной и телекоммуникационной аппаратуры // *Электросвязь*, 2016, № 11, С. 81-86.
4. Багдасарян А., Сеницына Т., Машигин О., Иванов П., Егоров Р. Устройства частотной селекции в современных системах связи, радиолокации и телекоммуникации // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*, 2013, № 8, С. 128-136.

УДК 004.4'2 + 004.51

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИЙ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КАРКАСА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Баканов В.М., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ), Россия, 101000, г.Москва, ул.Мясницкая, д.20

Физико-технологический институт Московского технологического университета, Россия, Москва, 107996, Стромынка, 20.

@ Для переписки: Баканов В.М., e-mail: e881e@mail.ru

Работа посвящена решению проблемы создания рациональных методов разработки каркаса (плана, расписания выполнения) параллельных программ для реальных параллельных вычислительных систем. Для решения этой задачи разработана программная среда, позволяющая реализовывать различные стратегии построения каркаса выполнения параллельных программ и оценивать качество этих стратегий. Для моделирования и оптимизации методов используется встроенный скриптовый язык программирования Lua. Приводятся результаты применения некоторых предложенных стратегий построения рациональных планов выполнения параллельных программ.

Ключевые слова: графовые представления алгоритма, анализ информационной структуры программы, ярусно-параллельная форма информационного графа, рациональные параметры выполнения параллельных программ, стратегия построения рационального плана выполнения параллельной программы.

PROGRAM SYSTEM FOR STRATEGY DEVELOPMENT BUILDING THE OPTIMAL

FRAMEWORKPARALLEL PROGRAMS

Bakanov V.M.

National Research University "Higher School of Economics" (HSE), Russia, 101000, Moscow, Myasnitskaya Str. 20

Physicotechnological Institute of Moscow Technological University, Russia, Moscow, 107996, Stromynka, 20.

@ For correspondence: Bakanov V.M., e-mail: e881e@mail.ru

The work is devoted to solving the problem of creating rational methods for developing a skeleton (a plan, a timetable for execution) of parallel programs for real parallel computing systems. To solve this problem, a software environment has been developed that allows implementing various strategies for building skeleton for performing parallel programs and assessing the quality of these strategies. To simulate and optimize methods, the built-in scripting language of Lua programming is used. The results of applying some of the proposed strategies for constructing rational plans for the execution of parallel programs are given.

Key words: graph representations of the algorithm, analysis of the program information structure, a tiered-parallel form of the information graph, rational parameters for executing parallel programs, a strategy for constructing a rational plan for executing a parallel program.

Для решения современных прикладных задач в промышленности требуются все более высокопроизводительные вычислительные системы; в настоящее время из путей повышения производительности доступен метод параллелизации обработки данных, путь же повышения тактовой частоты ограничивается фундаментальными законами и технической реализацией производства процессоров.

Однако параллелизации (фактически одновременное - параллельное выполнение различных частей одной программы на независимо работающих вычислительных блоках) требует от алгоритмистов и программистов дополнительных усилий по выявлению в алгоритме участков, могущих быть исполненными параллельно; основное требование к таким блокам (*зёрнам* или *гранулам*) параллелизма состоит в независимости (ортогональности) их по дан-

ным. Анализ алгоритмов (часто именуемый *исследованием тонкой информационной структуры алгоритма*) по такому критерию затруднен, поэтому говорят о скрытом (не фиксируемом при *поверхностном рассмотрении*) параллелизме; мощным инструментом при таком анализе является представление программ графовыми моделями. В нашей стране разработкой методов анализа структуры алгоритмов на основе графовых моделей занимались В.В.Воеводин и Вл.В.Воеводин [1].

Ситуация усложняется необходимостью рационального использования ресурсов конкретной многопроцессорной вычислительной системы (МВС). Эти ресурсы (число и возможности параллельно работающего поля вычислителей) всегда ограничены, поэтому задача планирования использования ресурсов столь важна. В настоящее время именно априорному (на этапе компиляции) планированию при реализации программ на МВС отдается приоритет. Ярким примером является создание программ для параллельных вычислителей архитектуры сверхдлинного командного слова (VLIW, *Very Long Instruction Word*) - аппаратно-программная идеология микропроцессорной архитектуры с явным параллелизмом команд (EPIC, *Explicitly Parallel Instruction Computing*).

Часто для представления и анализа программ используются (наряду с иными формами) информационные графы (напр., проект AlgoWiki, [2]). На практике для максимального повышения быстродействия оптимизации подвергаются критические участки программы, не имеющие ветвлений; в этом случае информационный граф достаточен для описания алгоритма. Целью AlgoWiki является "дать исчерпывающее описание алгоритма, которое поможет оценить его потенциал применительно к конкретной параллельной вычислительной платформе". Естественным следующим (перед процедурой собственно кодирования) этапом в цикле разработки параллельного приложения должно являться моделирование выполнения программы на конкретной МВС (с учётом параметров вычислительного поля и размерности данных), при этом формируется ра-

циональный каркас (фактически *план выполнения*) параллельной программы (рис.1, этап выделен двойной рамкой). Именно этот этап является предметом рассмотрения данной работы. При представлении программы информационным графом (ИГА, вычислительная модель “операторы - операнды”) вершины графа соответству-

ют преобразователям информации (операторам), а дуги - информационным связям операторов (данным). В данном случае термин "операторы" в известной степени условен, ибо под "операторами" понимаются отдельные последовательности вычислений (*блоки, подзадачи*) любого (в принципе) размера.



Рис. 1. Фрагмент цикла разработки эффективной параллельной программ

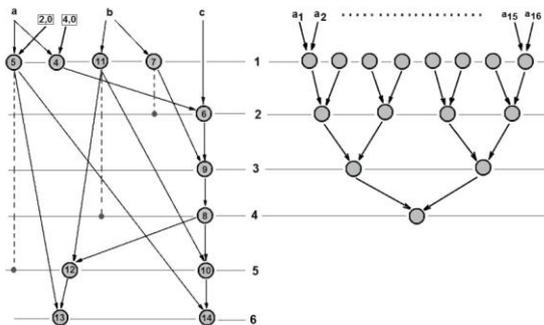


Рис. 2. Примеры ярусно-параллельной формы алгоритмов с потенциалом вариативности расположения операторов по ярусам (слева, процедура вычисления корней полного квадратного уравнения, пунктиром показан допустимый диапазон расположения операторов по ярусам) и с нулевым потенциалом вариативности (справа, процедура сдваивания для 16 чисел); цифры в центре - номера ярусов ЯПФ.

полнения (*каркас*) частей параллельной программы. Недостатком при этом является значительный разброс ширин ярусов ЯПФ. Подобный режим реализуем лишь на гипотетической МВС с бесконечно большим числом параллельных вычислителей (согласно *концепции неограниченного параллелизма*, [1]).

В большинстве ЯПФ имеется *вариативность в расположении вершин графа* (операторов) между ярусами (возможность перемещения операторов между ярусами, которая ограничивается соблюдением информационных зависимостей между операторами); для ЯПФ графа на рис.2 слева оператор 5 может быть перемещен "вниз" на любой ярус с 2 по 5-й, оператор 11 - на любой ярус с 2 по 4-й, оператор 7 - на ярус 2. Эта особенность ЯПФ даёт возможность оптимизации ЯПФ (в смысле, напр., достижения наибольшей равномерности распределения операторов по ярусам); в случае рис.2 слева возможна "разгрузка" яруса 1 от операторов 5 и 11, в результате приведенная программа может быть выполнена на 2 (вместо 4-х) параллельно работающих вычислителях за то же время. В то же время встречаются ЯПФ с нулевой вариативностью (рис.2 справа).

Удобным методом выявления параллелизма является представление ИГА в ярусно-параллельной форме (ЯПФ); при этом операторы, могущие выполняться независимо друг от друга (фактически параллельно) располагаются на одном уровне (*ярусе*). Глубина ЯПФ (определяемая числом ярусов) задает общее время выполнения алгоритма, ширина ЯПФ – максимальное число задействованных отдельных (параллельно работающих) вычислителей (напр., отдельных ядер процессора или узлов) данной МВС.

Общая задача близка к проблеме разбиения графов, относится к классу *NP*-полных и решаться может методом разработки эвристических алгоритмов методов.

Собственно каноническая ЯПФ может уже рассматриваться как некий *план вы-*

Для реализации и оптимизации эвристика поиска рациональных (стремящихся к оптимальным) планов выполнения парал-

лельных частей параллельных программ разработано специализированное программное обеспечение инструментального уровня (*программный стенд*), в котором для описание стратегий решения задачи использован встроенный скриптовый язык программирования Lua [3]. Клиентская часть программной системы (предварительное сообщение приведено в работе [4]) написана на языке программирования C++, является 32-битным GUI-приложением Windows (рис.3) и доступна для свободной загрузки с ресурса <http://vbakanov.ru/spf@home/> (WEB-сайт автора статьи).

Набор API-вызовов разработанной системы позволяет реализовывать любой из возможных критериев оптимизации (а также их комбинации), т.к. выбор критерия осуществляет собственно пользователь (на основе задач, им поставленных).

В случае применение данной системы в качестве компоненты распараллеливающего компилятора граф алгоритма априорно существует (компилятор при работе производит анализ программы на информационные зависимости - т.е. фактически строит граф). Автор для получения корректного ИГА ряд лет использует программный

симулятор вычислителя потоковой (DATA-FLOW) архитектуры [5], в котором программа отлаживается (включая количественное решение) и в дальнейшем экспортируется в файловый формат списка смежных вершин. На рис.3 в графической интерпретации (ленточные диаграммы распределения числа операторов по ярусам) приведены результаты применения различных стратегий преобразования ЯПФ для двух случаев - стратегии #01 (перемещение операторов с наиболее нагруженных на наименее нагруженные яруса при условии сохранения высоты ЯПФ, критерий остановки алгоритма – перебор всех операторов, могущих быть перенесенными “с холмов во впадины” с целью балансировки ЯПФ) и стратегии #02 (балансировка при условии увеличения высоты ЯПФ, критерий останова – “ужатие” (снижение ширины ЯПФ) до величины, не превышающей заданной) для нескольких ИГА распространенных вычислительных процедур различной сложности. Видно, что примененные стратегии преобразования ЯПФ снижают коэффициент вариации CV конкретных задач в 2-5 раз для случаев рис.3 а-г) соответственно.

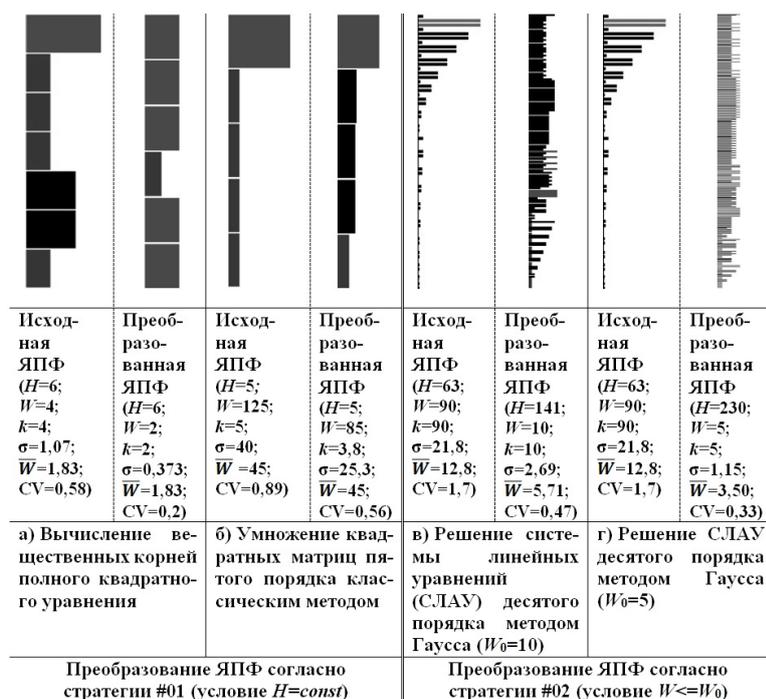


Рис. 3. Диаграммы распределения операторов по ярусам для исходных и преобразованных ЯПФ с помощью различных стратегий преобразования для разных алгоритмов (вариант гомогенного поля параллельных вычислителей).

Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что ранее описанные (но не являющимися излишне изощренными) стратегии в самом деле позволяют снизить неравномерность ширин ЯПФ (а значит, и уровень дисбаланса вычислительной нагрузки данной МВС) при заданных ограничениях, однако с разной эффективностью для различных ИГА. В целом наблюдается повышение эффективности стратегии при увеличении сложности (и, соответственно, вариативности) ИГА.

Результаты исследований применимы для анализа алгоритмов (в плане выявления эффективности выполнения параллельных программ на конкретных МВС), при разработке распараллеливающих компиляторов и в процессе обучения специалистов в области технологий параллельного программирования.

Список литературы

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 608 с.
2. AlgoWiki. Открытая энциклопедия свойств алгоритмов. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 18.10.2016. URL: <http://algowiki-project.org> (дата обращения: 21.01.2017).
3. Иерусалимски Роберту. Программирование на языке Lua. — М.: ДМК Пресс, 2014. — 382 с.
4. Баканов В.М. Программный инструментальный анализ информационной структуры алгоритмов по их информационным графам. // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2016): труды международной научной конференции (г. Архангельск, 28.03–01.04.2016). — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016, с. 432-441.
5. Баканов В.М. Управление динамикой вычислений в процессорах потоковой архитектуры для различных типов алгоритмов. // Журнал "Программная инженерия", 2015, № 9, с. 20-24

УДК 621.91

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ВИДЫ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

Юрин В.Н., д.т.н., профессор

*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
Москва 109240, Российская Федерация*

e-mail: yurinvn@mati.ru

Проведено сравнение возможных способов получения информации об эффективности управляющих воздействий при управлении качеством технологических машин на ранних стадиях их проектирования. Рассмотрен новый вид обратной связи – моделирование физико-технических эффектов конструкции.

Ключевые слова: технологические машины, станки, ранние стадии проектирования, управление качеством, физико-технические эффекты, моделирование

MANAGEMENT TECHNOLOGICAL MACHINES QUALITY IN THE EARLY STAGES OF DESIGN: TYPES OF FEEDBACKS

Yurin V.N.

Moscow Aviation Institute (National Research University), Russian Federation

E-mail: yurinvn@mati.ru

A comparison of the possible ways of obtaining information about the effectiveness of control actions in managing the quality of the technological machines in the early stages of their design. Describes a new type of feedback – modeling of physical and technical effects design.

Key words: technological machines, the early stages of design, quality management, physical and technical effects, modeling

Качество машин закладывается при проектировании [4]. Для технологических

машин здесь уже на ранних стадиях важно решать не только структурные, компоновочные задачи, но и задачи создания средств повышения качества [7] – конструкций, систем и мероприятий, обеспечивающих и сохраняющих показатели качества машины в заданных пределах и во времени.

Структура проектной процедуры включает [5]: анализ задачи – синтез вариантов решений – анализ этих вариантов – принятие решения, так что управление качеством машин при проектировании основано на отборе альтернативных вариантов конструкции путем их оценки. Эффективность этого процесса определяется способностью генерировать различные управляющие воздействия на конструкцию, объективностью и оперативностью получения оценок выходных характеристик объекта проектирования при этих воздействиях, что в конечном итоге зависит от способа получения информации о степени и причинах влияния того или иного управляющего воздействия.

Рассмотрим возможные варианты таких способов – способов осуществления обратной связи при проектировании – системе управления качеством машин. Эти способы могут использоваться при проектировании машин как порознь, так и в различных комбинациях.

1. Личные знания, опыт и интуиция конструктора – традиционный способ получения указанной выше информации. Несмотря на его субъективный характер, он широко используется, причем для повышения адекватности оценок – с применением коллективного опыта (при обсуждениях, демонстрациях и т.п.), в сочетании с другими способами.

2. Базы данных и знаний (отнесем сюда и неформализованные их совокупности, например, в виде рекомендаций, обзоров и др.), включающие информацию об известных технических решениях, способах повышения качества, исследованиях, испытаниях и т.п. Например, для станков – это работы [1], [2], [9], а для ранних стадий проектирования – автоматизированный справочник термоупругих ФТЭ [8], экспертная система [6].

Они содержат результаты "прошлого" опыта создания станков. Использование их при создании новых решений возможно прежде всего на качественном, концептуальном уровне, а практическая проверка эффективности конкретных вариантов должна осуществляться другими способами.

3. Испытание машин, их узлов – наиболее информативный источник объективной информации о степени и причинах влияния управляющих воздействий на конструкцию.

Недостатком этого направления исследований является получение нужной информации после изготовления машины (узла) и сложность проверки ряда альтернативных вариантов конструкции, тем более ее оптимизации. Проведение экспериментальных исследований приводит к удлинению и удорожанию цикла создания машин, что способствует их моральному старению, снижению конкурентоспособности.

4. Испытание макетов узлов и деталей машин (их физических моделей) применяются для повышения оперативности оценки эффективности управляющих воздействий на конструкцию. Как и в случае испытаний машин, здесь затруднительна проверка ряда альтернативных вариантов решений, различающихся по виду управляющих воздействий, т.к. каждый из них требует изготовления соответствующего макета (модели).

5. Вычислительный эксперимент с математической моделью конструкции давно используется при проектировании машин, в последнее время он получает все большее распространение в связи с развитием метода конечных элементов (МКЭ), реализуемого уже на персональных компьютерах. При этом теперь возможны и автоматизированное формирование конечноэлементной модели по геометрической 3D модели объекта проектирования, оптимизация конструкций [Поляков]. Но создание и отладка таких моделей трудоемки, что резко ограничивает возможности анализа альтернативных вариантов конструкции, делает такое моделирование инструментом большей частью исследователей, а не са-

мих конструкторов.

6. Вычислительный эксперимент с математической моделью физико-технических эффектов (ФТЭ) конструкции. Дело в том, что любая конструкция основана на каком-либо ФТЭ или комбинации нескольких ФТЭ, т.е. поведение конструкции определяется тем или иным ФТЭ или их совокупностью. Следовательно, альтернативные варианты конструкции отличаются прежде всего ФТЭ. И, если ФТЭ существует, то он проявляется в виде определенного, ему соответствующего процесса. Количественно характеристики этого процесса для реальной конструкции и модельной задачи будут, конечно, существенно отличаться. Но при отборе конкурирующих вариантов при проектировании конструктора прежде всего интересует не столько сама выходная характеристика U данного ФТЭ конструкции (величина деформации, температуры, напряжения и т.д.), сколько тенденция ее изменения при этом ФТЭ по сравнению с ФТЭ базового (исходного) варианта: приближается ли величина U нового варианта к требуемому значению $[U]$, насколько быстро и какой ценой – изменением чего – какого управляющего воздействия.

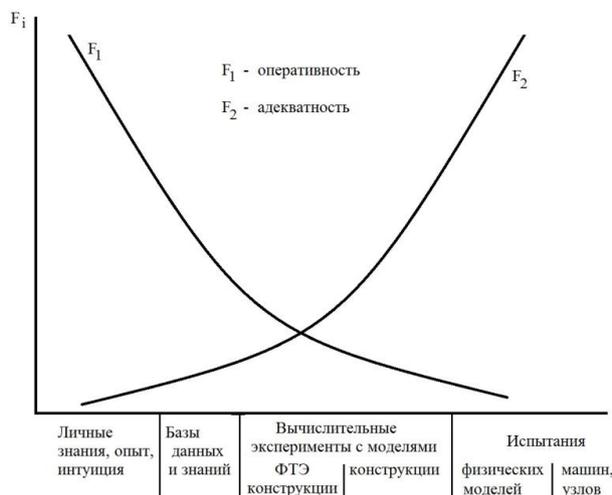


Рис. 1. Сравнение различных источников информации об эффективности управляющих воздействий на объект проектирования

Поэтому на ранних стадиях проектирования целесообразно моделирование не самих конструкций, а их ФТЭ на

модельных задачах значительно меньшей размерности, близких к хорошо знакомым конструктору расчетным схемам конструкции.. Это дает возможность уже на ранних стадиях проектирования перейти от задач идентификации конструкции к задачам поиска управляющих воздействия на нее для получения требуемого качества. Моделирование ФТЭ конструкции с оценкой изменения его выходных характеристик в заданном направлении приоритетного анализа - НПА (например, для станков – в направлении γ , влияющем на точность обработки) при изменении структуры и параметров модели называется тенденционным моделированием (Т-моделированием). Создаваемая при его применении тенденционная модель характеризует основные свойства того ФТЭ (или их совокупности), который определяет поведение проектируемой конструкции. Поскольку используемые здесь модели просты, такое моделирование вполне доступно самому конструктору, позволяет ему непосредственно вступить в диалог с ЭВМ, оперативно выполняя вычислительные эксперименты с изменением параметров и структуры моделей по результатам расчетов в соответствии с характерными для него эвристическими процедурами технического творчества. Для облегчения перехода от результатов расчета к реальным конструкциям целесообразно данный способ получения информации использовать совместно с другими.

Сравнение экспертных оценок вышеперечисленных способов осуществления обратной связи 1-6 по адекватности и времени получения информации об эффективности того или иного управляющего воздействия показывает, что способы 3, 4 (испытание конструкций и их макетов) и способ 5 (вычислительный эксперимент с идентификационной моделью конструкции), обеспечивающие наиболее адекватное оценивание результатов, имеют низкую оперативность к обратной связи управления качеством, характеризуемую отношением времени проектирования $T_{пр}$ и времени обратной связи $T_{ос}$: $k = \frac{T_{пр}}{T_{ос}}$. В

результате конструктор практически не успевает их использовать в реальные (сжатые) сроки проектирования для анализа альтернатив, в лучшем случае – лишь однажды – для идентификации конструкции.

Характерно, что вычислительный эксперимент с моделью ФТЭ конструкции, как видно из качественного экспертного сравнения по оперативности F1 и адекватности F2 (см. рис.1), является своего рода оптимальным компромиссом среди других способов обратной связи.

Список литературы

1. Аверьянов О.И., Гельштейн Я.М. Информационное обеспечение проектирования металлорежущих станков. – М.: ВНИИТЭМР, 1987.
2. Буцуев В.В. Практика конструирования машин. Справочник. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.
3. Поляков, А.Н. Компьютерные исследования тепловых деформаций металлорежущих станков. Методы, модели и алгоритмы: учеб-

ное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 382с.

4. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
5. Прохоров А.Ф. Конструктор и ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
6. Юрин В.Н. Автоматизированный выбор способа управления тепловыми деформациями // СТИН. 1990. № 11. – С. 7–11.
7. Юрин В.Н. Автоматизация ранних стадий проектирования средств повышения качества станков путем управления их тепловыми деформациями. – М.: ВНИИТЭМР, 1991. – 72 с.
8. Юрин В.Н. Информационное обеспечение проектирования теплонагруженных деталей и узлов станков. //Станки и инструмент, 1992, № 7. -С. 12-14.
9. Weck M., Bonse R. Konstruktionskatalog zur Optimierung des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen. – Teil 2. Grundlagen, Messsysteme, Kompensationsmassnahmen. // Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 1993, v. 88, № 1. – S. 24-27.

УДК 004.92.004.928

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ BLEND4WEB ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

Власенко А.Н., старший преподаватель;

Степанов В.В., к.т.н., доцент

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

© Автор для переписки: Власенко А.Н. e-mail: svarka05@mati.ru

Работа посвящена использованию среды Blend4Web в качестве инструмента трехмерной визуализации и анимации инженерных решений в интернет браузерах.

Ключевые слова: Blend4Web, WebGL, шовная сварка

WEDNESDAY BLEND4WEB, AS A TOOL FOR VISUALIZING

ENGINEERING SOLUTIONS

Vlasenko A.N.;
Stepanov V.V.

Moscow Aviation Institute (National Research University)

© Corresponding author Vlasenko A. N. e-mail: svarka05@mati.ru

The work is devoted to the use of the Blend4Web environment as a tool for 3D visualization and animation of engineering solutions in Internet browsers.

Keywords: Blend4Web, WebGL, welding

В настоящее время необходимость визуализации инженерных решений появляется при решении различных прикладных задач, например, создание наглядных руководств по ремонту или эксплуатации оборудования, продвижение товаров на рынке, разработка учебных материалов и

т.д. При этом, как правило, в качестве объекта визуализации используется геометрическая модель конструкции, созданная в специальных средствах проектирования и используемая на различных стадиях жизненного цикла изделия, которая преобразуется в наиболее широко распространённые форматы передачи информации, в частности, созданные на основе web-технологий. Современные средства визуализации инженерной информации основаны на использовании специализированных программных продуктов, преобразующих геометрическую модель с заданной динамикой в формат, воспроизводимый наиболее широко распространёнными программами для просмотра, или экспортировании данных о геометрии изделия штатными средствами с последующей обработкой в специальных редакторах.

Первый способ преобразования геометрических моделей осуществляется за счёт использования дорогостоящих программных продуктов, например, таких как 3DVIA Composer, НЕО ЭКСПЕРТ.3D-АНИМАТОР и др., в составе которых имеются функции для создания анимированных сцен. Данный способ отличается лёгкостью создания объекта, однако, как правило, все динамические функции ограничиваются функционалом программы, что не позволяет обеспечить гибкость представления информации и создания вспомогательных анимированных объектов.

Второй способ является более универсальным, поскольку современные программы для работы с трёхмерными объектами, как правило, имеют более широкий функционал и позволяют обеспечить большую гибкость при формировании анимированных объектов. Вместе с этим процесс визуализации инженерной информации в этом случае осложняется отсутствием прямой передачи геометрии изделия из программ проектирования в редактор графики, что приводит к необходимости использования промежуточных сред для работы с графическими объектами.

В работе для визуализации инженерной информации рассматривалась возможность использования программной среды

Blend4Web, интегрированной с редактором трёхмерной графики Blender. Использование данных программных продуктов позволяет с одной стороны производить визуализацию трёхмерных объектов (их поворота на любой угол, приближения/удаления и др.), а с другой – создавать управляемую интерактивную нелинейную анимацию.

В качестве примера была рассмотрена задача визуализации процесса замены сварочного ролика на машине для контактной сварки МШН-3702. Предварительно в системе автоматизированного проектирования T-Flex была создана геометрическая модель консоли сварочной установки, которая в последующем была экспортирована в формат x3d (в среде Blend4Web также осуществляется поддержка формата obj).

Поскольку среда Blend4Web не имеет собственного графического интерфейса и в качестве элементов интерфейса обычно выступают трёхмерные элементы сцены, запрограммированные при помощи средств CSS3, HTML5 и библиотеки JavaScript, то в качестве базы для создания объекта использовалась программа Blender, которая связывалась со средой посредством установки плагина. После импорта трёхмерной геометрической модели в программу, производилась окончательное оформление модели для обеспечения наглядности и выделения ключевых элементов. Внешний вид полученной трёхмерной модели консоли сварочной машины МШН-3702 представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Оформленная геометрическая модель нижней консоли шовной низкочастотной машины типа МШН – 3702

Настройка анимации для визуализации

различных эффектов в среде Blend4Web осуществляется за счёт использования так называемых нодов, т.е. функциональных блоков, описывающих различные действия. Использование визуального программирования с помощью нодов позволяет создавать сложные сцены, в том числе и с элементами интерфейса, не прибегая к написанию непосредственного кода на JavaScript. При этом для создания интерактивной сцены необходимо задать расположение камеры, освещения, разместить объекты в сцене и наложить требуемые текстуры.

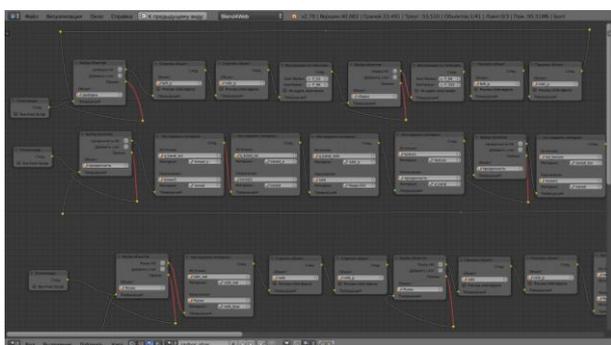


Рисунок 2. Фрагмент нодовой логики со схемой снятия ролика с нижней консоли шовной низкочастотной машины типа МШН – 3702

На рисунке 2 представлен фрагмент нодовой логики, описывающей анимацию снятия/установки ролика с нижней консоли (связанной с нажатием соответствующих кнопок «Разборка» и «Сборка»), а также наложение эффекта прозрачности на объекты сцены (для просмотра внутреннего устройства узла).

Полученная анимированная трёхмерная модель позволяет показать основные этапы замены ролика на машине для контактной сварки и проиллюстрировать последовательность действий. При этом с помощью

настройки прозрачности различных элементов модели можно акцентировать внимание пользователя на внутренних узлах изделия, на которые необходимо обратить внимание при изучении. Разработанная модель нашла применение при создании иллюстрированного пособия по контактной шовной сварке сильфонного узла компенсатора из нержавеющей стали.

На основании полученных результатов можно заключить, что использование среды Blend4Web может быть эффективно при визуализации инженерных задач, направленных на представление информации о функционировании или эксплуатации различных изделий. За счёт гибкости настройки возможно создание анимированных сцен различной сложности, обеспечивающее наиболее наглядное представление информации о рассматриваемом объекте.

Список литературы

1. Власенко А.Н., Степанов В.В. Использование WebGL в образовательном процессе при подготовке специалистов в области сварочного производства. Журнал "Дистанционное и виртуальное обучение", №12, 2016г., с.115-121.
2. Власенко А.Н. Использование интерактивных web-технологий в образовательном процессе при подготовке специалистов в области сварочного производства. Материалы XXVII международной конференции «современные информационные технологии в образовании», ИТО – Троицк – Москва, с.57-58, 2016 г.
3. Власенко А.Н. Применение интерактивных технологий при подготовке специалистов в области сварочного производства. Материалы XIV-й Международной научно-технической конференции «Быстрозакаленные материалы и покрытия». 29 – 30 ноября 2016 г. МАИ: Матер. конф. М.:ПРОБЕЛ-2000, 2016 г., с.317-321.

УДК 378.147

КОМПЛЕКС ТРЕНИРУЮЩИХ ПРОГРАММ «СХЕМА»

Журавлев В.А., к.т.н., доцент, директор ЦПК ИДО;

Лабузова Л.П., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Журавлев В.А. e-mail: isde@rambler.ru

В статье обобщается опыт кафедры АПМОВС по разработке и внедрению современных компьютеризированных учебных процессов. Наиболее полное развитие такой подход нашел в методике “flipped learning”. Эта методика базируется на полном комплекте видеолекций-объяснений и тренирующих программ по каждому изучаемому предмету. Кроме того, для ее успешного использования должны быть внесены соответствующие изменения в организацию учебного процесса ВУЗа.

Ключевые слова: современный учебный процесс, профессиональное обучение, видеолекции, тренирующие программы, flipped learning (перевернутое обучение)

SET OF TRAINING PROGRAMS “SCHEMA”

Zhuravlev V. A.;

Labuzova L.P.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author Zhuravlev V.A. e-mail: isde@rambler.ru

This article generalizes the experience of the chair APMOVС in development and implementation of modern computerized educational programs. The best example of this approach is technology called “flipped learning”. This method bases on complete set of video lectures and training programs for each subject. Besides, for its successful use some changes in the organization of educational process should be made.

Key words: modern educational program, professional learning, video lectures, computer training programs, flipped learning

Двадцать пять лет назад на кафедре ИТ-4 (ВТ-4, АПМОВС) МИП (МГАПИ,

МГУПИ, МТУ) началась разработка электронных ресурсов для современных компьютеризированных учебных процессов высшего профессионального технического образования.

Первоначально предполагалось, что необходимые, но достаточно краткие объяснения для начала работы с тренирующими программами студенты будут получать в форме «живых» лекций или (и) электронных текстов. С самого начала отвергалась идея модных в то время громоздких электронных учебников, передававших компьютеру управление учебным процессом. Основными целями уже тогда были повышение производительности труда преподавателя и повышение качества образовательных услуг с выходом на индивидуальные образовательные траектории.

Комплекс тренирующих программ передавался студентам на одной дискете 3,5 дюйма. Предпринимались попытки записи видеолекций в аналоговом формате, но это оказалось неудобно из-за сложности тиражирования. В современном виде комплекс содержит тренирующие программы по шести предметам: «Электроника», «Логические функции», «Цифровая схемотехника», «Двоичная арифметика», «Микропроцессорные системы», «Основы алгоритмизации».

Тренирующая программа «Электроника». Программа содержит 4 раздела, общее число заданий – 81.

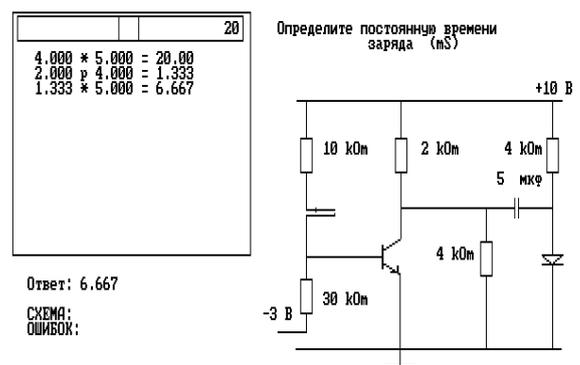


Рис.1. Рабочий экран тренирующей программы «Электроника»

Тренирующая программа «Цифровая схемотехника». Программа содержит 4 раздела, общее число заданий – 127, с несколькими вариантами по каждому зада-

НИЮ.

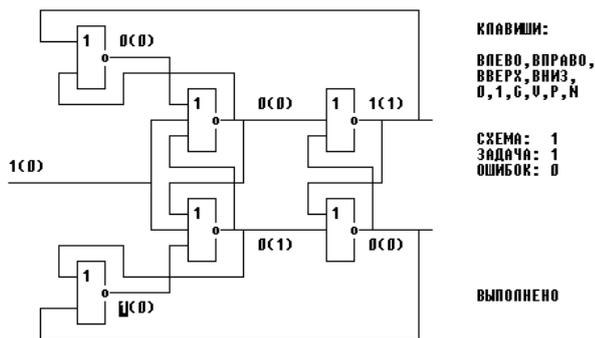


Рис.2. Рабочий экран тренирующей программы «Цифровая схемотехника»

Тренирующая программа «Микропроцессорная система». Программа содержит 5 разделов, общее число заданий – 231.

МИКРОПРОЦЕССОР ДО ВЫПОЛНЕНИЯ КОМАНДЫ: ПЕРЕПРЫВАНИЕ: 0 NZ H P C А: 11011010 0А: 10000000 80 В: 01000100 44 С: 00000000 00 В: 01000100 44 С: 00000000 00 D: 00000000 00 E: 00000000 00 D: 00000000 00 E: 00000000 00 F: 00000000 00 L: 00000000 00 F: 00000000 00 L: 00000000 00 H: 00000000 00 SP: 00001111 10011011 07 98 SP: 00001111 10011011 07 98 PC: 00000101 01101010 05 6A		КОМАНДЫ АДР. КОД ИМЕННИКА 04F9 7C 04FA 05 04FB 3E 04FC 96 04FD 06 04FE 44 04FF 8D 0500 D2 * JNC 0501 6A 01101010 0502 05 0503 3E 0504 8E 0505 06 0506 E5 0507 8D 0508 DA 0509 4E 050A 05
ЗАДАНИЕ: 1 ЗАДАНИЕ: 1 ОШИБОК:	ПАМЯТЬ ДО: АДР. ПОСЛЕ: 11001001 C9 0000 11001001 C9 00000000 00 0001 00000000 00 00000000 00 0002 00000000 00 00000000 00 0003 00000000 00 00000000 00 0004 00000000 00 00000000 00 0005 00000000 00	УСТРОЙСТВА В/В ДО: АДР. ПОСЛЕ: 00010101 15 00 00010101 15 01010000 50 01 01010000 50 10101000 A8 02 10101000 A8
Команда JNC (02h) (PC) <- (PC)+3; При условии Z=0 пе- реход к выполнению ко- манды с адресом B3,B2: (PCL) <- (B2); (PCN) <- (B3) Индикаторы -----	ПЕРЕПРЫВАНИЕ ДО: АДР. ПОСЛЕ: 11001001 C9 0000 11001001 C9 00000000 00 0001 00000000 00 00000000 00 0002 00000000 00 00000000 00 0003 00000000 00 00000000 00 0004 00000000 00 00000000 00 0005 00000000 00	КОМАНДЫ АДР. КОД ИМЕННИКА 04F9 7C 04FA 05 04FB 3E 04FC 96 04FD 06 04FE 44 04FF 8D 0500 D2 * JNC 0501 6A 01101010 0502 05 0503 3E 0504 8E 0505 06 0506 E5 0507 8D 0508 DA 0509 4E 050A 05

Рис.3. Рабочий экран тренирующей программы «Микропроцессорная система»

Тренирующая программа «Основы алгоритмизации». Программа содержит 6 разделов, общее число заданий – 128.

ПОИСК БЛИЖАЙШЕГО ЗНАЧЕНИЯ В МАССИВЕ ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ПОИСКА 3.6 БЛИЖАЙШЕЕ ЗНАЧЕНИЕ 4 НАЙДЕНО ПОД НОМЕРОМ 3 ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ОБРАЗЦА - .4 Break in 150 Ok	<pre> 10 CLS: PRINT "ПОИСК БЛИЖАЙШЕГО "; 20 PRINT "ЗНАЧЕНИЯ В МАССИВЕ": PRINT 30 FOR I=1 TO 5: READ A(I): NEXT I 40 DATA 2,7,4,2,6 50 INPUT "ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ПОИСКА ",B 60 D=ABS(A(1)-B): N=1 70 FOR I=2 TO 5 80 V=ABS(A(I)-B) 90 IF V<D THEN D=V: N=I 100 NEXT I 110 PRINT 120 PRINT "БЛИЖАЙШЕЕ ЗНАЧЕНИЕ";A(N) 130 PRINT "НАЙДЕНО ПОД НОМЕРОМ";N 140 PRINT "ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ОБРАЗЦА "-:D 150 PRINT "ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ОБРАЗЦА "-:D </pre> Данные для ввода: 3.6 Задача: Ошибка: ЗАДАЧА РЕШЕНА																				
<table border="1"> <tr> <td>В</td> <td>В</td> <td>И</td> <td>Н</td> <td>В</td> </tr> <tr> <td>3.6</td> <td>.4</td> <td>6</td> <td>3</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>A(1)</td> <td>A(2)</td> <td>A(3)</td> <td>A(4)</td> <td>A(5)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>6</td> </tr> </table>	В	В	И	Н	В	3.6	.4	6	3	2.4	A(1)	A(2)	A(3)	A(4)	A(5)	2	7	4	2	6	
В	В	И	Н	В																	
3.6	.4	6	3	2.4																	
A(1)	A(2)	A(3)	A(4)	A(5)																	
2	7	4	2	6																	

Рис.4. Рабочий экран тренирующей программы «Основы алгоритмизации»

Опыт использования программ комплекса в учебном процессе в значительной степени лег в основу полной и всесторонне разработанной концепции организации современных учебных процессов технического бакалавриата. Появление доступных мультимедийных компьютеров, удобных и информативных технологий сетевого общения, переход на двухуровневую систему высшего образования позволили совершенствовать компьютеризированные учебные процессы и окончательно сформировать концепцию их использования в бакалавриате. К настоящему моменту опыт такого использования опирается на 3006 электронных лекционных плакатов, 5604 Мб видеолекций типа говорящая доска (примерно 2-3 Мб на 1 минуту), 563 задания тренирующих программ. К предметам, охваченным компьютеризированными учебными процессами, добавились «Защита информации», «Источники питания», «Основы сетей».

Точная и полная концепция организации и реализации современных компьютеризированных учебных процессов технического бакалавриата основана на четком представлении о том, зачем студент учится в бакалавриате, о месте мультимедийного компьютера и технологий сетевого общения в учебном процессе, о целях и социальных задачах самого бакалавриата [1]. В соответствии с этой концепцией в современных условиях особенно актуален переход на учебные процессы типа “flipped learning”, но это требует значительных изменений в организации высшего образования.

Список литературы

4. 1. Журавлев В.А., Лабузова Л.П., Степанова И.В. О внедрении методики «Flipped learning» в учебный процесс вуза // Вестник МГТУ МИРЭА, №3, 2015, том II, С. 56-63

УДК 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА УЗЛОВ С AUTODESK INVENTOR

Альшакова Е.Л., к.т.н., доцент;
Альшакова Е.А., студент

*Юго-Западный государственный универси-
тет, Курск, 305040, Россия*

*© Автор для переписки: Альшакова Е.Л. e-mail:
alshakova_el@mail.ru*

Рассматривается разработка и инженерный анализ изделия «Насос густой смазки». Для проектирования изделия используется программный продукт САПР Autodesk Inventor, реализующий технологию цифровых прототипов. Применение единой цифровой модели на каждом этапе жизненного цикла изделия позволяет продвигать инновации, обеспечивает высокое качество изделия, сокращение сроков выхода изделия на рынок.

Ключевые слова: технология цифровых прототипов, 3D проект, инженерный анализ, рабочая документация проекта

EXPLORING THE POSSIBILITY OF DESIGNING AND CALCULATING UNITS WITH AUTODESK INVENTOR

Alshakova E.L.;
Alshakova E.A.

Southwest State University, Kursk, Russia

*© Corresponding author e-mail: e-mail:
alshakova_el@mail.ru*

The development and engineering analysis of the product "Pump grease" is considered. Autodesk Inventor software, which implements Digital Prototyping technology, is used to design the product. The use of a single digital model at every stage of the product lifecycle allows to drive innovation, achieve high quality product, reducing time to market.

Key words: Digital Prototyping technology, 3D CAD design, engineering analysis, project documentation

Создание проектов, направленных на

разработку и производство узлов и изделий, включающих подготовку в кратчайшие сроки необходимой конструкторской документации проектируемых изделий, анализ изделий, проведение прочностных и кинематических расчетов, в условиях современного уровня развития техники и компьютерных средств проектирования осуществляется с использованием 3D технологий проектирования, среди которых можно выделить технологию цифровых прототипов, реализуемую программным продуктом САПР Autodesk Inventor.

Технология цифровых прототипов применяется в машиностроении и промышленном производстве и позволяет уменьшить затраты на технологическую подготовку производства, спроектировать необходимую оснастку для производства изделия, сократить затраты на стадии подготовки производства, сроки разработки нового изделия и запуск его в производство, уменьшить себестоимость продукции.

В работе создается модель прототипа насоса густой смазки в программе Autodesk Inventor. Насос густой смазки представляет собой двухплунжерный нагнетательный насос, который является основной сборочной единицей станции для автоматической подачи густой смазки к трущимся поверхностям механизмов через определенные промежутки времени, соответствующие принятому режиму смазывания. Цифровая 3D модель создавалась по чертежам деталей, входящих в состав сборочной единицы «Насос густой смазки», имелось описание сборочной единицы с указанием назначения и порядка сборки, а также аксонометрический чертеж сборочной единицы [1].

Для проектирования и инженерного анализа изделия был выбран Autodesk Inventor, т.к. данный программный продукт обеспечивает простое построение сложных 3D моделей деталей и сборок за счет наличия инструментов выдавливания и вращения, лофтинга – генерации объектов, имеющих различные сечения, расположенные вдоль пути, сдвига – создания геометрии указанием контура и направления, инструментов редактирования, позволяющих заменить плоскую грань поверхностью любой

С помощью динамического моделирования проанализировано взаимодействие между компонентами сборки. Выполнены расчеты на прочность и собственные частоты в программе Autodesk Inventor.

Преимущества в подготовке производства и выпуске нового изделия при применении технологии цифровых прототипов обеспечиваются за счет использования единой информационной модели изделия и общей информационной среды проекта.

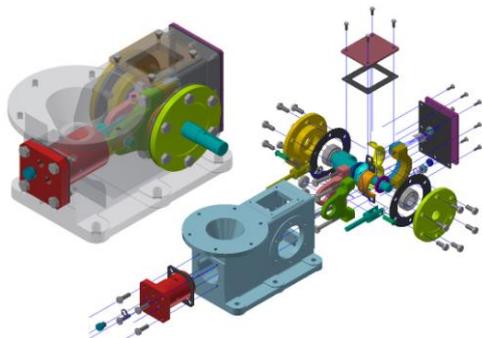


Рис. 2. Схема «Насос густой смазки»
Autodesk Inventor

Список литературы

1. Юрин В.Н. Компьютерный инжиниринг в инженерном образовании: эволюция // Труды XXII Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». В 3-х томах. М.: Издательский дом МЭИ, – 2014. – Т. 2. – С. 102 – 108.
2. Алышаква Е.Л. Технология цифровых прототипов: модель, инженерный анализ, документация, совместная работа // Сборник научных трудов: материалы Международной научно-технической конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и образовании». Выпуск 2 (XXII) / Под редакцией д.т.н., проф. Кондратенко В.С. – М.: Московский технологический университет, 2016. – С. 214 – 217.
3. Алышаква Е.Л. Технологии разработки и использования компьютерных моделей в обучении конструкторско-технологической подготовке производства // Труды XXII Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». В 3-х томах. М.: Издательский дом МЭИ, – 2014. – Т. 2. – С. 17 – 25.

УДК 535.62 + 621.793.1 + 681.7.064

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ СИНТЕЗА МНОГОСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Науменко Ж.Н., магистр;
Сагателян Г.Р., д.т.н., профессор

Кафедра РЛ6 "Технологии приборостроения"
Московского государственного технического
университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
105005

© Автор для переписки: Науменко Ж.Н.,
nazhnaumenko@gmail.com

Работа посвящена разработке программы, способной производить расчёт многослойных оптических покрытий для повышения дифракционной эффективности ДОЭ и ГОЭ, а также для изготовления эталонов цвета.

Ключевые слова: голографический оптический элемент, дифракционный оптический элемент, многослойное оптическое покрытие, программный алгоритм, MatLab.

DEVELOPMENT OF THE PROGRAM FOR SYNTHESIS OF MULTILAYER OPTICAL COATINGS

Naumenko Zh.N.;
Sagatelyan G.R.

Bauman Moscow Technical University. Department of Instrument Technology

© Corresponding author e-mail:
nazhnaumenko@gmail.com

The work is devoted to the development of a program capable of calculating multi-layer optical coatings for increasing the diffraction efficiency of holographic optical element and diffractive optical element, as well as for the production of color standards.

Key words: holographic optical element, diffractive optical element, multilayer optical coating, program algorithm, MatLab.

Задача прогнозирования оптических свойств интерференционных покрытий, а также создания покрытий с заданными свойствами является одной из важнейших для современного оптического приборостроения, так как характеристики оптических покрытий во многом определяют характеристики создаваемых систем.

Голограммные оптические элементы (ГОЭ) и дифракционные оптические элементы (ДОЭ) являются перспективными изделиями современной ОЭП, однако применение многослойных оптических покрытий для улучшения дифракционной эффективности этих изделий до сих пор не рассматривалось.

Кроме того, многослойные диэлектрические покрытия могут быть использованы в качестве эталонов цвета для повышения адекватности и достоверности изображения при их автоматической обработке с помощью светофильтров.

Расчёт спектральных характеристик сложных многослойных оптических покрытий, сравнение получаемых характеристик, вывод статистик и определенных зависимостей является трудоёмкой задачей, решить которую можно только численными

методами, используя программное обеспечение, которое будет оснащено необходимой библиотекой оптических материалов и на основе известных входных данных (количество слоёв, материалы слоёв, угол падения излучения, опорная длина волны, материал подложки) будет выполнять функции расчёта и анализа спектральной характеристики.

На данный момент существует ряд программных продуктов, решающих задачу анализа и синтеза оптических покрытий, например, «МультиСпектр» (ООО Эссент-Оптикс», Беларусь), «Optilayer Thin Film Software» (МГУ им. М.И. Ломоносова, Россия), «THE ESSENTIAL MACLEOD» (США), TFCalc (США). Использование данных программ является платным и рационально в условиях установившего серийного производства.

В качестве учебного стенда для проведения поисковых научно-исследовательских, лабораторных работ и практик предлагается программа расчёта многослойных покрытий, разработанная в программной среде Matlab.

Программа имеет простой и удобный интерфейс и позволяет рассчитывать спектральную характеристику (отражение и пропускание) многослойных покрытий различного состава слоёв и толщин (рис.1).

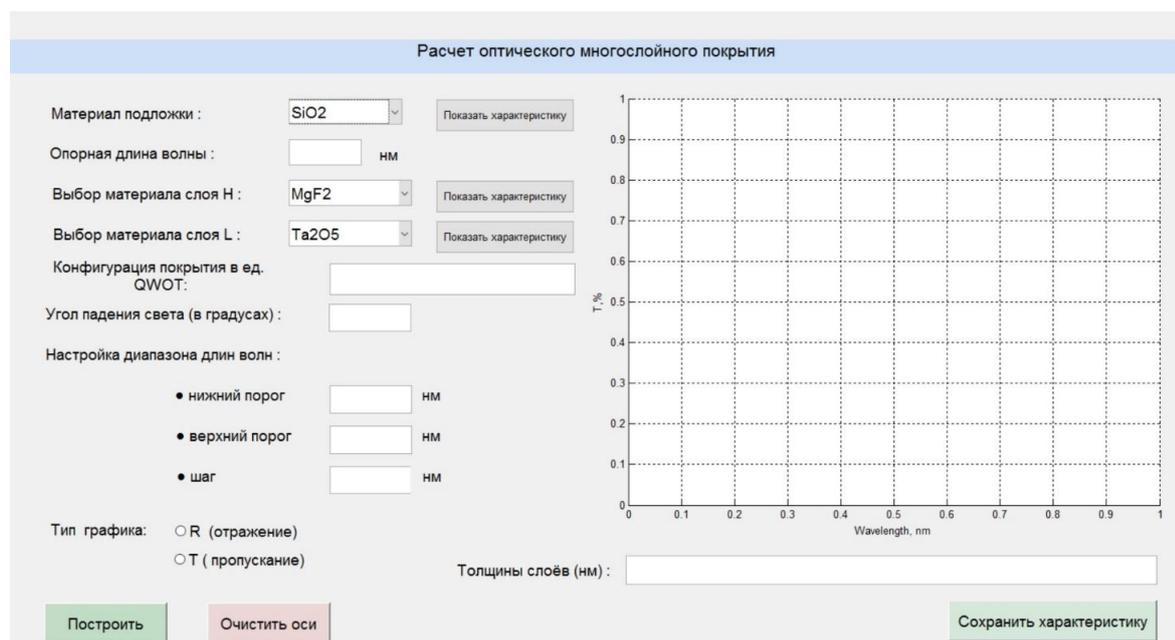


Рис.1. Рабочий интерфейс программы расчёта многослойных оптических покрытий

Ввод исходных данных покрытия производится через блок полей ввода информации, расположенный справа.

Поля «Материал подложки», «Выбор материала слоя Н» и «Выбор материала слоя L» позволяют выбирать материал для подложки, слоя с высоким показателем преломления материала и низким соответственно. В базе материалов содержится информация о дисперсии и коэффициенте поглощения материала в зависимости от длины волны падающего света. Кнопка «Показать характеристику» позволяет отобразить эту информацию в виде графика в отдельном окне вывода.

Поля «Опорная длина волны», «Угол падения света», «Настройка диапазона длин волн» заполняются вручную в указанных единицах измерения.

В поле «Конфигурация покрытия» вводится информация о составе покрытия, выраженная в единицах QWOT и представленная в численно-буквенном виде, например, HLHL2HL1.4HLHLH.

Поле «Тип графика» позволяет выбрать тип спектральной характеристики (отражение или пропускание) или строить два типа графика одновременно.

Вывод характеристик покрытия производится после нажатия кнопки «Построить» через блок полей вывода информации, расположенный слева (вывод графика спектральной характеристики и физических толщин слоёв, выраженных в нанометрах).

Кнопка «Сохранить характеристику» позволяет автоматически сохранять изображение графика в формате .bmp, а данные покрытия записывать в файл Excel. Чтобы очистить оси и приступить к построению новой характеристики необходимо нажать кнопку «Очистить оси».

В качестве примера корректной работы программы представлено сравнение спектральных характеристик одного и того же фильтрующего многослойного оптического покрытия (13 слоёв, материалы ZnSe и Na₃AlF₆), одна из которых была получена с помощью компьютерного моделирования разработанной программой, а другая - путем измерения реально существующего покрытия, созданного методом электрон-

но-лучевого напыления в лабораторных условиях с помощью вакуумной установки ВУ-1, АО "Научно-производственное предприятие "Геофизика-Космос" (рис.2).

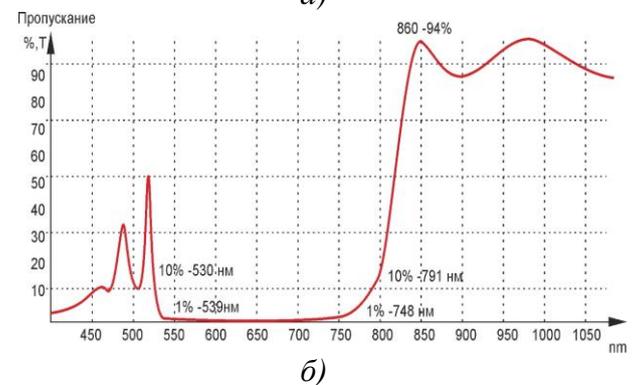
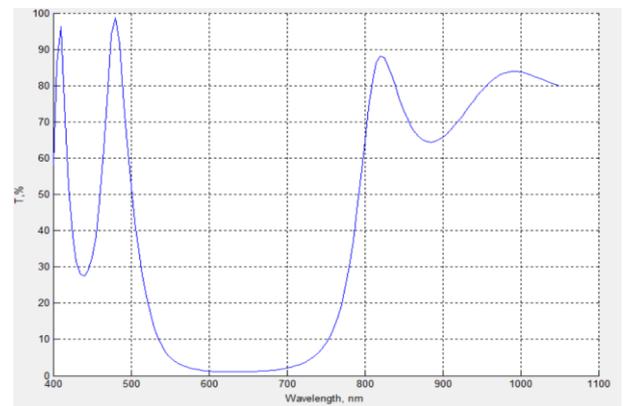


Рис.2. Спектральная характеристика фильтрующего покрытия, рассчитанная программой (а); характеристика, полученная экспериментальным путем (б)

Из графиков видно, что общий вид спектральных характеристик практически совпадает, что свидетельствует о возможности использования программы для предварительного расчёта многослойных оптических покрытий. Различия в графиках свидетельствуют о наличии технологических погрешностей напыления покрытий, влияние которых на внешний вид спектральной характеристики требует тщательного изучения и может быть произведено с помощью представленной программы, после её усовершенствования.

Список литературы

1. Sh. Furman and A.V.Tikhonravov, "Basics of optics of multilayer systems", Editions Frontiers, Gif-sur Yvette, 1992, 242 p.
2. Гайнутдинов И.С., Несмелов Е.А., Хайбулин И.Б. Интерференционные покрытия для

оптического приборостроения изд. ФЭН, Казань, 2002, с.592

3. Одинокое С.Б., Сагателян Г.Р., Колочкин В.В., Соломашенко А.Б. Создание фазовых голограммных оптических элементов с применением контактной фотолитографии. – Естество-

ственные и технические науки. №6, 2013, с. 286-288

4. Программа анализа и синтеза многослойных покрытий "OptiLayer": www.optilayer.com.

УДК 629.113

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФРИКЦИОННОГО СЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА РАБОТЫ БУКСОВАНИЯ

Галевский Е.А., д.т.н., профессор

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@ Автор для переписки: Галевский Е.А. e-mail: galev1938@yandex.ru

В статье приводится сравнительный анализ результатов расчёта работы буксования при включении дисков фрикционного сцепления. Рассматривается двухмассовая математическая модель с постоянными силовыми факторами: крутящим моментом двигателя, моментом фрикционного сцепления с учётом переменных силовых факторов, представленными экспоненциальными функциями. В материалах статьи предлагается использовать трехмассовую модель с упругой связью между ведомым диском и массой транспортного средства.

Ключевые слова: двухмассовая модель, трёхмассовая модель, работа буксования

A MATHEMATICAL MODEL OF A FRICTION CLUTCH FOR CALCULATION WORK OF SLIPPING

Galewski E. A.

Moscow technological University. Physico-technological Institute

@ Author for correspondence: Galewski E. A. e-mail: galev1938@yandex.ru

The article provides a comparative analysis of the results of the calculation work of slipping when enabled, drives the friction clutch. Considered two-mass mathematical model

with fixed power factors: engine torque, torque of the friction clutch with variable power factors, which are represented by exponential functions. The article proposes to use trehmatchevuyu model with an elastic connection between the driven disk and the mass of the vehicle.

Key words: single-model, tremasova model, the work of slipping

Фрикционное сцепление один из наиболее нагруженных узлов механической трансмиссии автомобиля. Достаточно упомянуть, что при движении в мегаполисах с его многочисленными остановками и разгонами транспортного средства (ТС) число только включений составляет от 150 до 200 раз на 100 км пути. Известно, что разгон массы автомобиля сопровождается выделением определённой энергии, которая на профессиональном языке называется *работой буксования*. Выделение этой энергии связано с пробуксовкой фрикционных дисков, что является способом передачи усилия при помощи явления трения. Поиск при помощи математических моделей уменьшить эту величину или, по крайней мере, наиболее точно определить количественную величину этой работы связано с усовершенствованием расчётных схем, т.е. математической модели. Классической моделью по определению работы буксования при разгоне массы автомобиля является двухмассовая модель без упругой связи между массами (рис. 1).

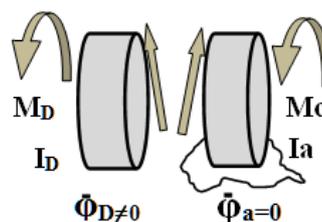


Рис. 1 Двухмассовая математическая модель

Для этой модели принято считать – силовые факторы: момент двигателя, момент сопротивления движению, момент трения фрикционной муфты постоянны и параметрам присваиваются наибольшие значения [1]. В подавляющем большинстве расчётов силовые параметры, инерционные массы приводятся к выходному валу двигателя. Математическое описание процесса пробуксовки фрикционных элементов состоит из двух дифференциальных уравнений второго порядка с разделяющимися переменными. Последнее позволяет достаточно просто получить аналитическое выражение как времени буксования, так и непосредственно самой величины работы буксования. Наряду с классической, двух-массовой моделью фрикционного сцепления существуют и эмпирические зависимости, полученные на основе статистической обработки значительного числа экспериментальных результатов исследований. Недостатком таких зависимостей является два обстоятельства: первое – это результаты принадлежат одной или нескольким компаниям, производящих определенный класс автомобилей, второе – невозможность надёжного прогнозирования результатов расчёта при широком изменении параметров трансмиссий транспортных средств. Рассмотрим возможность перехода к более точным математическим моделям работы фрикционного сцепления с введением в расчётную модель переменных силовых факторов: двигателя и момента трения в муфте сцепления – первая модификация и введения в расчётную схему упругой связи между ведомым диском и массой автомобиля приведенной к вращательному движению – второе изменение в предлагаемой модели. Предполагается

$$\begin{aligned} \varphi_D &= (M_D^0 \cdot (\exp(a \cdot t) - 1)) / I_D - (M_f^0 \cdot \exp(a \cdot t - 1)) / I_D \\ \ddot{\varphi}_1 - K_\Sigma / I_1 \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_a) - C_\Sigma / I_1 \cdot (\varphi_1 - \varphi_a) &= (M_f^0 \cdot \exp(a \cdot t - 1)) / I_1 \quad (2) \\ \ddot{\varphi}_a + K_\Sigma / I_a \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_a) + C_\Sigma / I_a \cdot (\varphi_1 - \varphi_a) &= -M_c / I_a, \end{aligned}$$

где I_1, I_D, I_a - моменты инерции вращательных масс в кг*м², $\ddot{\varphi}_D, \ddot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_a$ – независимые координаты ускорений, скоростей, угловых перемещений в с⁻², с⁻¹, рад. соответственно;

провести сравнительный анализ по всем трём моделям при подсчёте величин работы буксования. Изменение силовых факторов запишем через экспоненциальную функцию и для момента двигателя и фрикционного сцепления.

$$\begin{aligned} M_D &= M_D^0 \cdot (\text{EXP}(a \cdot t) - 1); \\ M_f &= M_f^0 \cdot (\text{EXP}(a \cdot t) - 1), \quad (1) \end{aligned}$$

где M_D^0 разность между максимальным моментом двигателя и начальной точкой в момент включения фрикционных дисков, задаваемой при расчёте; M_f^0 - расчётная величина равная коэффициенту запаса $\beta=1.8$ умноженному на максимальный момент двигателя 402 Н*м.; коэффициент $a=0,69314718$ предполагает, что при пробуксовке дисков до одной секунды величины момента двигателя и фрикционного сцепления (ФС) не превысят предельных значений. Введение в модель переменных силовых факторов усложняет определение времени буксования дисков и подсчет работы буксования, так как приходится решать трансцендентное уравнение, с применением численных методов, для времени буксования и вычислять сложный интеграл для работы буксования. На (рис. 2) приведена трёхмассовая математическая модель с упругой связью между массами. Запишем дифференциальные уравнения движения инерционных масс под действием моментов: двигателя, ФС и от дорожного покрытия.

$M_D(t), M_f(t), M_c$ в Н*м – структура которых определена выше, кроме M_c . Процесс пробуксовки дисков ФС редко превышает временной диапазон в 1.. ю1,5 с., что позволяет задавать величину сопро-

тивления движению автомобиля постоянным значением.

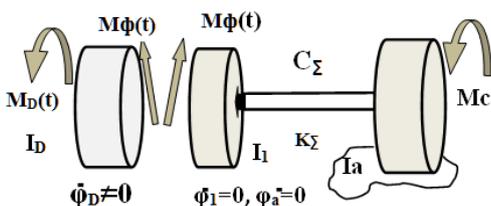


Рис. 2 Трёхмассовая математическая модель фрикционного сцепления

По принятой методике ГОСТ рекомендовано вычислять работу буксования на первой передаче и проводить подтверждающий расчёт на второй передаче. Чтобы показать влияние на величину работы буксования выбора математической модели ФС были выполнены расчёты для первой модели с постоянными силовыми факторами по методике, приведенной в работах [1,2], и далее с переменным силовым воздействием – вторая модель учитывающая упругую связи между массами (рис. 2). За прототип были выбраны параметры автомобиля ЗИЛ-130-76 со следующими числовыми значениями: масса ТС – 10525 кг; величины моментов инерции I_1, I_D, I_a соответственно 1,01; 0,065; 1,19 кг*м²; обобщенный коэффициент сопротивления качению $f_0 = 0.02$; начальная угловая скорость обобщенного маховика двигателя $\varphi_D^0 = 201,06$ 1/с, что соответствует 60% от угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя в 3200 мин⁻¹ при максимальной мощности; максимальный момент силового агрегата – 402 Н*м; начальный момент двигателя при котором начинается включение дисков 120Н*м ; при общем передаточном числе трансмиссии на первой передаче в 47,0208; первой собственной частоте колебаний масс трансмиссии равной 1,2 Гц , что соответствует приведенной к валу двигателя крутильной жесткости в 123,64 Н*м/рад., неупругого сопротивления (пунктир) ведомых (сплошная) частей ФС в 1,23 Н*м*с. На (рис.3) приведены графики изменения силовых факторов и угловых скоростей двигателя и ведомых частей, имитирующих инерцион-

ную массу автомобиля и ведомого диска.

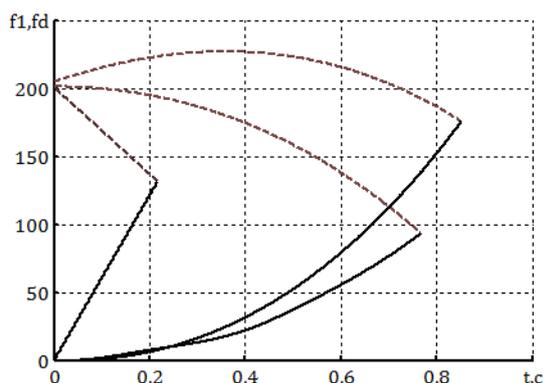


Рис. 3 Изменения угловых скоростей для ведущих

Расчёты проводились с использованием вычислительной среды МАТЛАБ и при применении “решателя” Рунге-Кутта для системы дифференциальных уравнений (2). Результаты расчётов занесены в (Таблицу 1). Полученные величины имеют достаточный разброс, что свидетельствует о необходимости совершенствовать математическую модель ФС.

Таблица 1

Результаты расчётов

Тип модели	Время буксования	Работа буксования	C_{Σ} , Н*м/рад
Двухмассовая M_D, M_{Φ}, M_C -const	0,2171 с.	15795 Дж.	--
Двухмассовая M_D, M_{Φ}, M_C - var.	0,9401 с.	26880 Дж.	--
Трёхмассовая M_D, M_{Φ}, M_C - var.	0,768 с.	17871 Дж.	

Список литературы

1. Проектирование полноприводных колёсных машин. Учебник для вузов: в 3т. Т.2/ Б.А. Афанасьев, Л.Ф. Жеглов, В.Н. Зузов и др.: под ред. А.А. Полуняна. -М.: Изд-во МГТУ им Баумана, 2008, -528 с.
2. Лукин П.П., Гаспарянец Г.А., Родионов В.Ф. Конструирование и расчёт автомобиля. М.: Машиностроение, 1984. -306 с.

УДК 543.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭНЕРГОБЛОКОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Гордеева Г.В.^{1,2}, старший преподаватель каф. ФТ-5; ведущий инженер по метрологии

Базанов А.О.², электрослесарь по обслуживанию автоматики и средств измерений электростанций

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²ТЭЦ-23 - филиал ПАО "Мосэнерго"

© Автор для переписки: Гордеева Г.В. e-mail: GordeevaGV@mosenergo.ru, lamia88@gmail.com

Работа посвящена автоматизации измерения и анализа измерений параметров водно-химического режима энергоблоков на электростанциях. Представлена структура, состав и преимущества автоматизированной системы управления.

Ключевые слова: водно-химический режим, водоподготовка, автоматизация измерений

AUTOMATION OF CHEMICAL-TECHNOLOGICAL MONITORING OF WATER-CHEMICAL REGIME OF THE POWER PLANTS

Gordeeva, G.V.^{1,2};
Bazanov A.O.²

¹Institute of physics and technology, Moscow technological University

²CHPP-23 - a branch of OAO Mosenergo

© Author for correspondence: G. V. Gordeev e-mail: GordeevaGV@mosenergo.ru, lamia88@gmail.com

The work is dedicated to automation of measurement and analysis measurements of water chemistry in power units at power plants. The structure, composition and benefits of an

automated system to control any.

Key words: water chemistry, water treatment, automation of measurements

Как известно, источниками тепла, электричества, горячей воды в жилых домах и многих производствах и организациях являются различные тепло- и электрогенерирующие предприятия: ТЭС, ТЭЦ, ГЭС, ГРЭС, КТС, РТС и т.п.

Для того, чтобы отдать на нужды потребителей достаточное и необходимое количество энергоресурсов типовая ТЭЦ ежедневно потребляет значительные объемы первичных энергетических ресурсов: горючего топлива и воды.

Технология процесса выработки электрической энергии базируется на преобразовании тепловой энергии сжигаемого топлива (например, природного газа, мазута, угля) в потенциальную энергию насыщенного водяного пара, которая в свою очередь переходит в кинетическую энергию лопаток турбоагрегата и, наконец, в электрическую энергию на выходе с генератора.

С целью экономичного использования водных ресурсов система подачи и использования воды закольцована и представляет собой, так называемую циркуляционную систему (рисунок 1).

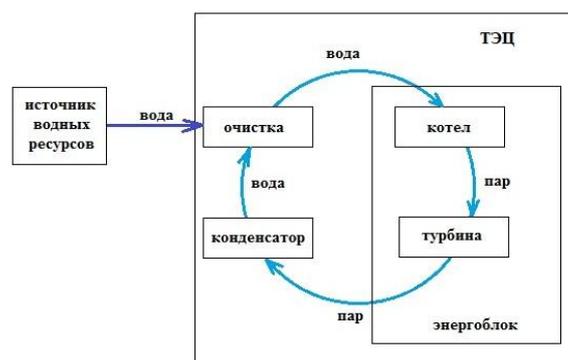


Рис. 1. – упрощенная схема циркуляции технической воды на ТЭЦ

Как видно из рисунка 1, циркулирующая вода многократно подвергается воздействию высоких температур и переходам из одного агрегатного состояния в другое. Побочным эффектом такого техно-

логического процесса является ухудшение качества воды – увеличивается ее солесодержание за счет частичного упаривания. Использование воды ненадлежащего качества приводит к ускоренному износу основного оборудования: отложение солей на внутренних поверхностях нагрева является причиной коррозии металлов, а следовательно, и их повреждений – трещин, свищей, прорывов и т.д.

Для поддержания качества воды и оборудования на электростанциях строго регламентируется водно-химический режим (ВХР). Его целью является своевременное, оперативное выявление любых отклонений и не соответствий показателей качества воды от установленных для данного ВХР норм, а также установление причин этих отклонений с целью принятия мер по их ликвидации.

Весь объем химического контроля над тестируемыми потоками, как правило, обеспечивается ручным анализом, осуществляемым оперативной химической лабораторией для определения содержания в воде продуктов коррозии и ряда корректирующих присадок, для установления источника загрязнения при нарушении ВХР. Ручным анализом нарушение качества контролируемого потока может быть обнаружено (в среднем) через 6 часов. Поиск причин занимает 24 часа, устранение нарушения, восстановление регламентного режима ВХР в среднем 6 часов, кроме аварийных случаев. Общая продолжительность устранения нарушения – в среднем 36 часов.

В связи со значительными временными затратами и для более оперативного управления ВХР была внедрена автоматизированная система управления технологическими процессом ВХР (АСУ ТП ВХР), которая выполняет функции оперативного комплексного автоматизированного контроля, анализа, диагностики и прогнозирования ВХР энергоблока во всех режимах их работы. Автоматический непрерывный химический контроль ведется за регулируемые показатели качества воды: электропроводностью самого теплоносителя, электропроводностью Н-катионированной пробы, значением рН,

содержанием кислорода, содержанием натрия и т.д.

АСУ ТП ВХР представляет собой многоуровневую информационно-измерительную систему. В основе работы лежит применение современных, высокоинтеллектуальных датчиков химического контроля:

- кислородомер КМА-08М (для измерения концентрации растворенного кислорода в водном теплоносителе);

- кондуктометр-солемер КАЦ-037 (для измерения параметров обессоленной воды и водных растворов низких концентраций);

- анализатор натрия АН-012М (для непрерывного измерения концентрации ионов натрия в обессоленной воде или водных растворов в установках водоподготовки и технологическом оборудовании);

- рН метр рН011М (для автоматического непрерывного измерения активности ионов водорода (рН) и окислительно-восстановительных потенциалов в воде и водных растворах);

- анализатор кислорода в дымовых газах ТДК-3М (для непрерывного измерения объемного содержания кислорода в дымовых газах).

Обобщенная упрощенная структурная схема АСУ ТП ВХР представлена на рисунке 2.

АСУ ТП ВХР позволяет в режиме реального времени оперативно контролировать ВХР, что дает возможность своевременного устранения его возникающих отклонений, приводя к уменьшению повреждаемости поверхностей нагрева и снижению аварийности на энергоблоках, что в свою очередь позволяет экономить финансовые средства на ремонт оборудования.

Постоянная запись архива на электронный носитель позволяет сократить объем бумажных журналов, что дает возможность быстрее разобраться в причине аварии или аварийного останова энергоблока по причине нарушения ВХР и принять соответствующие меры. Кроме того, налицо эффект сокращения доли человеческого фактора за счет значительной автоматизации контроля ВХР.

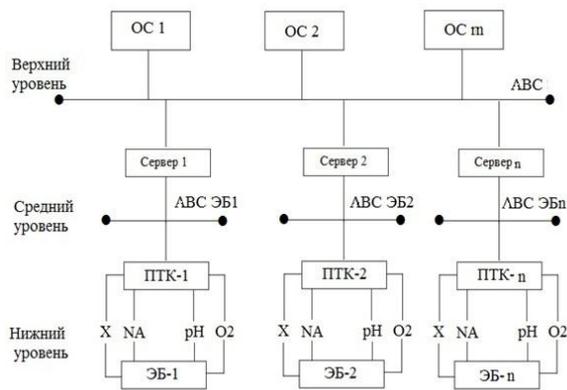


Рис. 2. – Упрощенная структурная схема АСУ ТП ВХР: ЭБ-1,2, n – энергоблоки; ПТК-1,2, n – программно-технические комплексы энергоблоков; X, NA, pH, O₂ – контролируемые параметры ВХР; АВС – локальные вычислительные сети; n – количество энергоблоков; ОС – операционная станция; m – количество операционных станций

В заключении еще раз отмечу, что автоматизация мониторинга ВХР позволила оперативно контролировать ВХР энергоблоков предприятия с целью обеспечения надежной эксплуатации оборудования, исключения возможных аварийных ситуаций, связанных с нарушением ВХР на теплотехническом оборудовании, а также обеспечения экономичности работы оборудования и сокращения трудозатрат.

Список литературы

1. РД 34.37.303-88 - Методические указания по организации и объему химического контроля водно-химического режима на тепловых электростанциях
2. Копылов А.С. Лавыгин В.М. Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике / Издательский дом МЭИ, 2-е издание / 2006 г.

УДК 004.9, 542.3

ВНЕДРЕНИЕ ПРИБОРНОГО УЧЕТА СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Гордеева Г.В.^{1,2}, старший преподаватель каф. ФТ-5; ведущий инженер по метрологии

Машков А.С.², инженер по метрологии

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²ТЭЦ-23 - филиал ПАО "Мосэнерго"

© Автор для переписки: Гордеева Г.В. e-mail: lamia88@gmail.com

Работа посвящена внедрению приборного учета сточных вод промышленного предприятия с применением систем на базе беспроводных технологий передачи данных. Приведены основы построения систем. Рассмотрен пример системы учета сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, учет сточных вод, бес-

проводная передача данных, GSM-модем, расходомер с GSM-модемом

THE INTRODUCTION OF METERING, SEWAGE-BASED WIRELESS SYSTEMS

Gordeeva, G.V.^{1,2};
Mashkov A.S.²

¹Institute of physics and technology, Moscow technological University

²CHPP-23 - a branch of OAO Mosenergo

© Author for correspondence: G. V. Gordeev e-mail: lamia88@gmail.com

The work is devoted to the introduction of metering, sewage of industrial enterprises with application systems based on wireless data transmission technologies. The basics of building systems. Consider an example of accounting system of sewage.

Key words: wastewater, wastewater metering, wireless data transmission, GSM modem, flow meter with GSM modem

Принцип действия любой тепловой или

электрической станции (ТЭС) основан на четырёх процессах:

- 1 - потребление энергетических ресурсов;
- 2 - переработка энергетических ресурсов;
- 3 - выработка тепловой или электрической энергии;
- 4 - сбросы побочных продуктов

К последнему, как правило, относятся не утилизируемые уходящие газы, образующиеся в процессе сгорания топлива, и сточные воды (на промышленных предприятиях, таких как ТЭС, выделяют 2 класса сточных вод: промышленно-ливневые и хозяйственно-фекальные). Учет уходящих газов ведется специализированными системами на базе газоанализаторов различного типа.

Учет же сточных вод исторически велся расчетным методом, учитывающим режим работы ТЭС, аварийность, водопотребление, погодные условия и т.п.

Однако с выходом Постановления Правительства РФ №776 от 04.09.2013 г. (и последующих редакций №230 от 26.03.2014г.; №525 от 29.05.2015 г.; №1134 от 03.11.2016 г.) количество сточных вод для всех видов предприятий обязательно определять по показаниям приборов.

Переход на обязательный приборный учет вызвал множество вопросов:

- какой тип счетчиков выбрать, ведь в век научно-технического прогресса, который пришелся на наше время, на рынке их огромное количество (электромагнитные, ультразвуковые, корреляционные и др.) с разным видом исполнения.

- каким образом будет осуществляться передача данных на автоматизированное рабочее место (АРМ), посредством обычного кабеля или же с помощью беспроводных сетей (например WLAN/WMAN/WWAN) и многие другие.

В настоящей статье рассматривается вариант внедрения приборного учета с беспроводной передачей данных GSM (WWAN), как наименее трудоемкий: рабочее место оператора может находиться в нескольких сотнях метров от самого узла учета, что затрудняет прокладку кабеля. Именно в таких случаях оправдано и необ-

ходимо оснащение связи через GSM-модем с SIM- картой, настроенной на прием и передачу данных.

Для обеспечения связи беспроводным линиям передачи между нижним и верхним уровнями системы учета используются два модема:

- местный, подключаемый к персональному компьютеру на рабочем месте оператора (к операторской станции).

- удаленный устанавливаемый и подключаемый через интерфейсы RS485/RS-232. непосредственно на узле учета.

На данный момент производители беспроводных расходомеров предлагают огромное количество вариантов исполнения "приборных" модемов, в зависимости от среды эксплуатации расходомеров. Ведь, как мы знаем, влажность и температура оказывать значительное влияние на уровень сигнала. Также модемы могут быть оснащены дополнительной антенной для усиления сигнала передачи данных даже из самых труднодоступных мест (например, подземных колодцев сточных вод). За счет небольших размеров модема его установка занимает всего несколько минут. Кроме того, небольшие размеры модуля позволяют без малейших затруднений найти для него место. Беспроводные расходомеры с GSM связью возможно устанавливать как на один прибор, так и соединять их в группы (вплоть до 16), которые будут связаны с одним управляющим компьютером. Такая система значительно упрощает процесс установки и наладки автоматизированного рабочего места.

Рассмотрим более подробно принцип действия процесса передачи данных между "местным" и "приборным" модемами. Сигнал по сети передается двунаправленно, его передача инициируется ведущим устройством - контроллером (как правило, установленном на офисном или промышленном компьютере). При отсутствии ответа от модуля по истечении некоторого интервала времени, обмен данными прерывается, а инициатива вновь передается на контроллер. Каждый модуль с которого не идет передача данных, находится в состоянии «ожидание запроса». Таким образом, «приборные» модемы постоянно на-

ходятся в этом режиме для того, чтобы осуществить съем показаний с самого прибора – для этого достаточно выполнить запрос информации с ведомого устройства.

Но, не смотря на несомненные преимущества, у данного способа, есть и свои недостатки, такие как:

- доступность аппаратуры подавления сигнала модема (сигнал с управляющего компьютера может быть заглушен и не будет доставлен до приборного модема);

- платная эксплуатация – абонентская плата, оплата сеансов связи (в случае израсходования денежных средств на Sim-карте, отправка сигнала с управляющего компьютера осуществляться не будет); это не самый большой недостаток из представленных, ведь многие операторы России предоставляют безлимитный интернет, благодаря чему нет необходимости постоянно проверять лицевой счет на Sim-карте, а достаточно своевременно пополнять его раз в месяц;

- наличие «эффекта праздника», когда сеть перегружена, и сигнал не проходит (многим знакомо, как сложно кому-то дозвониться в праздники, особенно в Новый год; в случае передачи данных будет такая же ситуации, из-за перегрузки сети модем не сможет отправить сигнал на управляющий компьютер).

- все элементы системы должны находиться в зоне покрытия операторов сотовой связи (в нынешнее время, в зависимости от региона, не все сотовые операторы могут предоставить возможность покрытия стабильной и полноценной GSM сетью).

Также необходимо отметить необходимость предусмотреть на начальном этапе внедрения системы на базе GSM-модемов мест инсталляции точек учета: неблагоприятные внешние факторы (отсутствие источника внешнего питания, экстремальные условия эксплуатации и т.п.) могут негативно воздействовать на работу системы

Для обеспечения работоспособности GSM-модемов распределенной сети средств учета (расходомеров) необходимо наличие автономного питания, встроенного программируемого расписания, каналов

подсчетов импульсов, герметичного исполнения корпуса и т.д. Также необходимо учитывать и тип, особенности применяемых расходомеров для поддержания соответствующих режимов работы (например, токовый, частотный или импульсный выход расходомера) посредством специализированного коммуникационного программного обеспечения.

В заключении рассмотрим пример построения системы учета сточных вод на одном из энергетических предприятий (рисунок 1).

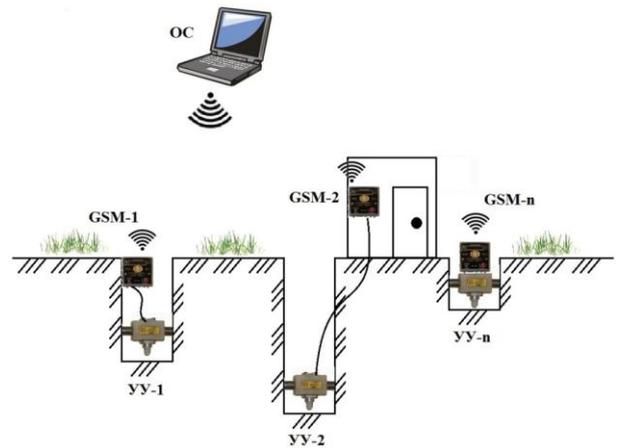


Рис. 1 - Упрощенная схема системы учета сточных вод с передачей данных через GSM-модем

Система включает в себя n узлов учета УУ сточных вод на основе ультразвуковых расходомеров, снабженных приборными модемами GSM- n . Монтаж модемов с целью обеспечения уверенной зоны покрытия сотовой сети имеет различное исполнение - как непосредственно в подземных колодцах, так и в выносных щитах. Передача данных осуществляется на операторскую станцию инженера-эколога ОС, содержащую в себе управляющий модем.

Достоинством применения приведенной системы является надежность каналов передачи данных, достигнутая предварительными работами по определению точек монтажа и выбору оператора связи. Кроме того, плюсом системы является возможность дистанционного снятия показаний расходомеров без необходимости погружения работников в подземные камеры-колодцы, что, несомненно, обеспечивает

безопасность работ.

Список литературы

1. Дианов Д., Упоров А., Яманов А. Специфика использования GSM-модемов в системах расходомерии / жур. Беспроводные технологии", №4, 2011 г.
2. <http://www.encont.ru/>
3. <https://www.osp.ru/>

4. <http://www.dnepr-7.ru/>

5. Платунова С.М. Архитектура и технические средства корпоративной сети на базе беспроводного оборудования Wi-Fi фирмы ZyXEL Учебное пособие по дисциплине «Корпоративные сети» / Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики /2014 г.

УДК: 615.47:616-072.7

МИКРОВОЛНОВАЯ РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ ПОЧЕК

Седанкин М.К.¹, к.т.н., научный сотрудник;
Хромов Д.А.², магистр 2 года обучения;
Абидулин Э.Р.³, магистр 2 года обучения

¹ Отдел СОиАРИ РТК, ФГБУ «ГНИИЦ РТ»
МО РФ, Россия, Москва, 125167

²Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва, 111250

³Физико-технологический институт Московского технологического университета, Россия, Москва, 107076

© Автор для переписки: Седанкин М.К., e-mail:
msedankin@yandex.ru

В работе рассмотрены вопросы микроволновой радиотермометрии почек, которая проводится во время процедуры диагностики пузырно-мочеточникового рефлюкса – урологической патологии, приводящей к хронической почечной недостаточности. Создана математическая модель радиотермометрии почек. На основе результатов математического моделирования проведена адаптация существующей медицинской антенны, предназначенной для обследования молочных желёз, к измерению температуры тела на проекции почек.

Ключевые слова: микроволновая радиотермометрия, медицинская антенна, пузырно-мочеточниковый рефлюкс, радиояркость температура

MICROWAVE RADIOMETRY OF

KIDNEYS

Sedankin M.K.¹;
Khromov D.A.²;
Abidulin E. R.³

¹Department of CP&ATR of RTC, MRTRC MD
RF, Russia, Moscow, 125167

²National research university «MPEI», Russian
Federation, Moscow, 111250

³Physico-Technological Institute of Moscow
Technological University, Russia, Moscow,
107076

© Corresponding author e-mail: Sedankin M.K., e-mail:
msedankin@yandex.ru

The paper considers issues of microwave radiometry of kidneys, which is conducted during the procedure of diagnosis of vesicoureteric reflux – is a urologic pathologies leading to chronic renal failure. The model of radiometry of kidney was created. Adaptation of the existing medical antenna to measure the temperature on the projection of the kidneys was carried based on the results of mathematical modeling.

Keywords: microwave radiometry, medical antennas,
vesicoureteral reflux, brightness temperature

Введение

Пузырно-мочеточниковый рефлюкс (ПМР) – распространенное урологическое заболевание, которое диагностируется у 1% детского населения и в случае поздней диагностики приводит к хронической почечной недостаточности. Одной из причин рефлюкса является патологическое расположение устья мочеточника, что приводит к нефизиологическому обратному забросу

мочи из мочевого пузыря в мочеточник и почку. Диагностика ПМР включает в себя рентгенологические и радионуклидные методы исследования, оказывающие вредное воздействие на организм. Существует альтернативный безвредный метод выявления ПМР на базе РТМ-диагностики, включающий в себя этап неинвазивного мониторинга радиояркой температуры в почках, который позволит снизить вредное воздействие на организм ребенка. Измерение температуры почек осуществляется с помощью микроволнового радиотермометра [1], установленного на проекцию исследуемого органа, который неинвазивно регистрирует температуру внутренних тканей. Кроме того, в перспективе с помощью подобной аппаратуры возможно выявлять и другую патологию почек.

Материалы и методы

Собственное радиотепловое излучение биологического объекта (БО) в микроволновом диапазоне регистрируется радиотермометром с помощью антенны, установленной на тело. Мощность электромагнитного излучения на выходе антенны при её согласовании с биологическими тканями определяется как:

$$P = kT_{\text{rad}}\Delta f \quad (1)$$

где P – мощность шумового сигнала на выходе антенны, Вт; T_{rad} – радиояркая температура, °С; k – постоянная Больцмана Дж/°К; Δf – полоса пропускания приемника, МГц.

По принимаемой мощности шумового сигнала можно определить радиояркую температуру, которая связана с термодинамической температурой соотношением:

$$T_{\text{rad}} = \int_{-\infty}^{\infty} T(r)W(r)dV \quad (2)$$

где $T(r)$ – термодинамическая реальная температура БО, $W(r)$ – радиометрическая весовая функция антенны. $W(r)$ определяется как:

$$W(r) = \frac{\sigma(r)|E(r)|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \sigma(r)|E(r)|^2 dV} \quad (3)$$

где $E(r)$ – напряженность электрического

поля, создаваемого антенной в объеме БО, $\sigma(r)$ – электропроводность ткани БО. Следовательно, при радиотермометрическом обследовании происходит усреднение температуры под антенной с $W(r)$, которая определяется электрическим полем антенны $E(r)$ в ближней зоне и электрофизическими параметрами БО ($\epsilon(r)$, $\sigma(r)$).

В рамках решаемой задачи необходимо адаптировать волноводную антенну $\phi 40$ мм, применяемую в маммологии в составе радиотермометра «РТМ-01-РЭС», для приёма излучения БО на проекции почки. С этой целью, по данным представленным в работе [3], была создана математическая модель радиотермометрии многослойной структуры участка тела, содержащего почку (рис.1). Считается, что антенна принимает собственное излучение БО при установке антенны на проекцию почки. Моделирование производилось в диапазоне частот 3,4-4,0 ГГц.

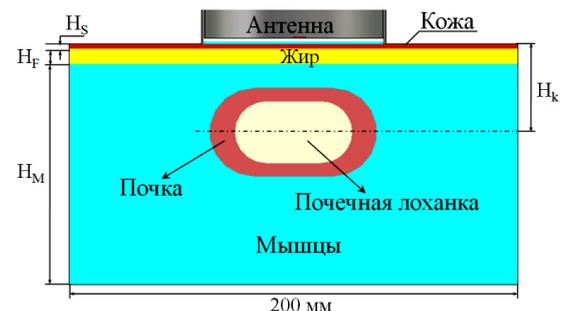


Рис.1. Модель биологического объекта: $H_M = 101$ мм; $H_F = 7$ мм; $H_S = 2$ мм; $H_K = 40$ мм

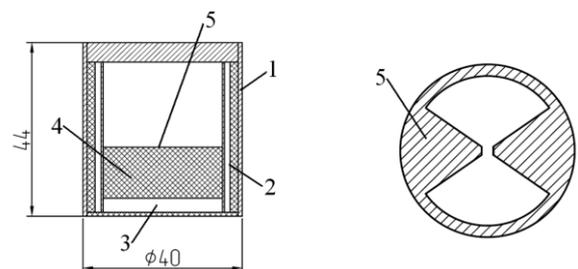


Рис. 2. Помехозащищенная антенна (слева), излучатель антенны (справа): 1 – дополнительный экран, 2 – четвертьволновая ловушка, 3 – воздушный зазор, 4 – диэлектрик, 5 – излучатель

Для верификации разработанной математической модели многослойной структуры БО, с помощью численного решения

уравнений Максвелла в программе электродинамического моделирования, выполнено моделирование электрического поля спиральной антенны, описанной в работе [3]. Эта антенна разработана в целях диагностики ПМР.

Результаты моделирования спиральной антенны совпадают с результатами, полученными в [3], из чего можно сделать вывод о том, что построенная модель корректна. Конструкция волноводной антенны $\varnothing 40$ мм и высотой 44 мм представлена на рис.2. Круглый волновод частично заполнен керамикой с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=8$. Контактующая с БО часть антенны изготовлена из ситалла и отделена воздушным зазором толщиной 1.5 мм от керамики. Для повышения помехозащищенности антенна имеет дополнительный экран и специальные четверть-волновые ловушки, частично заполненные воздухом и диэлектриком, снижающие уровень обратного излучения. Излучатель антенны представляет собой щелевой вибратор в форме «бабочки» (рис. 2, справа). Для проведения расчётов смоделирована ситуация, когда рабочая поверхность антенны непосредственно соприкасается с БО (нагрузкой). Имитатор биологической нагрузки представлял собой многослойный параллелепипед размерами 200 мм x 200 мм x (110 мм+H), где H – высота антенны. Расчёт электрического поля антенны осуществлялся в этом объёме, который поме-

щён в экран ($E_{\tau}=0$).

Результаты исследований

При оптимизации антенны в качестве критерия эффективности использовался КСВ в рабочем диапазоне частот. КСВ волноводной антенны до внесения конструктивных изменений представлен на рис.3.(а). Для определения оптимального варианта антенны проведено моделирование при различных значениях высоты антенны H, ширины щели излучателя, угла раскрытия «бабочки» излучателя. Длина основного волновода антенны 44 мм, угол раскрытия её излучателя составляет 90° . Для улучшения КСВ в полосе частот 3.4 – 4.2 ГГц и возможности использовать антенну для мониторинга температуры почки конструкция антенны была доработана. В результате оптимальный КСВ получен при H=43 мм, угол раскрытия излучателя был увеличен на 30° и составил 120° . В результате внесённых изменений в конструкцию антенны получены КСВ приемлемый для применения антенны в диагностике ПМР.

В результате теоретических исследований проведена доработка волноводной антенны, которая позволит использовать РТМ-диагностику в области термометрии почек. Разработанная антенна может являться составной частью различных диагностических приборов, в том числе и диагностических средств медицинских робототехнических комплексов.

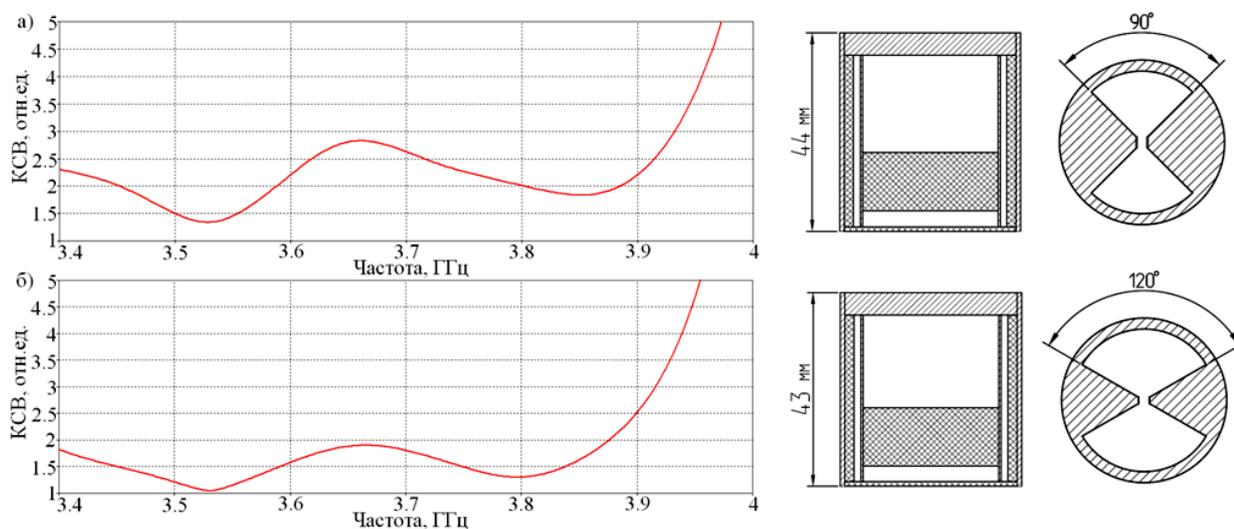


Рис. 3. КСВ: а) волноводной антенны; б) волноводной антенны, адаптированной к диагностике ПМР

Список литературы

1. *Microwave radiometry for non-invasive detection of vesicoureteral reflux (VUR) following bladder warming/Stauffer, P.[et al.]/SPIE Press, V.7901.2011. P.1-18*
2. Седанкин М.К. Антенны-аппликаторы для радиотермометрического исследования тепловых полей внутренних тканей биологического объекта: Дис. канд. техн. наук. М., 2013, 190 с.
3. *Modeling the detectability of vesicoureteral reflux using microwave radiometry/ Arunachalam, K.[et al.]/ Phys. Med. Biol.2010.V.55,N.18.P.5417-5435*
4. *Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. Physics in Medicine and Biology. 1996; 41:2271–2293. [PubMed: 8938026]*

УДК: 615.47:616-072.7

ТРЕХКАНАЛЬНАЯ МИКРОВОЛНОВАЯ АНТЕННА ДЛЯ УРОЛОГИИ

Седанкин М.К.¹, научный сотрудник;
Новов А.А.², магистр 2 года обучения;
Абидулин Э.Р.³, магистр 2 года обучения

¹ Отдел СОиАРИ РТК, ФГБУ «ГНИИЦ РТ»
МО РФ, Россия, Москва, 125167

² Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва, 111250

³ Физико-технологический институт Московского технологического университета, Россия, Москва, 107076

© Автор для переписки: Седанкин М.К., e-mail:
msedankin@yandex.ru

В качестве метода диагностики рака предстательной железы можно рассматривать микроволновую радиотермометрию. Для применения радиотермометрии в урологии была разработана трёхканальная щелевая антенна. Создана математическая модель радиотермометрии органов малого таза, и проведено математическое моделирование электрического поля внутриполостной антенны.

Ключевые слова: микроволновая радиотермометрия, антенна, рак предстательной железы, радиояркость, температура.

THREE-CHANNEL MICROWAVE UROLOGICAL ANTENNA

Sedankin M.K.¹;
Khromov D.A.²;
Abidulin E. R.³

¹Department of CP&ATR of RTC, MRTRC MD
RF, Russia, Moscow, 125167

²National research university «MPEI», Russian
Federation, Moscow, 111250

³Physico-Technological Institute of Moscow
Technological University, Russia, Moscow,
107076

© Corresponding author e-mail: Sedankin M.K., e-mail:
msedankin@yandex.ru

The paper deals with microwave radiometry method which is proposed to detect prostate cancer. Three-channel slit antenna was developed for the application of microwave radiometry in urology. A mathematical model of radiotermometry of pelvic organs has been created, and a mathematical simulation of the electric field of the intracavitary antenna has been performed.

Keywords: microwave radiometry, microwave antenna, prostate cancer, radio brightness temperature.

Введение

По данным американского онкологического общества на 2015 г. 2 место в структуре онкологической заболеваемости у мужчин уверенно удерживает рак предстательной железы (РПЖ), незначительно уступая по численности заболевших раку лёгких [1]: 221200 случаев против 220800. У женщин по данным за 2012 г. удручающая ситуация имеется в отношении забо-

леваемости раком шейки матки (РШМ): по всему миру зафиксировано 527600 случаев, из них летальным исходом закончилось 265700. В нашей стране в период наблюдения 2004-2015 гг. наблюдается неуклонный рост заболеваемости РПЖ и РШМ: с 38,4 до 128,4 – у мужчин; с 110,3 до 119,7 – у женщин (из расчёта на 100 тыс. населения). Основные методы диагностики РПЖ – это пальцевое ректальное обследование простаты, анализ уровня простатического специфического антигена и трансректальное ультразвуковое обследование. Известно, что ткани опухоли обладают большим метаболизмом, чем окружающие её. В данной работе рассматривается применение микроволновой радиотермометрии для ранней диагностики РПЖ. Регистрируя радиотепловое излучение биологических тканей, можно неинвазивно выявлять тепловые аномалии на глубине нескольких сантиметров [2].

Материалы и методы

Микроволновый радиометр измеряет собственное электромагнитное излучение тканей в микроволновом диапазоне. Если прислонить антенну к телу, то мощность электромагнитного излучения на выходе антенны будет прямо пропорциональна радиояркостной температуре биологических тканей под антенной. Вследствие высокой вариативности биофизических свойств организмов любая антенна может иметь некоторое рассогласование по сопротивлению с тканями биологического объекта (БО). В большинстве радиометров используются специальные схемы, компенсирующие рассогласование. Измеряя мощность излучения в микроволновом диапазоне, можно получать информацию о радиояркостной температуре T_{rad} . Радиояркостная температура, измеряемая с помощью медицинского радиотермометра, связана с «обычной» термодинамической температурой $T(r)$ соотношением (1):

$$T_{rad} = \int_{-\infty}^{\infty} T(r)W(r)dV \quad (1)$$

где $T(r)$ – термодинамическая температура БО, $W(r)$ – радиометрическая весовая функция антенны.

Математическая модель радиотермомет-

рии органов малого таза базируется на формуле (1). Внутренняя температура T_{rad} , измеряемая медицинским радиотермометром, зависит от термодинамической температуры $T(r)$, электрическом поле антенны в ближней зоне $E^2(r)$ и электропроводности $\sigma(r)$ БО. Для расчёта использовались численные методы, реализованные в коммерческой программе электродинамического моделирования. Программа численно решает уравнение Максвелла методом конечных разностей во временной области. Т.к антенна вводится в прямую кишку, она со всех сторон будет окружена тканями кишечника, поэтому в ходе работы разработана однослойная модель БО, внутри которой находится антенна (рис.1). Проведено моделирование различных вариантов конструкции антенны для обследования. Ввиду близости электрофизических параметров различных органов малого таза, электрофизические свойства модели заданы как $\sigma=51.63$ См/м, $\epsilon=3.25$ (ткани кишечника) [3]. На рис.1 справа представлена трёхщелевая антенна, обращённая в толщу биологических тканей и отделённая от них втулкой толщиной 1,5 мм с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=5$. Эти геометрические параметры антенны выбраны в качестве исходных для дальнейших расчётов и оптимизации конструкции антенны. Корпус антенны моделировался как полуцилиндр. Далее было проведено моделирование различных вариантов конструкции антенны. Для определения оптимального варианта антенны проведено моделирование при различных значениях зазора щели антенны, угла раскрыва щели и различных значений диэлектрических проницаемости защитной втулки. На рис.1 представлен чертёж модели, по которому было произведено построение модели в программе электродинамического моделирования. Выбор цилиндрической антенны обусловлен с точки зрения более удобного размещения внутри неё цифровых устройств без снижения эффективности медицинской диагностики.

Результаты исследований

При оптимизации антенны в качестве критерия эффективности использовался КСВ в рабочем диапазоне частот. В ходе моделирова-

ния оптимальный КСВ антенны получен при зазоре щели 1.5 мм без раскрыва (простая прямоугольная щель) и при $\epsilon=3$. С ростом диэлектрической проницаемости КСВ антенны немного ухудшается. В ходе работ получены теоретические результаты, подтверждающие возможность применения метода микроволновой радиотермометрии для выявления температурных аномалий органов малого таза, как мужчин, так и женщин.

Разработанная антенна успешно интегрирована в микроволновый радиотермометр «РТМ-01-РЭС», представленный на рис.3. Внутриполостная антенна может являться составной частью различных диагностических средств, в том числе и медицинских робототехнических комплексов.

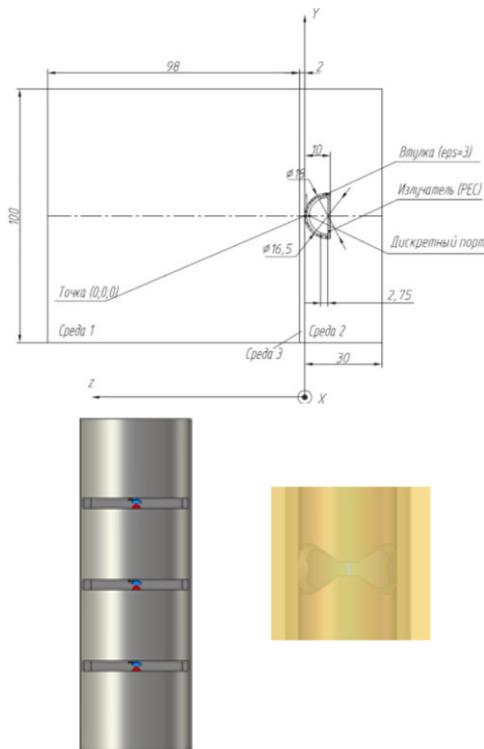


Рис.1. Модель БО и антенны

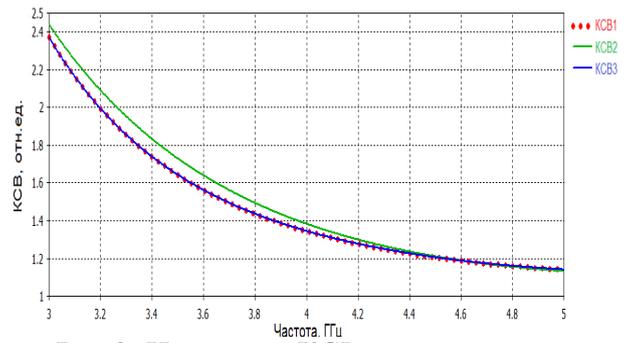


Рис.2. Итоговый КСВ урологической трёхщелевой антенны

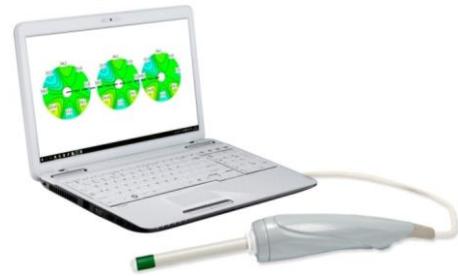


Рис.3. Внутриполостной радиотермометр

Список литературы

1. Cancer Facts & Figures 2015 [Электронный ресурс]// <http://www.cancer.org/acs/groups/content/@editorial/documents/document/acspc-044552.pdf>.p.4 – Дата обращения: 19.02.2017.
2. Седанкин М.К. Антенны-аппликаторы для радиотермометрического исследования тепловых полей внутренних тканей биологического объекта: Дис. канд. техн. наук. М., 2013, 190 с.
3. Веснин С.Г., Седанкин М.К. Миниатюрные антенны-аппликаторы для микроволновых радиотермометров медицинского назначения//Биомедицинская радиоэлектроника.2011. В.10. С. 51-55.
4. Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Physics in Medicine and Biology*. 1996; 41:2271–2293. [PubMed: 8938026]

УДК 621.372

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ ВИДИМОСТИ РАДИОЛОКАТОРА

Покровский В.Н. , доцент кафедры КПрЭС;
Васин А.О., магистрант кафедры КПрЭС

Институт радиотехнических и телекоммуни-

кационных систем Московского технологического университета

© Автор для переписки: Покровский В.Н., e-mail: vrok@bk.ru

Работа посвящена созданию функционала, позволяющего осуществить построение модели зоны видимости радиолокатора с учетом особенностей рельефа местности в радиусе его действия. Предлагаемая система позволяет построить зону прямой видимости радиолокатора по критерию оптической видимости. Результаты расчета отображаются на цифровой карте местности.

Ключевые слова: модель, радиолокатор, зона видимости, критерии прямой видимости

SIMULATION OF THE RADAR FIELD VISIBILITY ZONE

Pokrovsky V.N.;
Vasin A.O.

Moscow technological university. Institute of Radio-Technical and Telecommunication Systems

© Corresponding author e-mail: e-mail: vrok@bk.ru

The work is dedicated to the creation of a functional allowing to build a model of the radar's visibility zone, taking into account the features of the terrain in the radius of its operation. The proposed system makes it possible to construct a line of sight of the radar by the criterion of optical visibility. The calculation results are displayed on a digital terrain map.

Keywords: simulation, radar, zone of visibility, line of sight criteria

В настоящее время широкое применение получило компьютерное моделирование при решении задач, связанных с радиолокацией летательных объектов. При размещении радиолокационной установки на местности со сложным рельефом могут возникнуть мертвые зоны, в которых обнаружение объектов становится невозможным, поэтому выбор оптимального размещения радиолокатора является актуальной проблемой.

Данная работа посвящена разработке функционала, позволяющего на персональном компьютере осуществить по-

строение модели зоны видимости радиолокатора с учетом особенностей рельефа местности в радиусе его действия.

Предметом исследования является зона действия радиолокатора. Под зоной действия стоит понимать область пространства, в которой радиолокатор ведет непрерывное наблюдение за целями.

Объектом исследования является зона видимости радиолокатора. Зона видимости радиолокатора - это часть пространства, в пределах которого установка может обнаруживать цели с заданной вероятностью и измерять их координаты с заданной точностью.

Практическое значение текущей разработки заключается в построении цифровой модели зоны видимости радиолокатора. Данная модель может использоваться для проведения анализа обстановки и выбора оптимального расположения радиолокатора в заданном регионе.

В результате анализа российского и зарубежного рынков было определено, что существующие в настоящее время программные продукты определения зон видимости станций сотовых операторов (ГИС Панорама, SuperNEC, FEKO, 4Nec) являются коммерческими и дорогостоящими.

По итогам проведенного анализа было сделано заключение о целесообразности настоящей разработки, так как она обладает простым интерфейсом, имеет экономическую обоснованность, характеризуется простотой алгоритма и использует минимальное количество ресурсов вычислительной техники.

Для решения поставленных целей необходимо разработать программное обеспечение для моделирования зоны видимости радиолокатора. В данном программном продукте необходимо осуществить построение цифровой карты местности, на которой в дальнейшем будет произведено размещение радиолокатора, а также выполнено большинство вычислений, требующих учета особенностей рельефа. Цифровая карта местности должна содержать необходимую информацию о рельефе (горы, холмы, впадины, русла рек) текущего региона.

Средствами для решения поставленной задачи являлись:

1. персональный компьютер с предустановленной Windows 7;
2. язык программирования C++;
3. среда разработки Qt версии 5.1;
4. графическая библиотека OpenGL.

Предлагаемая система позволяет построить зону прямой видимости радиолокатора по критерию оптической видимости. Результаты расчета отображаются на цифровой карте местности.

В основе построения модели зоны видимости радиолокатора лежит алгоритм, представленный на рисунке 1.

Получение области расчета.

Область расчета строится по двумерному массиву высот, который хранит в себе значения высот рельефа в опорных точках.

Выбор положения и параметров источника сигнала.

В расчете учитываются следующие параметры радиолокатора:

1. высота установки над рельефом;
2. координаты установки;
3. технические параметры (радиус действия, угол закрытия и скольжения).

Выбор критерия прямой видимости.

В качестве критерия прямой видимости выбран метод видимости по прямой линии. Данный метод основан на прямой видимости взгляда, т.е. видимости, определяемой светом от источника. Для осуществления метода видимости по прямой линии, необходимо осуществить построение лучей от источника сигнала в направлении к граничным точкам.

Построение лучей от источника к граничным точкам

Используя данные о положение радиолокатора и технические параметры установки, по формуле 1 рассчитываются граничные точки зоны видимости.

$$\begin{cases} X_{\text{гран}} = R \times \cos \theta \times \cos \varphi \\ Y_{\text{гран}} = R \times \cos \theta \times \sin \varphi \\ Z_{\text{гран}} = R \times \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

где $X_{\text{гран}}$, $Y_{\text{гран}}$, $Z_{\text{гран}}$ – граничные точки,

R – радиус действия радиолокатора,

θ – угол закрытия,

φ – угол скольжения.

Координатам начальной точки соответствуют координаты установки радиолокатора. Построение лучей осуществляется из начальной точки в направлении к граничным точкам области расчета.



Рис. 1. Блок схема алгоритма

Оценка видимости

Оценка видимости производится путем анализа прохождения построенных лучей по моделируемой поверхности. Если построенный луч пересекает моделируемый рельеф, формируется невидимая радиолокатору точка, дальнейшие точки в направлении данного луча до соответствующей ему граничной точки также являются невидимыми. Полученная модель наглядно демонстрирует расположение мертвых зон в радиусе действия радиолокатора.

В результате разработан функционал, который позволяет:

- получать цифровую карту местно-

сти из внешних источников;

- осуществлять размещение радиолокатора на поверхности;
- наглядно определить зону видимости установки
- осуществлять прогнозирование расположения мертвых зон.

Разработанный алгоритм позволяет построить на персональном компьютере адекватную модель зоны видимости радиолокатора с учетом данных цифровой карты местности в зоне его установки.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего анализа текущей ситуации в зоне установки радиолокатора, определения стратегии дальнейших действий, определения оптимального размещения радиолокатора на местности.

Список литературы

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов М.: Радиотехника, 2004.
2. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. М.: Советское Радио, 1975.
3. Рост Р. Дж. OpenGL. Трехмерная графика и язык программирования шейдеров. СПб.: Питер, 2005.
4. Покровский В.Н., Покровская Н.В. Компьютерное моделирование распространения радиоволн в случайно-неоднородной среде для оценки ошибок при радиосвязи и радионавигации. Сборник научных трудов: материалы Международной научно-технической конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике». Московский технологический университет. Физико-технический институт. Выпуск 2 (XXII)/Под редакцией д.т.н., проф. Кондратенко В.С. – М.:2016.

УДК 519.622.2

РАЗНОСТНАЯ СХЕМА 1-ГО ПОРЯДКА ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ОДУ

Солопов В.М., к.ф.-м.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Солопов В.М. e-mail: solopoval@mail.ru

Построено $n/2-1$ -параметрическое семейство n -шаговых разностных схем порядка $n+2$ для четных n для решения систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Получены условия устойчивости, а также в пространстве параметров найдены области устойчивости схем порядков 6, 8 и 10. Численное сравнение предложенного разностного метода с некоторыми известными методами показало значительное преимущество предлагаемого метода в скорости при вычислениях с одинаковой точностью. Увеличение скорости варьировалось до нескольких десятков раз по сравнению с методами Рунге-Кутты, Дормана-Принса и Магнуса.

Ключевые слова: численные методы, обыкновенные дифференциальные уравнения; сравнение методов; ус-

тойчивость метода; сходимостъ метода; точность метода.

DIFFERENCE SCHEME OF ORDER 10 FOR LINEAR ODE

Solopov V.M.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: solopoval@mail.ru

$n/2-1$ -parametric family of n -step difference schemes of order $n+2$ for even n for solving the systems of linear ordinary differential equations of the 1-st order are constructed. Stability conditions were obtained and stability domains of 6th, 8th and 10th order schemes were found in the parameter space. A numerical comparison of the proposed method with some known methods showed a significant advantage of the proposed method in the speed of the calculations with the same accuracy. Increasing the speed was varied from ten times compared to the Magnus method to several tens or even hundreds of times in comparison with the methods of Dormann-Prince and Runge-Kutta.

Keywords: numerical methods; ordinary differential equations; comparison of methods; stability domain of a method; convergence of the method; accuracy of a method.

Введение

Рассмотрим задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, записанной в виде векторного уравнения:

$$y' = f(x, y), y(x_0) = y_0, x \in [x_0, x_p], \quad (1)$$

где y, f бесконечно дифференцируемые векторные функции, ограниченные на заданном интервале вместе со всеми производными некоторой положительной константой.

Полагая n четным, примем следующие обозначения

$$h = (x_p - x_0)/p, x_i = x_0 + ih, i = 0, \dots, \\ s = n/2, y_i = y(x_i).$$

$$R_j(y, i) \equiv \frac{1}{2^j} (y_{i+j} - y_{i-j}) - hy'_i = h \left(y'_i - f_i + \sum_{k=2,4,\dots} j^k h_k \right), \\ T_j(y, i) \equiv \frac{h}{2} (y'_{i-j} - 2y'_i + y'_{i+j}) = h \sum_{k=2,4,\dots} (k+1)j^k h_k, \quad (2)$$

где $h_k = h^k y_i^{(k+1)} / (k+1)!, j = 1, \dots, s, i = s, \dots, p-s$.

Здесь было использовано разложение $y_{i \pm j}, y'_{i \pm j}$ в ряд Тейлора с учетом (1).

Для неизвестных коэффициентов $a_j, b_j, j = 1, \dots, s$ определим оператор

$$S(y, i) = \sum_{q=-s}^s (\alpha_q y_{i+q} - h \beta_q f_{i+q}) = h(a_1 + \dots + a_s)(y' - f)_i + h \sum_{k=2,4,\dots} c_k h_k, \quad (3)$$

$$\alpha_{\pm j} = \pm \frac{a_j}{2^j}, \alpha_0 = 0, \beta_{\pm j} = \frac{b_j}{2},$$

$$\beta_0 = \sum_{j=1}^s (a_j + b_j), \quad (4)$$

$$c_k = \sum_{j=1}^s j^k [a_j + (k+1)b_j]. \quad (5)$$

Для решения $y(x)$ уравнения (1) справедлива оценка $S(y, i) = O(h^3)$. Таким образом, n – параметрическая симметричная разностная схема

$$\sum_{q=-s}^s (\alpha_q y_{i+q} - h \beta_q f_{i+q}) = 0, \quad (6)$$

получаемая из (3), имеет 2-й порядок аппроксимации. В данной работе мы предполагаем, что уравнение (1) линейно. В этом случае схема (6) – явная и, следовательно, представляет собой метод, т.е. алгоритм нахождения решения. Для нелинейного случая (6) является лишь неявной разност-

Построим при данных предположениях метод решения уравнения (1), оценим его погрешность, определим необходимые и достаточные условия устойчивости, построим в пространстве параметров области устойчивости для $n = 4, 6, 8$, проведем численные эксперименты при решении некоторых известных уравнений и на их результатах сравним предложенный метод с другими распространенными методами.

1. n – параметрическая схема 2-го порядка.

Определим разностные операторы R_j, T_j

$$S = \sum_{j=1}^s (a_j R_j - b_j T_j),$$

который в силу (2) принимает вид [4]

ной схемой, которая еще требует решения системы нелинейных уравнений для нахождения решения в конечной точке шаблона разностной схемы.

Так как схема (6) соответствует уравнению $(a_1 + \dots + a_s)(y' - f) = 0$, нормируем коэффициенты a_j так, чтобы схема (6) соответствовала уравнению (1)

$$a_1 + \dots + a_s = 1. \quad (7)$$

2. Устойчивая $n/2 - 1$ – параметрическая схема $n + 2$ -го порядка

Соотношение (3) с точностью до членов порядка $O(h^{n+2})$ может быть представлено как система линейных алгебраических уравнений относительно столбцов $a = \{a_j\}, b = \{b_j\}, j = 1, \dots, s$

$$Aa + Bb = (A|B) \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = c, \quad (8)$$

где $A = \{j^k\}, B = \{(k+1)j^k\}$ – квадратные матрицы; $c = \{c_k\}$ – столбец; $k = 2, 4, \dots, n$ – индексы строк; $j = 1, \dots, s$ –

индексы столбцов; символ $|$ означает конкатенацию (слияние) матриц.

Решая систему (8) для вектора c , координаты которого удовлетворяют условиям,

$$c_2 = \dots = c_r = 0, \quad c_{r+2} \neq 0, \quad (9)$$

где r – чётно, мы получим схему (6) порядка $r + 2$, но, возможно, неустойчивую. Согласно первому барьеру Далквиста [1] максимально возможный порядок устойчивого n – шагового метода для чётного n равен $n + 2$.

Возьмём $r = n$, тогда из (8) и (9) получим

$$b = R_4 R_2^{-1} a, \quad (10)$$

где R_i – квадратные матричные блоки, на которые разбивается матрица

$$R = (A|B)^{-1} = \begin{pmatrix} R_1 & R_2 \\ R_3 & R_4 \end{pmatrix}$$

В силу (7), (10) мы получим $s - 1$ – параметрическую разностную схему (6) порядка $n + 2$ с неизвестными независимыми коэффициентами a_1, \dots, a_{s-1} , которые мы выберем так, чтобы удовлетворить так называемому корневому условию [1]: метод является устойчивым, если корни его производящего полинома лежат в пределах единичной окружности и являются простыми, если лежат на ней.

Можно показать, что производящий полином $\rho(z)$ для схемы (6) может быть разложен на множители следующим образом

$$\rho(z) \equiv \sum_{q=0}^n \alpha_{q-s} z^q = (z^2 - 1) \tau(z), \quad (11)$$

$$\tau(z) = z^{s-1} \sum_{q=0}^{s-1} \tau_{q+1} (z^q + z^{-q}),$$

$$\tau_1 = (\alpha_1 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{s*1})/2,$$

$$j = 2, \dots, s.$$

Коэффициенты полинома $\rho(z)$ антисимметричны и все его корни разбиваются на пары $z_q, 1/z_q$. Для такого полинома корневое условие эквивалентно тому, что все корни полинома $\tau(z)$ степени $n - 2$ с симметричными коэффициентами просты и лежат на единичной окружности:

$$\tau_j = \alpha_j + \alpha_{j+2} + \dots + \alpha_{s*j},$$

$$\tau(z_q) = 0 \Leftrightarrow |z_q| = \left| \frac{1}{z_q} \right| = 1,$$

$$s*j = s - \text{mod}(s-j, 2), \quad (12)$$

$$q = 1, \dots, s - 1.$$

3. Области устойчивости

Примем обозначение $Z_q = z_q + \frac{1}{z_q}$, $q = 1, \dots, s - 1$.

а) разностная схема 6-го порядка

Обозначим $\lambda = a_1$. Из (11), (12) олучим уравнение

$$z^2 + 2\alpha'z + 1 = 0; \quad \left| \sqrt{\alpha'^2 - 1} \pm \alpha' \right| = 1; \quad \alpha' = \frac{\alpha_1}{2\alpha_2},$$

решая которое с учётом (4), найдём условие и область устойчивости: $\lambda \leq 1/2$

б) разностная схема 8-го порядка

Обозначим $\mu = a_2$, тогда из (4), (11) получаем уравнение относительно Z_q

$$Z_q^2 + \frac{3}{2} \frac{\mu}{1 - \lambda - \mu} Z_q - \frac{1 - 4\lambda - \mu}{1 - \lambda - \mu} = 0,$$

условие существования решения которого с учётом (12) даёт условие устойчивости

$$\mu \leq \frac{1}{2}, \quad \lambda \leq \frac{1}{8} (5 - 5\mu - 3\sqrt{1 - 2\mu}).$$

Область параметров μ, λ , удовлетворяющих условию устойчивости, изображена на рис.1.

Пунктирные прямые линии являются линиями уровня главного члена c_8 разложения (3), задаваемого формулой (5). Верхние линии соответствуют главному члену c_8 , т.е. схеме 10-го порядка, но лежащие вне области устойчивости. Линия ниже соответствует значению $\min |c_8| = \frac{214}{5}$, определяющему остриё (касп) с координатами $\lambda = \frac{5}{16}, \mu = \frac{1}{2}$ из области устойчивости.

в) разностная схема 10-го порядка

Обозначим $\nu = a_3$ и сделаем замену переменных

$$L = 2\frac{\lambda}{\delta}, \quad M = \frac{2\mu}{3\delta}, \quad N = \frac{4\nu}{9\delta},$$

$$\delta = 1 - \lambda - \mu - \nu. \quad (13)$$

Из (4), (11), (12) получим уравнения

Из условия (12) и того, что числа $z = \pm 1$ являются корнями полинома $\rho(z)$, следует условие относительно переменных Z_q

$$\operatorname{Im} Z_q = 0, \quad |Z_q| < 2, \quad q = 1, \dots, s-1.$$

Необходимым и достаточным условием того, чтобы все корни уравнений (14) и,

$$\begin{aligned} Z_3^3 + 3NZ_3^2 + (3M-2)Z_3 + 2L - 3N &= 0, \\ \zeta^3 + (2-3M)\zeta^2 - 3N(2L+9N)\zeta - (2L+9N)^2 &= 0, \\ \zeta = Z_1Z_2, \quad Z_1 + Z_2 + Z_3 &= -3N. \end{aligned} \quad (14)$$

$$(Q_1 < 0) \cap (Q_2 < 0) \cap (|Z_3| < 2) \cap (|\zeta| < 4) \cap (|Z_1| < 2). \quad (15)$$

На рис.2 показано подмножество сечения первых двух областей из (15) плоскостью, параллельной плоскости (M, N) в пространстве параметров L, M, N ,

$$(Q_1 < 0) \cap (Q_2 < 0) \cap (L = \text{const}).$$

Данная область расположена ниже огибающей алгебраических кривых mQ_1, mQ_2 , являющихся границами указанных первых двух областей

$$Q_i(M, N, L) = 0 \Leftrightarrow M = mQ_i(N, L), \quad i = 1, 2$$

На рис.3 показано подмножество сечения следующих двух областей из (15)

$$(|Z_3| < 2) \cap (|\zeta| < 4) \cap (L = \text{const}),$$

$$\begin{aligned} \max \left(-\frac{2}{3}, -\frac{2}{9}L, -\frac{2}{21}L \right) < N < \frac{2}{3}, \\ \max \left(-2, \frac{2}{3}(L-8) \right) < N < \min \left(-\frac{2}{3}, -\frac{2}{9}L \right). \end{aligned} \quad (16)$$

На рис.5. показано сечение множества (15) плоскостью $L = -0.7$, которое в силу (16) содержит криволинейный четырёхугольник, сформированный ветвями жирных кривых

Здесь и далее индекс 1, помечающий кривые $mQ_1(N, L), mQ_2(N, L)$, означает номер ветви корня соответствующего кубического уравнения $Q_i(M, N, L) = 0$.

Из условий (16) также следует, что при $L = 0$ сечение преобразуется в симметричный криволинейный треугольник, образованный кривыми (Рис.6)

$$M = mQ_2(N, L)^1, \quad M = N_2 - 1/3, \quad N = 0$$

4. Численный эксперимент

а) разностная схема 6-го порядка

Решалась задача Коши

$$y'' = Fu, \quad y(x_0) = y_e(x_0), \quad y'(x_0) = y'(x_0) \quad (17)$$

для различных функций $F(x)$ (уравнение колебаний, уравнение Бесселя, урав-

следовательно, все Z_q были вещественными, является отрицательность дискриминантов Q_1, Q_2 кубических уравнений (14). Таким образом, областью устойчивости является пересечение пяти трехмерных областей

которое является пересечением области между параболы и эллиптическим кольцом.

Рис.4 показывает, что решения задачи (15) при $L = -3$ не существует, т.к. огибающая кривых $Q_1 = 0, Q_2 = 0$ находится ниже параболы $N^2 - \frac{1}{3}$ и, значит, пересечение областей, определённых рисунками 2 и 3, пусто.

Увеличение L ведет к появлению решения. С учётом $|Z_3| < 2$ неравенство $|Z_1| < 2$ эквивалентно объединению двух неравенств

нение, решением которого является некоторая произвольная комбинация элементарных функций, и жёсткое уравнение), где y_e – некоторое частное точное решение уравнения $y'' = Fu$, которое предварительно стандартным способом сводилось к системе первого порядка. Функции F , соответствующие им точные решения y_e и начальные данные имеют вид

$$1) y_e = \cos \omega x, \quad \omega = 4, \quad F = -\omega^2; \quad x_0 = 0;$$

$$2) y_e = \frac{1}{\sqrt{x}} J_1(x), \quad n = 1;$$

$$F = \frac{n^2 - 1/4}{x^2} - 1; \quad x_0 = 0.1$$

$$3) y_e = \frac{x^2 + \ln(x)}{x^3 + 1} + \frac{e^{\sin x}}{\sqrt{x + \cos x}}, \quad F = \frac{y''}{y_e};$$

$$x_0 = 0;$$

4) $y_e = \sin(Ae^x)$, $A = 10, 15, 50$,
 $F = \frac{y''}{y_e}$; $x_0 = 0$.

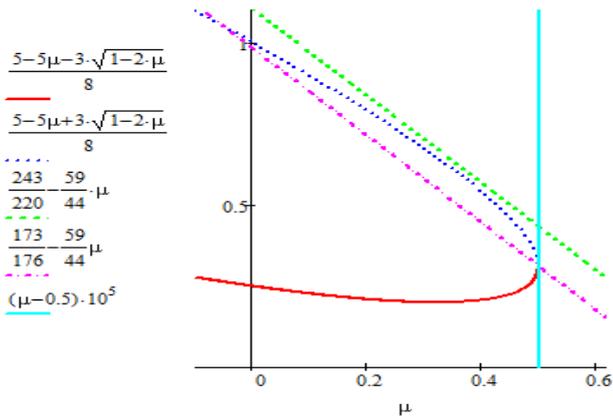


Рис. 1. Область устойчивости на плоскости параметров (μ, λ)

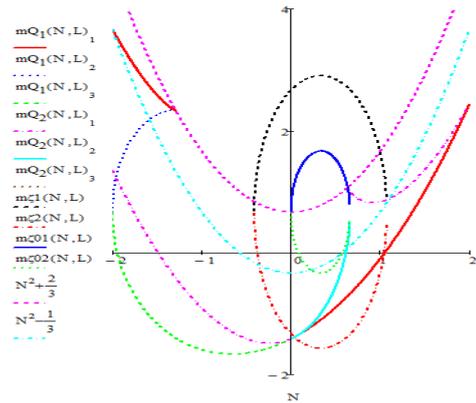


Рис. 4. При $L = -3$ схема неустойчива при всех параметрах
 $M = mQ_1(N, L)_1$, $M = mQ_2(N, L)_1$,

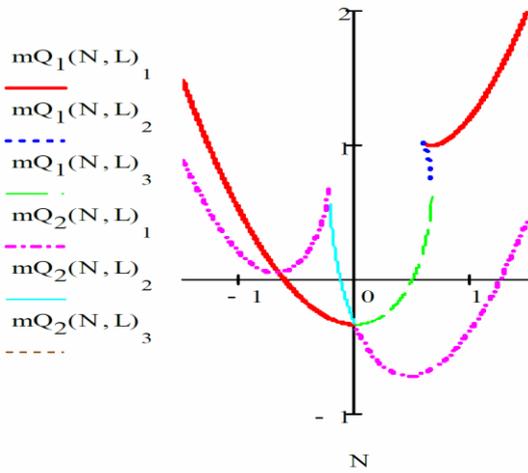


Рис. 2. Сечение $(Q_1 < 0) \cap (Q_2 < 0)$ плоскостью $L = 1$

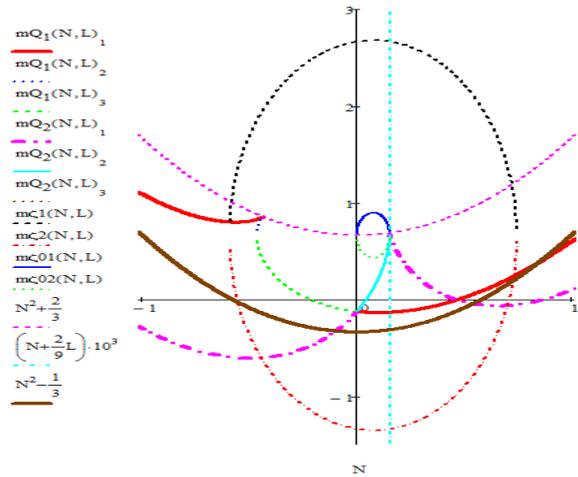


Рис. 5. Область устойчивости для $L = 0.7$. M, N .

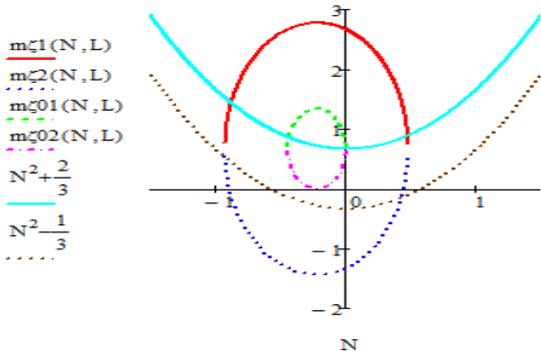


Рис. 3. Сечение $(|Z_3| < 2) \cap (|\zeta| < 4)$ плоскостью $L = 2$.

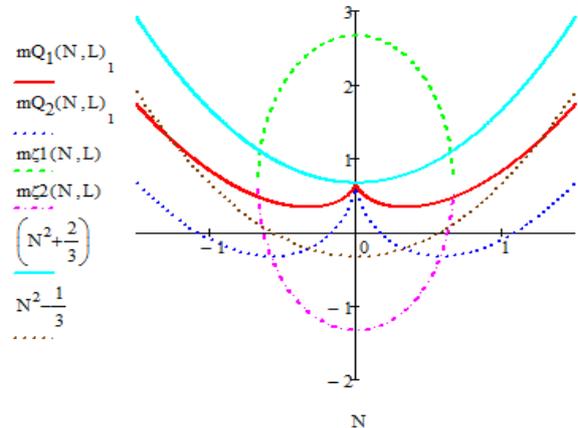


Рис. 6. Область устойчивости для $L = 0$.

Были вычислены (использовалась среда MATLAB, процессор 2.4 ГГц):

1) решение y_R^k – методом Рунге-Кутты 4-го порядка (*ode45*);

2) решение y_D^k – методом Дормана-Принса 8-го порядка [1] (*dop853*);

3) решение y_P – разностным методом 6-го порядка (6);

4) $\text{Time}(y)$ – время вычисления решения y в миллисекундах;

5) среднее квадратичное отклонение от точного решения $\text{Err}(y) = (\sum_{i=1}^p (y_{ei} - y_i)^2 / p)^{1/2}$.

Здесь k означает порядок погрешности. При вычислении y_R^k , y_D^k в качестве входных аргументов для *ode45*, *dop853* задавались абсолютная и относительная погрешности, равные 10^{-k} , для $10 \leq k \leq 16$. В таблицах приведены данные для $k = 13, 14, 15$. Строки *rk4*, *dp8* содержат данные, полученные программами *ode45*, *dop853* соответственно. В нижеприведенных таблицах 1-6 приняты следующие обозначения:

$$Te = \text{Time}(y_e), TP = \text{Time}(y_P),$$

$$Tk = \text{Time}(y_R^k) \cup \text{Time}(y_D^k),$$

$$EP = \text{Err}(y_P), Ek = \text{Err}(y_R^k) \cup \text{Err}(y_D^k).$$

Для уравнений 1-2) погрешность EP решения y_P превышает погрешность Ek решений y_D^k только для $k \geq 14$ (Табл.1,2).

Таблица 1

$$y_e = \cos(4x)$$

	N	Te	TP	T13	T14	T15	EP	E13	E14	E15
rk4	600	0.039	0.15	158	215	227	2e-13	2e-14	2e-15	2e-15
dp8				47	54	63		8e-14	9e-15	9e-16
rk4	800	0.045	0.18	151	219	232	8e-14	2e-14	2e-15	3e-15
dp8				49	59	72		8e-14	9e-15	9e-16
rk4	1000	0.058	0.2	159	215	266	1e-13	2e-14	3e-15	2e-15
dp8				54	64	88		8e-14	9e-15	9e-16

Таблица 2

$$y_e = J_1(x)/\sqrt{x}$$

	N	Te	TP	T13	T14	T15	EP	E13	E14	E15
rk4	600	0.53	0.15	78	112	115	1e-14	2e-14	2e-15	9e-16
dp8				42	50	62		2e-14	2e-15	5e-16
rk4	800	0.72	0.18	81	114	122	9e-15	2e-14	2e-15	9e-16
dp8				49	56	66		2e-14	2e-15	5e-16
rk4	1000	0.85	0.2	86	118	124	3e-14	2e-14	2e-15	1e-15
dp8				56	61	70		2e-14	2e-15	3e-16

Для уравнения 3) при $m = 1000$ имеем $EP \approx E15$ и $EP < Ek$ для $k < 15$ (Табл.3).

Таблица 3

$$y_e = \frac{x^2 + \ln(x)}{x^3 + 1} + \frac{e^{\sin(x)}}{\sqrt{x + \cos(x)}}$$

	N	Te	TP	T13	T14	T15	EP	E13	E14	E15
rk4	600	0.39	1.1	175	225	219	5e-11	3e-14	2e-14	2e-14
dp8				71	85	111		1e-11	2e-12	3e-14
rk4	800	0.45	1.3	168	223	228	3e-12	3e-13	2e-14	2e-14
dp8				76	91	113		1e-11	3e-12	5e-14
rk4	1000	0.48	1.5	177	243	239	7e-13	9e-14	3e-14	2e-14
dp8				80	98	118		5e-10	1e-12	3e-13

В случае уравнения 4) видно, как увеличение жёсткости влияет на погрешность: $EP = E16$ и $EP < Ek$ для $k < 16$, при $A = 10$ (Табл.4); $EP < E16$ при $A = 15$ (Табл. 5); $EP = 6 \cdot 10^6$ при $A = 50$ (Табл. 6). Рост погрешности с увеличением A приводит к дальнейшей неприменимости разностного метода, в то время как *dop853* даёт удовлетворительную ошибку 10^{-12} .

Таблица 4

$$y_e = \sin(10x)$$

	N	Te	TP	T14	T15	T16	EP	E14	E15	E16
rk4	600	0.13	0.24	1045	1055	1060	1e-12	5e-14	1e-13	5e-14
dp8				197	267	360		2e-11	1e-12	2e-13
rk4	800	0.13	0.28	1058	1061	1068	2e-13	5e-14	6e-14	9e-14
dp8				211	265	362		6e-12	3e-12	3e-13
rk4	1000	0.13	0.32	1050	1072	1099	9e-14	5e-14	6e-14	1e-13
dp8				215	294	404		2e-11	7e-13	6e-13

Таблица 5

$$y_e = \sin(15x)$$

	N	Te	TP	T12	T14	T16	EP	E12	E14	E16
rk4	800	0.11	0.26	689	1533	1576	7e-12	3e-12	6e-14	1e-13
dp8				174	302	506		6e-10	3e-11	4e-13
rk4	1000	0.14	0.31	731	1525	1572	7e-12	6e-12	7e-14	1e-13
dp8				185	313	498		2e-09	3e-11	4e-13
rk4	1200	0.14	0.33	726	1527	1595	4e-13	2e-12	1e-13	9e-14
dp8				197	296	535		4e-10	2e-11	8e-13

Таблица 6

$$y_e = \sin(50x)$$

	N	Te	TP	T12	T14	T16	EP	E12	E14	E16
rk4	800	0.12	0.28	2243	4948	5179	0.002	1e-11	4e-13	1e-13
dp8				487	852	1362		2e-10	6e-11	8e-13
rk4	1000	0.14	0.32	2214	5019	5148	0.00...	5e-12	9e-14	3e-13
dp8				486	870	1423		1e-09	8e-11	1e-12
rk4	1200	0.16	0.37	2225	5044	5208	6e-06	4e-12	2e-13	1e-13
dp8				496	874	1477		7e-10	7e-11	1e-12

Сравнение табличных данных для метода Дормана-Принса и разностного метода показывает, что при одинаковой точности нахождения решения ($EP \approx Ek$) отношение Tk/TP в зависимости от вида уравнения и k варьируется в пределах: 1) 281 – 309; 2) 274 – 343; 3) 67 – 81; 4) 1186 –

1708 при $A = 10$ и 1392 – 2030 при $A = 15$, т.е. при прочих равных условиях рассмотренный разностный метод превышает в скорости метод Дормана-Принса в среднем в несколько сот раз, достигая в некоторых случаях тысячекратного превышения. Увеличение скорости по сравнению с методом Рунге-Кутты ещё в 2-4 раза выше, чем при сравнении с методом Дормана-Принса.

Отметим любопытный факт - из таблицы 2 следует, что с точностью до 10^{-14} предлагаемым методом функции Бесселя вычисляются в 4 раза быстрее, чем с помощью стандартных программ. То же справедливо для специальных функций, удовлетворяющих дифференциальным уравнениям с легко вычисляемыми коэффициентами.

б) разностные схемы 8-го и 10-го порядков

Разностный метод (6) для $n = 4, 6, 8$ с коэффициентами (4), (13) из области устойчивости (15), сравнивается с методом Магнуса [2], разработанным специально для решения линейных дифференциальных уравнений и протестированном с демонстрацией преимуществ перед методом Рунге-Кутты в пакете программ LINMAX [3]. Здесь из пакета LINMAX в качестве тестового примера для сравнения методов было выбрано уравнение Шрёдингера для двухуровневой квантовой системы (Раби-осцилляции кубита)/

Известно, что для точного решения Ψ_e справедливо равенство $|\Psi_e(\omega)|^2 = 1$. Для сравниваемых методов были найдены погрешность $E = |\Psi_e(\omega)|^2 - 1$ и время вычисления решения T . Как видно из таблицы 7, при вычислениях с точностью 10^{-15} разностный метод 6-го порядка медленнее метода Магнуса в 1.25 раза, разностный метод 8-го порядка быстрее в 1.33 раза и разностный метод 10-го порядка быстрее метода Магнуса более, чем в 2 раза. В некоторых тестовых примерах увеличение в скорости достигало 10. В таблице были использованы обозначения: $m = n/2 - 1$ - количество параметров разностной схемы; h - шаг по t ; $La = \lambda$, $mu = \mu$, $nu = \nu$.

$$\frac{d}{dt}\Psi = -iH(t)\Psi,$$

$$H(t) = \frac{1}{2}P_z - A \cos(\omega t)P_x,$$

$$t \in [0, t_w], \Psi = \text{col}(1, 0), h = 0.025,$$

$$h_{Magn} = 0.1,$$

$$A = 0.05, \omega = 0.99, t_w = \frac{\pi}{\sqrt{A^2 + (\omega - 1)^2}},$$

$$P_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, P_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix},$$

$$P_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} - \text{матрицы Паули.}$$

Таблица 7

Результаты решения ур. Шрёдингера методом Магнуса и разностным методом

Command Window		Current Folder	Workspace
>> QubitFlip_DS			
MAGNUS: h=0.100 T=0.12 E=5.1e-15			
m = 1:	h=0.025	T=0.15	E=4.4e-16 La=+1.10
m = 1:	h=0.040	T=0.09	E=4.4e-13 La=+1.70
m = 1:	h=0.050	T=0.07	E=2.2e-12 La=+1.40
m = 2:	h=0.050	T=0.09	E=8.9e-16 La=-0.10 mu=+0.60
m = 2:	h=0.080	T=0.06	E=1.6e-14 La=+1.50 mu=+1.00
m = 2:	h=0.100	T=0.04	E=3.3e-13 La=+1.60 mu=+1.00
m = 3:	h=0.050	T=0.10	E=4.4e-16 La=+0.60 nu=-0.80 nu=+0.00
m = 3:	h=0.080	T=0.06	E=1.4e-15 La=-0.10 mu=+0.40 nu=-0.25
m = 3:	h=0.100	T=0.05	E=7.1e-15 La=+0.80 mu=+0.20 nu=+0.25

Заключение

Численные эксперименты, разобранные выше, показали значительное преимущество в скорости при одинаковой точности рассмотренного класса разностных методов перед методами класса Рунге-Кутты. Сравнение с одним из наиболее эффективных методов этого класса - методом Дормана-Принса 8-го порядка - показало аналогичный результат, хотя и не такой высокий, как для стандартного РК-метода 4-го порядка. Есть основания полагать, что и для других методов класса Рунге-Кутты указанное преимущество сохранится. Превышение скорости разностного метода 10-го порядка по сравнению с методом Магнуса составило более чем в 2 раза. К недостаткам метода, как и для всех многошаговых методов, следует отнести необходимость "разгона" - вычисления решения в первых n точках. В качестве "разгоняющих" очень хорошо подходят упомянутые выше методы, поскольку позволяют вычислять решение с высокой точностью. Таким образом, применение данного метода эффективно при большом объеме вы-

числительной работы, связанной с решением нежёстких линейных обыкновенных дифференциальных уравнений.

Список литературы

1. Hairer E., Norsett S. and Wanner G., *Solving Ordinary Differential Equations I*, Berlin: Springer, 1993.
2. Iserles A., Norsett S. P. and Rasmussen A. F., "Time-symmetry and high-order Magnus methods", // *Appld Num. Maths*, vol. 39, pp. 379-401,

2001.

3. Kennerly S., "LINMAX Beta (Matlab, Python). Geometric numerical integrator for linear ODE", *Creative Commons Attribution 3.0 Unported License (CC BY 3.0)*, San Francisco, 2013, <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>.
4. Solopov V. M., "n-step n + 2th order stable method for linear ordinary differential equations", // *Mechanics - Seventh Polyakhov's Reading, 2015 Int. Conf., IEEE*, pp.1-5, 2015.

УДК 004.89

ОРГАНИЗАЦИЯ, РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ БАНКОВ ЗНАНИЙ

Зайцев Е.И., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

e-mail: zei@tsinet.ru

В работе рассматриваются вопросы организации, реализации и применения многоагентных банков знаний – распределенных интеллектуальных информационных систем учебного назначения, которые обеспечивают информационно-справочное консультирование пользователей об изучаемых предметных областях и решаемых в них задачах.

Ключевые слова: учебная среда, база знаний, многоагентная система, многоагентный банк знаний

ORGANIZATION, DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MULTI- AGENT KNOWLEDGE BANKS

Zaytsev E.I.

Moscow technological university. Physico-technological institute

e-mail: zei@tsinet.ru

This article addresses the issues of organization, realization

and using of multi-agent static knowledge banks – distributed intelligent information systems for educational purposes, used as a learning environment.

Key words: learning environment, knowledge base, multi-agent system, Multi-agent Knowledge Bank

Многоагентные банки знаний (МБЗ) представляют собой распределенные интеллектуальные информационные системы, которые интегрируют функции интеллектуальных учебных сред (ILE, Intelligent Learning Environments) и интеллектуальных обучающих систем (ITS, Intelligent Tutoring System). МБЗ включают общие и специальные знания о предметной области, о процессе обучения и модели обучаемого, ассоциируя их с реактивными и когнитивными программными агентами, которые реализуют процедуры обработки этих знаний, формируют и выдают ответы на запросы пользователей.

В двухуровневой архитектуре многоагентного банка знаний модель реактивного агента задаётся следующим образом:

$A_R = (Z_R, W_R, N(Z_R, Net, S_R), S_R(R, A(G)))$,
где Z_R – множество входных сообщений; W_R – множество выходных сообщений; N – множество методов, определяющих реакции нейронной сети Net реактивного агента на входные сообщения Z_R ; S_R – множество состояний, каждое из которых определяется набором атрибутов агента и их значениями:

$INT R_i = \{...[A_j, DOM(A_j)], ...\}$; $EXT R_i = \{F_1, ...F_p\}$; $F_k = \{A_1(G_1), ... A_s(G_n)\}$, где R –

множество отношений, G – множество значений множества атрибутов A . Домены (DOM) являются общими совокупностями значений, из которых берутся реальные значения для атрибутов отношения. Интенциональные части (INT) локальных баз данных содержат информацию, характеризующую семантику предметной области (ПО), экстенциональные части (EXT) описывают возможные состояния агентов и их взаимосвязи. Адекватные реакции агентов на возможные в окружающей среде ситуации реализуются благодаря обучению нейронной сети Net , которая поддерживает механизм конкуренции между желаниями и позволяет при предъявлении агенту входного вектора (ситуации) возбуждать наиболее точно соответствующие ему действия.

В случае многоуровневой организации МБЗ помимо не имеющих целевой ориентации реактивных агентов функционируют когнитивные агенты, которые планируют собственные действия и координируют деятельность реактивных агентов. Модель когнитивного агента формально может быть определена шестеркой: $A_k = (Z_k, W_k, S_k, SP, P)$, где Z_k – множество входных сообщений; W_k – множество выходных сообщений (осведомительных, управляющих, координационных); S_k – множество состояний когнитивного агента, соответствующее множеству ситуаций, которые зависят от ментальных свойств агента (убеждений, намерений, желаний, выполняемых действий), состояний других агентов и их взаимосвязей, происходящих в системе событий; SP – система продукций, определяющая переходы агента из одного состояния в другое и формируемые при этом выходные сообщения, инициирующие синхронные либо асинхронные операции обмена; $P = (D, SG, s_0)$ – система планирования в пространстве состояний для проблемной области D с исходным состоянием s_0 и динамическим множеством целей SG .

Представление знаний в МБЗ осуществляется путем моделирования в их базах знаний понятийных (определяющих знания о понятиях ПО) и проблемных (определяющих знания о решаемых в ПО зада-

чах) компонентов ПО.

МБЗ позволяют формировать ответы на запросы пользователей, которые требуют синтеза планов действий для решения тех или иных задач. Формирование ответов на запросы данного вида осуществляется посредством вывода на знаниях, реализуемого путем выполнения агентами правил вида: $P \rightarrow P_1, P_2, \dots, P_n$, где P – задача; P_1, P_2, \dots, P_n – упорядоченная совокупность подзадач, к решению которых сводится решение задачи P ; \rightarrow – символ редукции.

Синтез плана действий для решения задачи осуществляется процедурой планирования путем редуцирования всех необходимых для этого подзадач вплоть до уровня элементарных, которым соответствуют упорядоченные совокупности событий. Сами синтезируемые планы представляют собой упорядоченные композиции таких совокупностей.

Выполняемые в ходе редуцирования преобразования планов решения одних подзадач в другие (если это предусмотрено) реализуются путем выполнения трансформационных правил вида: $C \sim> [C,] C_1, C_2, \dots, C_k$, где C – элемент плана решения задачи; C_1, C_2, \dots, C_k – упорядоченная совокупность элементов, которыми дополняется или на которые заменяется элемент C (квадратные скобки указывают на отсутствие, в случае замены, заключенного в них элемента); $\sim>$ – символ трансформации.

При разработке МБЗ необходимо установить программных агентов принимающих участие в решении задачи, связать с ними знания о ПО, составить сценарий взаимодействия агентов. Инструментальные средства, используемые для создания МБЗ, представляют собой многоагентную оболочку, основными компонентами которой являются: анализатор запросов, многоагентный решатель, база знаний, диалоговые компоненты для организации дружественного интерфейса пользователя. Создание приложения заключается в формировании базы знаний агентов и настройке интерфейса.

В рамках учебных процессов многоагентные банки знаний могут использоваться не только для реализации вопросно-ответных отношений, но и для распреде-

ления учебных заданий, мониторинга их выполнения, личностно-ориентированного обучения с выбором наиболее подходящих для пользователя учебных материалов.

Список литературы

1. Миронов А.С., Зайцев Е.И. О концепции многоагентных учебных сред, называемых многоагентными статическими банками зна-

ний // *Материалы XVII Международной конференции “Современное образование: содержание, технологии, качество”. В 2-х. т. – СПб.:Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2011. Т.2. С. 155 - 156.*

2. Тарасов В.Б. *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям.* –М.: Эдиториал УРСС, 2002. -352с.

УДК 681.326(075)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОТОКОЛА TCP С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Борисов С.П., старший преподаватель;

Бунина Л.В., старший преподаватель;
Степанова И.В., к.г.-м.н., доцент.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Борисов С.П. e-mail: borisov@mirea.ru

Работа посвящена созданию эффективных моделей сетевых протоколов на основе теории массового обслуживания. Приведены исходные данные и основные соответствия для построения модели протокола TCP.

Ключевые слова: система массового обслуживания, сети массового обслуживания, протокол TCP, входной поток, очередь, заявка, выходной поток, передающее окно, буфер отправителя, принимающее окно, буфер получателя, сегмент, максимальный размер сегмента, тайм-аут повторной отправки.

BUILDING MODELS FOR EVALUATING THE PERFORMANCE OF THE TCP PROTOCOL WITH THE HELP OF THE MASS SERVICE THEORY

Borisov S.P.;
Bunina L.V.;
Stepanova I.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: borisov@mirea.ru

The work is devoted to the creation of effective models of network protocols based on the theory of mass service. The initial data and basic correspondences for constructing the TCP protocol model are given.

Key words: queuing system, queuing network, TCP protocol, input stream, queue, request, output stream, sending window, sender buffer, receiving window, recipient buffer, segment, maximum segment size, retransmission timeout.

В данной работе предлагается способы построения моделей для анализа производительности (пропускной способности) вычислительных сетей с точки зрения теории массового обслуживания.

Любая система массового обслуживания может включать в себя следующие элементы (представлены в порядке их рассмотрения при анализе СМО):

1. **Входящий поток требований.** Это основной элемент СМО. Описание этого элемента, как объекта СМО необходимо при построении, рассмотрении и анализе любой модели СМО.

2. **Очередь.** Этот элемент СМО появляется всегда, когда скорость поступления заявок превышает скорость их обслуживания. А это является еще одним очень важным объектом исследований. Интерес

представляет не только *длина очереди*, она может быть вычислена математически, но и порядок, по которому эта очередь будет обслужена - *дисциплина очереди*), *время ожидания*. Принцип формирования очереди также влияет на анализ СМО. Т.к. в некоторых СМО очереди не допустимы.

3. **Обслуживающее устройство.** Присутствие этого в любой СМО обязательно, от качества (производительности, надежности т.д.) его работы зависят все остальные элементы. От качества работы обслуживающего устройства, организации его работы зависит время обслуживания одной заявки, длина очереди и время ожидания обслуживания.

4. **Выходящий поток обслуженных требований.** Этот элемент важен во всех случаях, а не только, когда этот поток обслуженных заявок (требований) является входящим для другой модели СМО. Им можно пренебречь только в случаях, когда производительность выходного интерфейса ОУ имеет бесконечно большую величину.

В СМО поток заявок, поступающий на вход системы массового обслуживания за определенный период времени и время обслуживания такого требования(заявки) принято считать случайной величиной. Поэтому все модели СМО рассматриваются как стохастические. Введение предсказуемых, управляющих или управляемых объектов снижает уровень неопределенности в анализе. Постановка потоковых задач, математические методы, позволяющие их решать, являются математическим и логическим аппаратом решения технических задач.

Возьмем протокол ТСР в вычислительной сети и рассмотрим его работу и параметры с точки зрения систем массового обслуживания.

Основные параметры протокола ТСР, для рассмотрения с точки зрения СМО:

- W — размер окна передачи в байтах;
- R — скорость передачи со стороны отправителя (бит/с);
- D — задержка (секунда) время прохождения сегмента между отправителем и получателем (в одну сторону).

Если отправитель начинает передачу

последовательности байтов, то получатель получит первый байт через время D , а время получения подтверждения равно $2D$. За этого времени со стороны отправителя может быть передано $2 \cdot R \cdot D$ бит или $R \cdot D/4$. Но отправитель сегментов всегда ограничен в W байт и не может изменять размер окна до получения подтверждения.

Очевидно, что максимальная пропускная способность достигается только при $W > R \cdot D/4$. Если же $W < R \cdot D/4$, то пропускная способности (точнее близость к максимальной) будет выражаться отношением W к $R \cdot D/4$. Введя понятие «нормированная пропускная способность» S можно определить ее как:

$$S = \begin{cases} 1, & W \geq \frac{RD}{4} \\ \frac{4W}{RD}, & W < \frac{RD}{4} \end{cases} \quad (1)$$

Полоса пропускания и задержки в физической сети существенно ограничивают пропускную способность. Плохое качество пересылки данных приводит к большому объему отброшенных датаграмм, что вызывает повторную пересылку и, как следствие, снижает эффективность полосы пропускания [2].

Получатель, как клиент ТСР, на своей стороне, должен всегда обеспечивать буфер достаточного объема, это позволит отправителю пересылать данные без задержек в работе. Устойчивость потока данных от отправителя определяется буфером (окном приема) на стороне получателя, и оно должно быть не менее чем произведение полосы пропускания на задержку.

Загруженность центрального процессора, обрабатывающего заголовки сегментов ТСР, также приводит к снижению скорости передачи данных по сети.

Конфигурирование параметров ТСР, также влияет на пропускную способность сети. В частности, настройка размера буфера в зависимости от полосы пропускания и задержки сети, позволит существенно повысить производительность сети.

Даже сделав допущение на идеальность сетевого окружения: бесконечные процессорные ресурсы, и контекстное переключение выполняется мгновенно, нельзя по-

лучить максимальную пропускную способность. Имеет значение и качество разработки программного обеспечения ТСП.

Только получатель сегментов ТСП определяет, какой объем информации он сможет принять в обычном режиме, он исходит из того, насколько загружен потоком поступающих сегментов. Ограничение этого типа напрямую воздействует на отправителя сегментов ТСП.

Во время процедуры установления соединения обе стороны выделяет пространство для входного буфера соединения и уведомляют об этом друг друга. Отсюда следует, что размер потока зависит от размера входного буфера получателя и скорости его передачи приложению-получателю и скорости передачи отправителя.

$MAX \text{ поток} = MIN(\text{ скорость передачи отправителя, скорость освобождения входного буфера}).$

Необходимо рассмотреть параметры участвующие в ТСП

Приемное окно – количество байт во входном буфере (часть буфера) получателя, куда могут быть приняты данные от отправителя. Данные могут находиться во входном буфере до тех пор, пока не будут изъяты процессом-получателем.

Буфер получателя заполняется последовательно при поступлении данных. Когда процесс-получатель изымает данные из буфера, освобождается место для поступления новых данных.

Окно отправки. При передаче данных системе необходимо отслеживать несколько параметров: объем отправленных, объем подтвержденных данных, текущий размер приемного окна на стороне получателя.

Максимальный размер сегмента (в байтах) ($MSS - \text{maximum segment size}$) объявляет, какой максимальный размер данных, который может принять и обработать система. В ТСП сегмент состоит из заголовка и данных. При этом MSS определяется так:

$MSS = MAX \text{ datagram}(\text{на стороне получателя}) - 40 \text{ (байт)}$. С помощью MSS можно отразить максимальную полезную нагрузку для приемник при 20-байтных заголовках IP и ТСП.

Заявленное $MSS + 40 - (\text{заголовков ТСП} + \text{заголовков IP})$. Это и будет «эффективной передачей данных».

Размер приемного окна получателя имеет ограниченный размер и зависит от скорости очистки буфера MSS , что накладывает жесткие ограничения на пересылаемые в ТСП данные: «приемник не сможет обработать большие значения. Однако отправитель использует сегменты *меньшего размера*, поскольку для соединения определяется еще размер MTU по пути следования» [3].

Следующий параметр, который будет влиять на выбор производительность протокола ТСП это **тайм-аут повторной пересылки**. Это промежуток времени, которое ожидает система, прежде чем отправить повторно уже отправленный сегмент, если не придет подтверждение АСК.

После анализа протокола ТСП получили, что на его производительность влияют:

1. Эффективность отправки и получения данных. Влияющий фактор – приложения.

2. Настройка параметров. Влияющий фактор – системный диспетчер.

3. Эффективность и согласование программного обеспечения с ТСП. Влияющий фактор – согласованность и производительность межуровневых интерфейсов.

4. Ресурсы памяти и процессора, контекстное переключение процессов. Влияющий фактор – операционная система и аппаратное обеспечение.

5. Полоса пропускания, качество и емкость. Влияющий фактор – сеть и ее параметры

Проведя такую декомпозицию процессов, происходящих при передаче данных в ТСП, можно увидеть очевидную схожесть таких понятий СМО и передача данных ТСП.

Используя математический аппарат СМО можно анализировать передачу данных ТСП и управлять его производительностью, изменением параметров.

Для построения одной из таких моделей можно сопоставить:

Сегменты с данными или с подтверждениями ТСП - **требования (заявки)**.

Буферы (входные, выходные, окна) и их

размеры и последовательности сегментов - очереди заявок (требований) в СМО.

Данные от приложений и данные из текущего соединения – входные потоки.

данные в сеть и данные в приложения – выходные потоки заявок.

Рассматривая сети передачи данных с точки зрения сетей массового обслуживания, требуется поставить объекты вычислительных сетей в соответствие объектам СМО и оценить точность этого сопоставления, что в дальнейшем даст основание оценить точность выбранной модели.

УДК 004.414.2

АНАЛИЗ И МЕТОДИКА ВЫБОРА АЛГОРИТМОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ УСТАНОВКАМИ

**Деменкова Т.А., к.т.н., доцент, доцент
 кафедры «Вычислительная техника»;
 Финенко А.А., аспирант кафедры
 «Вычислительная техника**

Институт информационных технологий Московского технологического университета

© Автор для переписки: Деменкова Т.А. e-mail: demenkova@mirea.ru

Работа посвящена проблеме аппаратной реализации алгоритмов цифровой обработки информации на основе программируемых логических интегральных схем с архитектурой FPGA. Представлен анализ существующих алгоритмов и методика выбора оптимального решения для систем управления солнечными установками. Исследования проводились в рамках научно-исследовательского проекта базовой части государственного задания в сфере научной деятельности за 2017 год.

Ключевые слова: аппаратная реализация алгоритмов, системы управления, солнечные батареи

ANALYSIS AND METHODS OF SELECTION OF ALGORITHMS FOR CONTROL SYSTEMS OF

Список литературы

1. Pritsker A.A.B., Happ W.W., GERT: Part I – Fundamentals // *Journal of Industrial Engineering*. – 1966. -17 (5). - 267.
2. Кульгин М. *Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия* — СПб: Питер, 2000. — 704 с.
3. Фейт С., *TCP/ IP. Архитектура, протоколы, реализация (включая IP версии 6 и IP Security)* / Перевод: М. Кузьмин. – М: Лори, 2016. - 424 с.

SOLAR INSTALLATIONS

Demenkova T.A.;
Phinenko A.A.

Moscow technological university, Institute of information technology

© Corresponding author: Demenkova T.A. e-mail: demenkova@mirea.ru

The work is devoted to the problem of hardware implementation of algorithms of digital information processing on FPGA. Presents an analysis of existing algorithms and methods of selection of optimal solutions for control systems of solar installation. The studies were conducted in the framework of the research project of the basic part of state task in the sphere of scientific activities in 2017.

Key words: hardware implementation of algorithms, control systems, solar panels

В настоящее время весьма актуальной является задача аппаратной реализации алгоритмов цифровой обработки информации на основе программируемых логических интегральных схем с архитектурой FPGA. В работе представлены результаты исследований в этом направлении, касающиеся выбора алгоритма в области систем управления солнечными батареями [1,2]. В технологию управления входят все новые теоретические знания, контроллеры, актуаторы, сенсоры, промышленные процес-

сы, компьютерные методы, приложения, методики и испытания. В связи с опасениями по поводу энергетической независимости, выбросов вредных веществ в атмосферу, изменения климата и инженерных рисков, связанных с атомными электростанциями, в мире значительно повысился приоритет задачи поиска эффективных возобновляемых источников энергии. Одним из таких источников и является солнечная энергетика.

На сегодняшний день существуют два основных метода сбора и переработки солнечной энергии в электричество. Первым является использование фотоэлементов, объединенных в солнечные панели. А второй заключается в использовании солнечного коллектора для захвата лучевой энергии солнца, используя одну из двух основных архитектур процесса: либо хладагент устанавливается вблизи объекта, в котором локально сосредоточена энергия излучения, или энергия солнца фокусируется глобально, как на центральном приемнике системы. Применение систем управления солнечными установками позволяет держать постоянным уровень максимальной освещенности приемника, то есть когда лучи падают на коллекторы под прямым углом. Так как чаще всего коллекторы устанавливаются в статичном положении, время работы в режиме максимальной мощности ограничено.

Система управления, оснащенная системой слежения за солнцем, должны быть в состоянии следить за солнцем под правильным углом даже в периоды облачности. Для повышения энергетической эффективности солнечных коллекторов применяются различные типы и конструкции систем отслеживания. Замкнутые системы, как правило, показывают наилучшую точность отслеживания. Открытые солнечные системы характеризуются нахождением вектора светила, рассчитанным при помощи астрономических алгоритмов.

Системы закрытого цикла теряют сигнал обратной связи и, как следствие, положение солнца, когда сенсор затенен или солнце блокируется облаками. Системы с открытой архитектурой используют датчики с открытым циклом или алгоритмы, не

требующие изображения солнца как главной формы обратной связи. Датчик с разомкнутым контуром, такой как кодер, гарантирует, что солнечный коллектор располагается в необходимой позиции, которая вычисляется в результате работы специальной формулы или алгоритма.

Системы управления солнечными батареями специфичны, так как невозможно взять какую-либо стороннюю систему и адаптировать ее под новую задачу. Для солнечных установок системы управления проектируются с нуля с учетом таких специфических параметров, как особенности местности, где будет работать солнечная установка, климатические условия, параметры поведения солнца, характерные только для определенной местности на основе ранее проведенных наблюдений, физических и технологических параметров солнечных батарей. Таких параметров множество, что и делает системы управления сложными для последующей модернизации в связи с изменением одного или нескольких ключевых параметров, от которых напрямую зависит работа всей системы.

Перечисленные системы управления отличаются алгоритмами, на основе которых они построены. На начальном этапе создания любой системы управления разработчики сталкиваются с множеством вопросов, которые включают в себя и выбор алгоритма функционирования системы. При выборе алгоритма системы управления опираются на следующую методику:

1. Применимость для выбранной климатической зоны;
2. Совместимость с выбранными компонентами;
3. Возможность достижения наибольшей эффективности программной и аппаратной части проекта;
4. Способность к модернизации программной части;
5. Способность к модернизации аппаратной части;
6. Возможность моделирования разработанной системы до её фактической реализации;
7. Возможность мониторинга состояния системы, её основных параметров.

После выбора основного алгоритма начинается работа над созданием системы, а потом и над ее совершенствованием на основе результатов, полученных в ходе моделирования. Повышение эффективности работы солнечных установок, собирающих солнечную радиацию и конвертирующих её в электричество, лежит в понимании свойств радиации. Требуемая степень точности слежения за солнцем может зависеть от конкретных характеристик системы сбора солнечной энергии, но в целом более высокая точность слежения приведет к более высокому уровню выходной мощности. Точность и стабильность являются двумя из первичных проектных параметров системы управления солнечными батареями. В результате анализа были выделены четыре основных уровня управления солнечными установками:

Управление солнечными коллекторами;
 Оценка и прогноз солнечной энергии;
 Управление системой преобразования энергии;

Управление общим процессом.

Управление системами сбора солнечной энергии состоит из управления положением солнечных коллекторов для максимизации собранной энергии батареями в любой момент времени. Если коллектор представляет собой тарелку с двумя степенями свободы, система управления поддерживает положение, когда коллектор расположен перпендикулярно солнечному вектору. В случае коллектора в форме желоба или коллекторов с одной степенью свободы, задача системы управления сводится к поддержанию нормали поверхности коллектора как можно ближе к вектору солнца.

Контроллер должен постоянно высчитывать солнечный вектор, который зависит от географического положения коллектора, даты и времени. Полученная информация направляется на моторы, корректирующие положение коллекторов. Точное положение получают иногда при помощи сигналов, которые зависят от угла между нормалью поверхности коллектора и вектором падения солнечных лучей.

Были рассмотрены различные варианты стратегий управления. Они включают в

себя системы управления с разомкнутым контуром, системы управления с обратной связью и в некоторых случаях интегрированный или гибридный цикл системы управления, где объединены обе конфигурации системы - с открытым контуром и замкнутым контуром.

В результате проанализированной информации были выделены четыре основные категории управляющих элементов, которые применяются во всех типах разрабатываемых систем для достижения максимального эффекта внедрения:

1. Положение солнца: относительно положения системы в пространстве определяется солнечный вектор $S_Q(\gamma_s, \theta_s)$;

2. Эффективная система корректировки положения: для быстрой и эффективной коррекции положения панели в режиме максимальной мощности;

3. Управляющие входы: на вход подается необходимая информация (с фотодиодов или камер) для работы алгоритма вычисления солнечного вектора.

4. Система управления: управляющая последовательность и интеллект системы (диаграммы состояний) управляют электродвигателями и приводами, которые перемещают панель в точку с максимальной нагрузкой.

Сейчас в сфере промышленного управления солнечными батареями и концентраторами прослеживается тенденция к использованию контроллеров с открытым контуром, которые иногда также называют пассивными контроллерами. Эти контроллеры используют солнечные алгоритмы позиционирования. Контроллеры замкнутые (или активные контроллеры) достигают оптимальной точности отслеживания с помощью светочувствительной электроники. Она необходима для наблюдения за перемещением солнца, относительно которого система динамически будет менять положение батарей или концентратора относительно солнца. Более сложным решением является использование камеры для фиксации положения солнца. Но такой тип отслеживания наименее популярен из-за высокой электронной чувствительности к солнечной радиации, а также затрат на системные и программные мощности для

обработки изображений.

Основным алгоритмом в современных системах управления является алгоритм вычисления вектора солнца (или положения солнца), который описывается такими параметрами, как визуальный азимут солнца и угла возвышения относительно наблюдателя, находящегося в определенном географическом месте на поверхности земли. Также эти параметры зависят от времени и сезона в конкретном месте. В Национальной лаборатории возобновляемой энергии (NREL) был разработан один из самых точных алгоритмов для вычисления солнечного вектора с помощью астрономического подхода. Существуют и другие быстрые алгоритмы вычисления солнечного вектора, среди которых можно выделить Grena и Blanc&Murial от La Platforma Solar De Almeria (PSA). Они являются схожими с алгоритмом вычисления солнечного вектора, но являются менее точными или могут отличаться с точки зрения точности при работе на длинном временном отрезке, но конкурентоспособны благодаря скорости обработки и простой интеграции и последующей модерни-

зации системы. Другим хорошо известным высокоскоростным алгоритмом является алгоритм от Duffie&Beckman, который, как и алгоритмы Grena и PSA, может быть легко реализован на ПЛИС с архитектурой FPGA.

Результаты, полученные в работе, могут использоваться при проектировании широкого спектра устройств управления солнечными батареями, увеличивая выработку электроэнергии за световой день за счет постоянного нахождения солнечной панели в точке максимальной мощности.

Список литературы

1. Деменкова Т.А., Финенко А.А. Моделирование алгоритмов для интеллектуальных систем управления солнечными батареями / Интеллектуальные системы в информационном противоборстве: сборник научных трудов. Т.1 – М.: ФГБОУ ВО РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2016. С. 197-203.
2. Деменкова Т.А., Финенко А.А. Аппаратная реализация алгоритмов для систем управления солнечными батареями / Вестник МГТУ МИРЭА, № 2(7), 2015. С.20-29.

УДК 004.414.2

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Деменкова Т.А., к.т.н., доцент, доцент
кафедры «Вычислительная техника»;
Яровов Д.Д., аспирант кафедры «Вы-
числительная техника

*Институт информационных технологий Мос-
ковского технологического университета*

© Автор для переписки: Деменкова Т.А. e-mail:
demenkova@mirea.ru

*В работе предложены результаты исследования техно-
логии подготовки алгоритмов обработки радиолокаци-
онных изображений для перехода на аппаратный вари-
ант. Выполнен анализ инструментов и методов, кото-*

*рые используются для моделирования и верификации при
выполнении проекта. Рассмотрены характеристики
современной элементной базы в части использования
программируемых логических интегральных схем. Сделана
оценка производительности полученных решений.*

*Ключевые слова: аппаратная реализация алгоритмов,
программируемые логические интегральные схемы, об-
работка радиолокационных изображений*

ADAPTATION OF ALGORITHMS FOR HARDWARE IMPLEMENTATION

Demenkova T.A.;
Yarovov D.D.

*Moscow technological university, Institute of in-
formation technology*

© Corresponding author: Demenkova T.A. e-mail:

demenkova@mirea.ru

The paper presents the results of research of technology of training algorithms processing of radar images for hardware implementation. There are considered analysis of tools and methods that are used for simulation and verification in the implementation process of the project. The characteristics of modern element base on the use of programmable logic integrated circuits. Made performance evaluation of the obtained solutions.

Key words: hardware implementation of algorithms, VLSI, processing of radar images

В работе рассматривается актуальная задача подготовки алгоритмов цифровой обработки информации для перевода на аппаратную платформу.

В качестве объекта исследования взят алгоритм обработки радиолокационных изображений земной поверхности, главной особенностью которого является получение результатов независимо от метеорологических условий и уровня естественной освещенности. Такую возможность предоставляют радиолокационные станции (РЛС) с синтезированной апертурой (Synthetic Aperture Radar - SAR) [1]. Они используют характеристики распространения долгосрочных радиолокационных сигналов и возможность комплексной обработки информации на основе современной цифровой электроники, чтобы обеспечить высокое разрешение изображений. Технологии РЛС с синтезированной апертурой (SAR) обеспечивают структурную информацию о местности для нахождения полезных ископаемых, экологические границы разливов нефти на воде, состояние моря и карты ледяной опасности для навигации, а также существует много других применений.

Современные системы РЛС с синтезированной апертурой постоянно развиваются в направлении более высокого пространственного разрешения и новых режимов работы. Это требует использования высокочастотных полос пропускания в сочетании с широкими интервалами азимутальной интеграции. Для фокусировки таких данных необходимы методы обработки SAR высокого качества, которые спо-

собны справиться с более детальными параметрами сенсора. Обработка SAR является преобразованием исходных данных SAR-сигналов в пространственное изображение. В своей самой абстрактной форме это процесс выполнения корреляции частотной области принимаемого сигнала с двумерной системой передаточных функций. На практике он выполняется в несколько этапов, включая сжатие диапазона, миграцию диапазона и сжатие по азимуту.

Формат необработанных данных SAR состоит из файла объемного каталога, SAR Leader файла, файла исходных данных и файла нулевого объема. Файл объемного каталога описывает расположение данных на носителе. Файл Leader SAR предоставляет соответствующую информацию о конкретном наборе SAR данных.

Рассмотрим более подробно последовательность шагов выполнения алгоритма. Сначала необходимо настроить специализированное программное обеспечение под определенные условия, предъявляемые аппаратурой съемки. На данном этапе происходит выбор базовых атрибутов и характеристик. Устанавливаются базовые параметры для входных и выходных данных с учетом специфики передатчика.

После того как были уточнены все требования к аппаратуре и полученные данные подготовлены для корректировки, начинается процесс распаковки. На данном этапе происходит корректировка нефокусированных данных с учетом предъявляемых требований. В процессе распаковки данных получается необработанный участок съемки и требуется уточнить некоторые его аспекты с помощью параметризации местности. Происходит выборка нужного участка слоя (слоев) и его фильтрация. В результате будет получено базовое SLC изображение.

Как только требуемый участок местности выбран и сформированы все его слои, необходимо провести сжатие по дальности для последующего формирования конечного изображения. На данном этапе выполняется преобразование фазового сигнала в прямоугольный сигнал. В результате получается амплитудное изобра-

жение.

К получившемуся амплитудному изображению применяется миграция по дальности, чтобы придать изображению форму. На данном этапе происходит формирование прямоугольного сигнала в столбцы пикселей и получается амплитудное изображение высокой четкости.

Заключительным этапом обработки служит сжатие по азимуту, чтобы полученное изображение было удобно для восприятия.

При выборе элементной базы рассматривались несколько вариантов. Они основаны на серии Virtex-6, так как данная серия обладает достаточными функциональными возможностями, а также выбор компонентов данной серии не будет слишком затратным для внедрения в отличие от вариантов реализации с использованием технологии UltraScale или на немодернизируемых программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) серий Kintex-7 и Virtex-7.

В качестве аппаратной платформы был выбран вариант XC6VSX475T фирмы Xilinx семейства Virtex-6 подсемейства SXT, позволяющего производить высокоскоростную цифровую обработку сигналов. Данная ПЛИС содержит 476 тысяч логических ячеек, 74 тысячи слайсов, каждый из которых содержит 4 LUT и 8 Flip-Flop, и 2 тысячи DSP48E1 для цифровой обработки сигналов, каждый из которых содержит умножитель 25x18, сумматор и аккумулятор. Высокое быстродействие делает ее лучшей в этой серии ПЛИС фирмы Xilinx, а по параметрам цифровой обработки сигналов она может конкурировать даже с лучшими схемами седьмой серии и некоторыми ПЛИС семейства UltraScale. Кроме того, что эта схема перекрывает всю необходимую потребность в исчислениях, она обладает необходимой сетевой кооперацией в виде 36 GTX трансиверов. Каждый из них это комбинированный передатчик и приемник, способный работать со скоростью передачи данных от 480 Mb/s до 6,6 Gb/s. Они могут работать как одной группой, так и поддерживать до 4 разных групп соединений за счет поддержки до 4 Ethernet MAC на од-

ной плате. Также на ПЛИС реализованы два интерфейсных блока PCI Express, позволяющих подключать внешние устройства связи и обработки по данному интерфейсу. Единственным недостатком является то, что на данный момент эта FPGA не является модернизируемой, то есть заменяемой на более свежую версию из-за отсутствия таких схем на рынке.

Если в качестве основного критерия при выборе элементной базы будет выступать возможность модернизации, то может быть использована схема XC6VLX550T фирмы Xilinx семейства Virtex-6 подсемейства LXT, позволяющая производить высокоточные исчисления. Ее преимуществом является возможность модернизации данной ПЛИС до 7 или более современной серии фирмы Xilinx. ПЛИС содержит 550 тысяч логических ячеек, 86 тысяч слайсов и около тысячи DSP48E1 слайсов для цифровой обработки сигналов. Слайс DSP48E1 предоставляет возможность для конвейерной обработки сигналов.

Оценка производительности производилась с помощью SPIRAL HDL Generator, которая позволила симулировать работу алгоритма на FPGA фирмы Xilinx. На вход генератора необходимо подать параметры генерации и набор правил, чтобы выполнить соответствующий перебор микротестов. Для более глубокого исследования можно использовать части действительных приложений. Для анализа системы применялись самые жесткие условия эксплуатации, такие как одновременное использование БПФ и ОБПФ [2], расчеты комплексных составляющих.

На основании проведенных в работе исследований были сделаны выводы, что рассмотренные алгоритмические блоки принципиально могут быть реализованы аппаратно, что было показано на примере блока с использованием БПФ (Быстрое Преобразование Фурье). Была предложена методика оценки производительности данного блока с использованием стандартных программных средств.

Полученные результаты можно использовать для аппаратной реализации алгоритмов обработки изображений для вы-

числительных систем различного назначения.

Исследования проводились в рамках научно-исследовательского проекта базовой части государственного задания в сфере научной деятельности за 2017 год.

Список литературы

1. Радиолокационные системы землеобзо-

ра космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. – М.: Радиотехника, 2010.

2. Деменкова Т.А., Николаев С.А., Певцов Е.Ф. Аппаратная реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов для синтеза радиолокационных изображений / Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Сборник трудов. ОАО НПП Пульсар, 2014. С.107-110.

УДК 532

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ БЛИЖНЕГО СЛЕДА

Кишкин А.М., старший преподаватель;

Шишова А.Д., старший преподаватель

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Кишкин А.М. e-mail: rikis19@gmail.com

Приведён вывод дифференциальных уравнений следа в физически ясной форме с использованием неопределённого на начальном этапе формпараметра m . В предположении постоянства коэффициента трения поперёк всего слоя вычисляется конечный параметр диссипации. Рекомендован алгоритм расчёта слоя и следа, использующий простую приближённую связь толщины тела вытеснения и скорости внешнего течения.

Ключевые слова: след, пограничный слой, формпараметр, параметр диссипации

DIFFERENTIAL EQUATIONS OF MIDDLE TRACE

**Kishkin A.M. ;
Shishova A.D.**

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: e-mail : rikis19@gmail.com

The conclusion of differential equations of trace in the physically clear form with use uncertain on the initial stage of formparameter m is given. . In the assumption of a constancy of factor of friction across all layer final parameter of dissipation is calculated. The algorithm of account of a layer and trace using simple approached communication (connection) of thickness of a body of replacement and speed of external current is recommended.

Keywords: trace, boundary layer, formparameter, parameter of dissipation

В ближнем следе при отрывном обтекании с однопараметрическим профилем скорости при заданном распределении давлений $p=p(x)$ (или скорости внешнего потока $v=v(x)$, связанной с давлением интегралом Бернулли) имеются две неизвестные функции: толщина вытеснения $\delta^* = \delta^*(x)$ и формпараметр $m = m(x)$. Поэтому следует указать как минимум два уравнения, в которые входили бы эти функции. Первым уравнением обязательно должно быть уравнение импульсов (Кармана),

$$d \ln \delta^{**} / dx + (2 + H) d \ln v / dx = \tau_0 / (\rho v^2 \delta^{**})$$

в котором в случае следа напряжение трения на границе равно нулю. Второе уравнение выбирается неоднозначно. В принципе оно может быть любым интегральным соотношением пограничного слоя (Голубева или Лойцянского). А.С. Гиневский предложил использовать дифференциальное уравнение пограничного слоя на оси симметрии следа ($y = 0$)

$$\rho u_0 \frac{du_0}{dx} + \frac{dp}{dx} = \left(\frac{\partial \tau}{\partial y} \right)_0,$$

где $u_0 = (1-m)v$ – скорость на оси следа,

$$\tau = \mu_\tau \frac{\partial u}{\partial y};$$

$$\mu_\tau = \chi \delta \rho (v - u_0);$$

$$u = v[1 - mf(\eta)];$$

$$\eta = \frac{y}{\delta}.$$

Это уравнение проще любых интегральных соотношений, т.к. не содержит производной $\frac{\partial \delta}{\partial x}$, и, как показали многочисленные расчеты, дает удовлетворительные результаты. После подстановок и преобразований

$$(m-1) \frac{dm}{dx} + m(m-2) \frac{d \ln v}{dx} = -\chi f''(0) m^2 / \delta \quad (1)$$

где для полиномиального профиля $f''(0) = -6$, $\delta = \delta^* / H^* = 2\delta^* / m$.

В уравнении импульсов для того же профиля $\delta^{**} = \delta^* / H = \delta^* (1 - 26m/35)$ и оно принимает вид:

$$\frac{1}{35/26 - m} \frac{dm}{dx} - \frac{105/26 - 2m}{35/26 - m} \frac{d \ln v}{dx} - \frac{d \ln \delta^*}{dx} = 0 \quad (2)$$

Для проведения расчетов систему уравнений целесообразно разрешить относительно двух из трех входящих в них производных при задании $\frac{dv}{dx}$ или $\frac{d\delta^*}{dx}$.

В первом случае определитель системы $\Delta = 1 - m$, и он имеет известную особенность в турбулентном пограничном слое при $m = 1$ в точке отрыва (присоединения) РЛТ. Во втором случае этой особенности нет. Таким образом, имеем

$$\Delta = \frac{[(m-1)(2m - 105/26) - m(m-2)]}{(35/26 - m)} \approx$$

$$\frac{(2-m)^2}{35/26 - m} \neq 0$$

и, соответственно

$$\frac{d \ln v}{dx} = \frac{35/26 - m}{(2-m)2\delta^*} \left[(m-1) \frac{d\delta^*}{dx} - \frac{3\chi m^3}{35/26 - m} \right],$$

$$\frac{dm}{dx} = \frac{35/26 - m}{(2-m)2\delta^*} \left[\frac{d\delta^*}{dx} - \frac{6\chi m^2}{35/26 - m} \right]. \quad (3)$$

Последние уравнения – основные для расчета следа. Они определяют неизвестные функции $v(x)$, $m(x)$, $\delta^*(x)$, учитывая, также, третье уравнение "сильного взаимодействия", связи угла наклона границы скорости $\alpha_\pm = \frac{dy_\pm}{dx}$ и скорости $v = v(x)$ через интеграл Шварца и формулу Келдыша-Седова. Однако и без учёта связи v и δ^* уравнения (3) позволяют сделать важные выводы.

Прежде всего, поскольку $\delta^* \rightarrow \text{Const}$, в силу второго уравнения (3) $\frac{dm}{dx} < 0$ и формпараметр m уменьшается до нуля, $\frac{dm}{dx} \equiv 0$. Из первого уравнения (3) видно, что при этом одновременно и $v \rightarrow \text{Const}$, в очевидном согласии со свойствами потенциального потока. Далее вблизи начального сечения, когда

$$m \approx m_0 = 35/26,$$

$$\frac{d \ln v}{dx} \approx -3 \frac{(26(17)^2 \chi m^3)}{\delta^*}, \quad \frac{dm}{dx} \approx$$

$$-6 \frac{\left(\frac{26}{17}\right) \chi m^3}{\delta^*}$$

$$\frac{d\delta^*}{dx} = \alpha, \quad \text{а} \quad \frac{d \ln v}{dm} \approx \frac{26}{35} = \text{Const}$$

Наконец, в дальнем следе, в котором $p = p_\infty = \text{Const}$, уравнения (3) позволяют найти $\delta^*(x)$, $m(x)$ в результате интегрирования очень простой схемы, не содержащей v :

$$\frac{d\delta^*}{dm} = -\frac{(2-m)\delta^*(1-m)}{\frac{35}{26}-m} \approx -\frac{42}{35}\delta^*,$$

$$\frac{dm}{dx} = -\frac{3\chi m^3 \delta^*}{2-m} \approx \frac{3\chi m^3}{2\delta^*}.$$

Тело вытеснения располагается в физической плоскости $z = x + iy$ и обтекается потенциальным потоком с комплексной скоростью $v = ve^{-i\alpha}$.

Не нарушая общности, можно считать, что комплексная скорость на бесконечности $v_\infty e^{-i\alpha_\infty} = 1$ ($v_\infty = 1, \alpha_\infty = 0$).

Обтекаемая граница АВ профиля – отрезок прямой единичной длины, расположенный под углом β , на ОА $\alpha = -\beta$, на ОВ $\alpha = \pi - \beta$; на границе АС₋ и ВС₊ изобарической области $v = v_0$. Тело вытеснения в части следа представляет собой узкую полосу малой кривизны и малого наклона, на границах которой полагать

$$\cos \alpha_\pm \approx 1, \sin \alpha_\pm \approx \alpha_\pm \approx \frac{dy_\pm}{dx}.$$

Рассматриваем функцию Жуковского $\ln v = \ln v - i\alpha$ как аналитическую функцию параметрического переменного $\zeta = \xi + i\eta$ в верхней полуплоскости $\text{Im} \zeta \geq 0$, в которой комплексный потенциал $w = \phi + i\psi = \zeta^2$ (рис. 1).

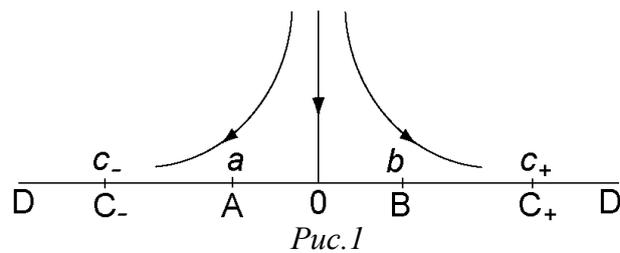


Рис. 1

(4)

На границе $\zeta = \xi$ координаты контура тела вытеснения

$$x(\zeta) = 2 \int e^{-\ln v(\xi)} \cos \alpha(\xi) \xi d\xi,$$

$$y(\zeta) = 2 \int e^{-\ln v(\xi)} \sin \alpha(\xi) \xi d\xi.$$

Интегрирование и отсчёт длины дуги производится от точки разветвления О, в которой $\xi = 0$, по потоку. Соответствие границ устанавливается формулой (5)

Список литературы

1. Гогин Л.В., Степанов Г.Ю. Отрывные и кавитационные течения. М., Наука. 1990.
2. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. М., Наука. 1966.
3. Кишкин А.М., Пирумов А.Р. Ближний след за тонким крыловым профилем при его отрывном обтекании. М. Радиотехника, Электромагнитные волны и электронные системы, 2006, т. 11.

УДК 004.652

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОТНОШЕНИЯМИ С КЛИЕНТАМИ (CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT (CRM))

Пирумов А. Р.¹, к.т.н., доцент;
 Прудкин В.Е.², ст. преподаватель;

¹Физико-технологический институт Москов-

ского технологического университета, кафедра
 электротехники и механики

²Институт комплексной безопасности и специального приборостроения Московского технологического университета, кафедра КБ-4

© Автор для переписки: Прудкин В.Е.. e-mail:
 prudkin1503@post.ru

Работа посвящена примерам решения проблем адаптации Систем Управления Взаимодействием с Клиентами(CRM).

Ключевые слова: клиент, информация, система, контроль, внедрение

PROBLEMS OF INTRODUCTION OF CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT (CRM)

Pirumov A.R.¹;
Prudkin V.E.²;

¹*Moscow technological university. Physico-technological institute*

²*Moscow technological university. Institute for integrated security, and special instrumentation*

@Corresponding author e-mail: e-mail:
prudkin1503@post.ru

The work is devoted to examples of solutions to the problems of adaptation of management systems interaction with clients

Key words: client, information, system, control, introduction

Customer Relationship Management Systems (Системы Управления Взаимодействием с Клиентами или, сокращенно, CRM[S]) - это сложные, многокомпонентные механизмы, включающие в себя и базы данных, и модули обработки информации. Все это должно быть синхронизовано со многими каналами связи (от традиционных call-центров до мобильного серви-

са) и органично интегрировано в уже существующие корпоративные системы, в противном случае вместо ожидаемого увеличения продаж мы получим только огромную головную боль с необходимостью радикальной реорганизации уже сложившегося уклада. Заказчики сталкиваются с проблемой: после внедрение CRM-системы в свою компанию они не получают ожидаемые преимущества. Процесс внедрения CRM-системы очень трудоёмок и требует кропотливой работы от всех подразделений предприятия, а также от его руководства. Только в этом случае будет достигнут ожидаемый результат.

В качестве примера приведено решение определенной проблемы, которая возникла при внедрении CRM-системой Siebel. Возникла необходимость при добавлении новой компании (клиента) отослать уведомление на электронную почту рабочей группе (сотрудникам, которые назначены для работы с клиентом). В тексте уведомления должны быть перечислены сотрудники, входящие в рабочую группу и ответственный по компании. Данную задачу не удалось реализовать функциями, предложенными разработчиками. Поэтому был написан скрипт на языке eScript, который входит в состав Siebel CRM.

Текст скрипта

```
var body = "В составе Рабочей группы компании"; // текст письма
var strId ; // id строки
var strType = "Account"; // эта переменная обозначает экран
«Компании»
var strLastNames = ""; // имена и фамилии сотрудников из
рабочей группы
var oMVGBC;
var isRecord;
var oBO = TheApplication().GetBusObject(strType); // создаём бизнес объект
var oBC = oBO.GetBusComp(strType); // создаём бизнес компонент
var strId = oBC.GetFieldValue("Id"); // получаем id текущей строки
with (oBC)
{
InvokeMethod("SetAdminMode", "TRUE");
SetSearchSpec("Id", strId);
ExecuteQuery(ForwardOnly);
}
var subject = oBC.GetFieldValue("Name"); // тема письма
var osn;
var osnovnoy;
```

```

var strEmails = null; // адреса электронной почты со-
трудников
body = body + " " + subject + " произошло изменение. \n";
if(oBC.FirstRecord() != 0)
{
  oMVGBC = oBC.GetMVGBCComp ("Sales Rep"); // получаем доступ
  with(oMVGBC) // к полю «Рабочая группа»
  {
    ActivateField ("Active Email");
    ExecuteQuery(ForwardOnly);
    isRecord = FirstRecord();
  }
  while (isRecord)
  {
    if(oMVGBC.GetFieldValue("Active Email") != null)
    {
      if (strEmails != null)
      {
        strEmails = strEmails + ",";
        strEmails = strEmails +
oMVGBC.GetFieldValue("Active Email"); // формируем список
        // электронных почт
      }
      else
        strEmails = oMVGBC.GetFieldValue("Active Email");

      osn = oMVGBC.GetFieldValue("SSA Primary Field");
      if (osn == "Y") // определяем ответственного
        osnovnoy = oMVGBC.GetFieldValue("Active First Name")+
" " + oMVGBC.GetFieldValue("Active Last Name");
      else
      {
        strLastNames = strLastNames + oMVGBC.GetFieldValue("Active First
Name")+ " " + oMVGBC.GetFieldValue("Active Last Name") + "\n"; // формируем состав
        // рабочей группы
      }
      isRecord = oMVGBC.NextRecord();
    }
  }
  body =body + "Ответственный по компании: \n" + osnovnoy + "\nРабочая группа: \n" +
strLastNames + strEmails + RecId; // формируем тело письма
  var bs = TheApplication().GetService("Outbound Communications Manager");
  // создаем бизнес сервис, который отправляет электронные письма
  var inputs = TheApplication().NewPropertySet();
  var outputs = TheApplication().NewPropertySet();
  var CommProfile = "Default SMTP Profile";
  var subject = "Изменение состава рабочей группы по компании: " + subject;
  inputs.SetProperty("CommProfile", CommProfile);
  inputs.SetProperty("MsgToList", strEmails);
  inputs.SetProperty("MsgBody", body);
  inputs.SetProperty("MsgSubject", subject);
  bs.InvokeMethod("SendMessage", inputs, outputs); // отправка писем
  inputs = null;

```

```
outputs = null;
bs = null;
oMVGBC = null;
oBC = null;
oBO = null;
}
```

Его необходимо вставить в Business Service (Server Script) и запускать через Runtime Events. Это показывает, что даже в таких системах как Siebel, которая считается лидером на рынке CRM-систем, типовая на первый взгляд задача имеет простое решение.

Список литературы

1. <http://www.crmonline.ru/>
2. Ф. Ньюэлл «Почему не работают системы управления отношениями с клиентами (CRM): Как добиться успеха, позволив клиентам управлять отношениями с вашей компанией» М.: Издательство «Добрая книга», 2004
3. «Siebel Business Process Framework: Workflow Guide» / Руководство по созданию бизнес процессов, 2008 г.

УДК 004.624

ПРОТОКОЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОПОТОКА С ПОДДЕРЖКОЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СУБТИТРОВ

Бессуднов В.В., аспирант

Кафедра аппаратного, программного и математического обеспечения вычислительных систем Московского технологического университета

© Автор для переписки: Бессуднов В.В., e-mail: v.v.bessudnov@gmail.com

Работа посвящена анализу имеющихся протоколов передачи видеопотока и поиску технологии с поддержкой добавления субтитров к потоковому видео. Также приводится список недостатков имеющихся протоколов и предлагается в качестве альтернативы новый протокол, находящийся в стадии разработки.

Ключевые слова: трансляции потокового видео, RTMP, HLS, MPEG, DASH

PROTOCOL FOR STREAMING VIDEO WITH SUBTITLE SUPPORT

Bessudnov V.V.

Moscow technological university, department of hardware and software computer systems

© Corresponding author e-mail: e-mail: v.v.bessudnov@gmail.com

The work is dedicated to analyzing of available streaming protocols and searching for protocols that allow using subtitles with streamed video. Also there is a review of pros and cons for my research that every protocol has. As an alternative article suggests new protocol that being developed.

Key words: online video streaming; RTMP, HLS, MPEG, DASH

На сегодняшний день в глобальной сети Интернет активно используются технологии для трансляции аудио-видео потоков с компьютеров обычных пользователей. Подобные технологии используются для:

- Трансляции вебинаров и удалённого обучения;
- Новостных трансляций;
- Развлекательных трансляций;

На данный момент существует множество технологий для проведения таких трансляций. Самыми популярными являются RTMP (Real Time Messaging Protocol)

и HLS (HTTP Live Streaming) (рис. 1)

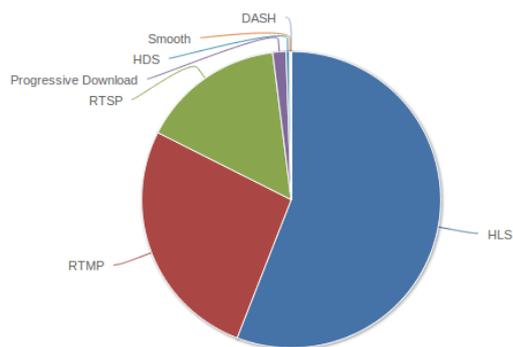


Рис. 1. Доля разных протоколов в 2016 году

В рамках моего диссертационного исследования, направленного на динамическую подмену языка текстовых сообщений, у меня возникла необходимость подменять субтитры в видео потоке без высоких процессорных затрат.

Для того чтобы определить наиболее подходящий для моих целей протокол мною были проанализированы принципы работы и возможности данных технологий.

Технология RTMP до недавнего времени была абсолютным лидером по популярности, однако с переходом компании Apple исключительно на протокол HLS, RTMP перешла на второе место. RTMP всё ещё имеет существенное преимущество в том что задержка между отправкой видео потока и отображением его на экране конечного пользователя относительно мала. К сожалению RTMP, во-первых, был разработан не для передачи видео потоков, а для текстовых онлайн чатов. Это отражается в том, что RTMP не предоставляет даже такого базового функционала для видео как поддержку субтитров. Во-вторых, протокол является проприетарным, что сильно сказывается на возможности просмотра потока без помощи Adobe Flash и на возможности его модифицировать для добавления поддержки субтитров.

Протоколы HLS и DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) очень близки по принципу работы и в основе обоих технологий лежит создание папки с сегментированными файлами видео на компьютере конечного пользователя (рис. 2). Из плюсов этих протоколов стоит отме-

тить возможность использования их с бесплатными веб-серверами Apache или nginx. Однако из-за специфики принципов работы возникает огромная задержка (более 10 секунд) между моментом отправки изображения и отображением его на экране конечного пользователя.

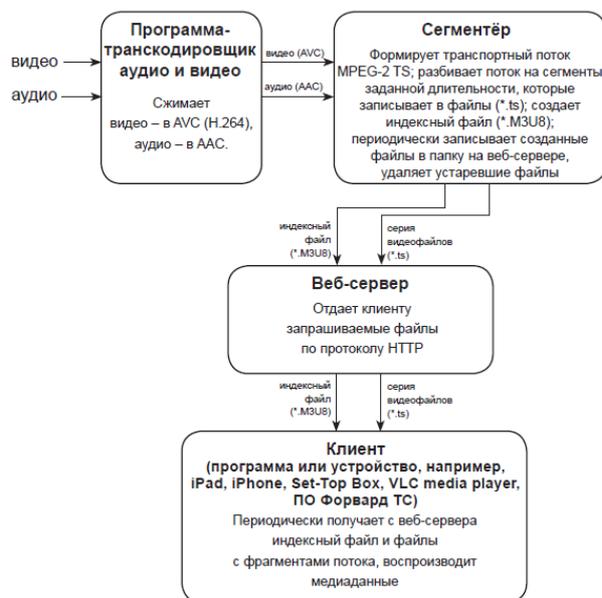


Рис. 2. Принцип работы протокола HLS

Подключение субтитров к потоку DASH или HLS невозможно потому что протоколы не передают текущие отметки времени видео файла.

Остальные технологии передачи мультимедийных потоков не предназначены для передачи трансляций, генерирующихся на ходу, таких как трансляции, в которых необходимо участие зрителей. Таким образом для наших целей не подошёл ни один из рассмотренных протоколов, что заставило нашу исследовательскую группу начать разработку своего собственного протокола, поддерживающего передачу видео с субтитрами на различных языках.

В основу протокола лёг протокол RTMP, чтобы была возможность организовать обратную совместимость с уже имеющимися приложениями для трансляции видеопотоков. Особенностью нового протокола является постоянная передача массива текущих субтитров на разных языках в момент необходимости его отображения на экране. Открытость проекта

позволит создание сторонних серверов, независимых от крупных компаний, таких как Adobe, и добавление нового функционала. Разработка ведётся на языке Rust и находится в стадии Alpha-тестирования.

Список литературы

1. S. Lederer, C. Mueller and C. Timmerer,

«Dynamic Adaptive Streaming over HTTP Dataset», In Proceedings of the ACM Multimedia Systems Conference 2012, Chapel Hill, North Carolina, February 22-24, 2012.

12. H. Parmar, M. Thornburgh (eds.) Adobe's Real Time Messaging Protocol, Adobe, December 21, 2011

УДК 004.89

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Халабия Р. Ф., к. т.н. доцент
Капустин С. В., аспирант

кафедра аппаратного, программного и математического обеспечения вычислительных систем Московского технологического университета

© Автор для переписки: Капустин С.В. e-mail: s27041983@gmail.com

Рассмотрены основные области практического применения сенсорных сетей. Рассмотрены принципиальные основы построения сенсорных сетей. Проанализированы проблемы при развертывании и эксплуатации беспроводных сенсорных.

Ключевые слова: сенсорные сети, беспроводные сети, источники питания, узлы-моты.

MAIN PROBLEMS OF DEPLOYMENT OF TOUCH NETWORKS

Halabia R. F.;
Kapustin S.V.

Moscow technological university, department of hardware and software computer systems

© Corresponding author Kapustin S.V.: e-mail: s27041983@gmail.com

The main areas of practical application of sensor networks are considered. Principal principles of construction of sensor networks are considered. The problems in the deployment

and operation of wireless sensor are analyzed.

Key words: Sensory networks, wireless networks, power supplies, knots-motors.

Беспроводные сенсорные сети (БСС) в полной мере отражают успехи, достигнутые на современном этапе развития микроэлектроники. Благодаря таким характеристикам узлов БСС, как миниатюрность, низкое энергопотребление, встроенный радиointерфейс, достаточная вычислительная мощность, сравнительно невысокая стоимость, стало возможным их широкое использование во многих сферах человеческой деятельности с целью автоматизации процессов сбора информации, мониторинга и контроля в среде технических и природных объектов.

БСС обладают рядом отличительными особенностями по сравнению с другими информационно-вычислительными сетями. Прежде всего, это технологии обмена данными и собственной структуры. Чаще всего сеть строится на базе набора интеллектуальных узлов (smart nodes), в которые интегрированы радиочастотные приемопередатчики (RF-трансиверы), процессорные элементы, сенсорные элементы (датчики) и элементы питания. Сенсорные узлы могут закрепляться стационарно, а также иметь относительную мобильность, то есть произвольно перемещаться друг относительно друга в некотором пространстве, не нарушая при этом логической связанности сети. В этом случае сенсорная сеть не имеет фиксированной постоянной топологии, и ее структура динамически меняется с те-

чением времени.

Можно выделить несколько вариантов построения сети.

1. БСС со статической топологией, заранее определенной на этапе ее проектирования с учетом различных факторов. Такие сети имеют свои преимущества, однако, в ряде

случаев жесткая фиксация местоположения сенсорных узлов не является возможной.

2. БСС с сетевой топологией, предполагающей наличие двух структур – статической и динамической. Статическую основу структуры БСС (backbone) составляют узлы-маршрутизаторы с фиксированным пространственным расположением, подключенные к внешним источникам питания, с большей мощностью радиопередатчика. Динамическая часть БСС представлена мобильными узлами, которые могут перемещаться внутри зон ответственности маршрутизаторов, используя автоматическую поддержку механизма «перехвата» при переходе между зонами. Фактически конфигурация динамической части такой сети постоянно меняется, но с определенными ограничениями, зависящими от расположения и характеристик стационарных узлов.

3. БСС с сетевой топологией, предполагающей полностью мобильную динамическую конфигурацию сети, когда оконечные сенсорные узлы и узлы, выполняющие функции координаторов или маршрутизаторов, могут постоянно менять свое местоположение. Соответственно, разные принципы организации архитектуры БСС требуют применения ряда специфических алгоритмов, предназначенных, прежде всего, для обеспечения эффективной маршрутизации, оптимального управления энергопитанием, реконфигурации логической топологии, самоорганизации сети в целом.

Важнейшим фактором при работе беспроводных сенсорных сетей является ограниченная емкость батарей, устанавливаемых на моты. Мот представляет собой плату на которой размещается процессор, память — флэш и оперативная, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи, радиочастотный приемопередатчик,

источник питания и датчики. Следует учитывать, что заменить батареи чаще всего невозможно. В связи с этим необходимо выполнять на мотах только простейшую первичную обработку, ориентированную на уменьшение объема передаваемой информации, и, что самое главное, минимизировать число циклов приема и передачи данных. Для решения этой задачи разработаны специальные коммуникационные протоколы, наиболее известными из которых являются протоколы альянса ZigBee.

Разработать схемы обмена данными между сотнями и даже тысячами мотов не так-то просто, необходимо учесть тот факт, что сенсорные сети работают в нелегализованных частотных диапазонах, поэтому в ряде случаев могут возникать помехи, создаваемые посторонними источниками радиосигналов. Желательно также избегать повторной передачи одних и тех же данных, а кроме того, учитывать, что из-за недостаточной энергоемкости и внешних воздействий моты будут выходить из строя навсегда или на какое-то время. Во всех таких случаях схемы обмена данными должны модифицироваться. Поскольку одной из важнейших функций TinyOS является автоматический выбор схемы организации сети и маршрутов передачи данных, беспроводные сенсорные сети по существу являются самонастраиваемыми.

Одной из существенных проблем создания и эксплуатации сенсорных сетей является адресация узлов и маршрутизация сообщений в сенсорных сетях. Обычно адрес каждого узла основывается на уникальном идентификаторе узла, задаваемом аппаратно при изготовлении узла или программно при развертывании сенсорной сети. В таких системах адресом узла является цепочка идентификаторов узлов, по которым должно пройти сообщение, чтобы достигнуть заданного узла. Адрес может включать идентификатор базовой станции, чтобы однозначно определить маршрут передачи сообщения от центрального устройства передачи данных. В узлах сенсорной сети обычно хранят таблицы маршрутизации, т.е. списки идентификаторов узлов, непосредственно связанных с данным

узлом, и, возможно, списки идентификаторов тех узлов, с которыми связаны узлы, непосредственно связанные с данным узлом.

Известные в технике способы самоорганизации сенсорных сетей, направленные на решение указанной выше проблемы, представляют собой разнообразные комбинации способов составления таблиц маршрутизации и способов присоединения новых узлов к существующим сетям. Необходимость хранения таблиц маршрутизации в каждом узле приводит к топологическим ограничениям. На нынешнем уровне техники ограничения объема памяти, быстродействия и энергопотребления узла приводят к тому, что общее количество узлов в сенсорной сети не может превышать порядка 10000 узлов, причем ограничения на топологию их взаимосвязей вносят дополнительные ограничения или требуют ручной конфигурации сети.

Другим существенным недостатком сенсорных сетей с адресацией на основе уникальных идентификаторов является сложность развертывания сети. Каждый из узлов сети должен быть однозначно идентифицирован и зарегистрирован в центральном устройстве обработки данных. Поскольку большинство вариантов применения сенсорных сетей предусматривает привязку узлов к определенным точкам в пространстве то операция регистрации уникальных идентификаторов узлов включает пространственную привязку. Для сетей размерностью порядка 10000 узлов данная операция является очень трудоемкой и приводящей к множеству ошибок. Оснащение узлов сенсорной сети приемниками глобальных навигационных спутниковых систем не позволит в полной мере решить проблему адресации узлов и маршрутизации сообщений. При использовании навигационных устройств возможно использовать географические координаты в качестве адреса узла, но использование навигационного приемника в каждом узле приводит к удорожанию устройств, повышенному энергопотреблению, а также к невозможности развертывания сенсорной сети на территориях с неустойчивым приемом спутниковых сигналов и внутри

помещений либо под землей. Оснащение же навигационными приемниками только базовых станций в сочетании с адресацией узлов сети на основе уникальных идентификаторов частично устранит описанные выше недостатки, но усложнит при этом архитектуру и аппаратный состав сети.

Некоторые узлы могут выйти из строя из-за отсутствия энергии, физических повреждений или стороннего вмешательства. Отказ узла не должен повлиять на работу сенсорной сети. Отказоустойчивость - способность поддерживать функциональность сенсорной сети без сбоя при выходе из строя узла. Стоит обратить внимание на то, что протоколы и алгоритмы могут быть ориентированы на уровень отказоустойчивости, требуемый для построения сенсорных сетей. Если среда, в которой узлы размещены мало подвержена вмешательствам, то протоколы могут быть менее отказоустойчивыми. В результате, уровень отказоустойчивости зависит от применения сенсорных сетей и модели должны быть разработаны с учетом этого. Количество узлов развернутых для изучения явления может быть порядка сотен или тысяч. В зависимости от приложения, число может достигать экстремальных значений (миллионов). Новые модели должны быть в состоянии работать с этим числом узлов. Они также должны использовать высокую плотность сенсорных сетей, которая может варьироваться от нескольких узлов до нескольких сотен на участке, который может быть меньше 10 м в диаметре.

Так как сенсорные сети состоят из большого количества узлов, то стоимость одного узла должна быть такой, чтобы оправдать общую стоимость сети. Если стоимость сети выше, чем развертывание традиционных датчиков, то она не экономически оправдана. В результате, стоимость каждого узла должна быть низкой. Кроме того они могут быть оборудованы системой определения местонахождения или силовым генератором в зависимости от применения сенсорных сетей. В результате стоимость узла это сложный вопрос, учитывая количество функциональных возможностей.

Список литературы

1. Суханов А.В., Прокофьев И.В., Гусев Д.В. Мультиагентная система мониторинга web-датчиков, созданная на основе наносенсорики // Нано- и микросистемная техника. -2014. №6. –С. 42-45.
2. Смурыгин И.М. Концепция организации беспроводных сенсорных сетей и их применение. –

Молодежный научно-технический вестник / ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», 2012, № 9.

3. В. Э. Иванов, А. В. Левенец, Чье Ен Ун Проблемно-ориентированные сенсорные сети: практический подход. -2015г. С.15-17.

УДК 76.01.37

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВОПРОСАХ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ВЕРТЕБРОЛОГИИ

**Щербаков Г.Д., специалист отдела
технического регулирования и стандартизации в машиностроении;**

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

® Автор для переписки: Щербаков Г.Д. e-mail: gsherbakov@gost.ru

Работа посвящена использованию современных информационных технологий, а именно метода конечных элементов в качестве основы для разработки стандарта на транспедикулярный винт, который является наиболее часто используемым элементом в вертебродологии. Приведены полученные с помощью программного пакета ANSYS результаты расчетов.

Ключевые слова: транспедикулярная фиксация, стандартизация, метод конечных элементов, вертебродология.

INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE ISSUES OF STANDARDIZATION IN VERTEBROLOGY .

Shcherbakov G.D.

Federal Agency on Technical Regulation and Metrology

® Corresponding author e-mail: e-mail:

gsherbakov@gost.ru

The work is devoted to the use of modern information technologies, namely the finite element method in the quality of the basis for the development of the standard for transpedicular screw, which is the most frequently used element in vertebratology. Results of calculations received with the help of the software package ANSYS are presented.

Key words: Transpedicular screw fixation ,Standardization Finite element method, Vertebratology.

«Каждый пациент должен получить такую медицинскую помощь, которая привела бы к оптимальным для его здоровья результатам в соответствии с уровнем медицинской науки, возрастом пациента, диагнозом заболевания, реакцией на лечение; при этом должны быть привлечены минимальные средства, риск дополнительного травмирования или нетрудоспособности должен быть минимальным, а результат и удовлетворение от процесса оказываемой медицинской помощи максимальными»

Данная цитата является определением качества медицинской помощи во Всемирной Организации Здравоохранения. Одним из инструментов, который позволяет в разы повысить данный параметр является стандартизация в здравоохранении. Правильно разработанный стандарт позволяет не только учесть все медицинские, биологические, механические параметры необходимы для достижения оптимального результата лечения, но и тем самым задать некоторый уровень развития для объекта стандартизации. Тем самым речь идет не о просто стандартизации направленной на минимизацию возможных рисков, а о пре-

дупреждающей стандартизации, когда производителям медицинских изделий необходимо развивать свое производство, использовать новейшие доступные технологии для того, что бы конечное изделие соответствовало требованиям.

Таким образом, опережающая стандартизация позволяет последовательно реализовать 3 важнейшие задачи стандартизации в соответствии с третьей статьей Федерального закона от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», а именно вышеупомянутое **повышение качества продукции, выполнения работ, оказания услуг и повышение конкурентоспособности продукции российского производства**, что соответственно приводит к **улучшению качества жизни населения страны**. В совокупности же эти два фактора приводят к **социально-экономическому развитию Российской Федерации**.

Немаловажным для разработчиков стандартов является то, что невозможно достигнуть всего вышеперечисленного не используя самым новейшие технологии, в том числе и новейшие достижения в области информационных технологий. Одним из их приложений может являться численное моделирование сложных конструкций и приборов, а точнее процессов происходящих в них. В здравоохранении данный метод занимает особую нишу в вопросах вертебрологии.

Перелом позвоночника – самая серьезная травма опорно-двигательного аппарата. Несмотря на немногочисленность среди травматических больных он приобретает особое значение из-за уникальной значимости структурных повреждений. А так же из-за сложных и тяжелых последствий и трудности лечения. Но самым важным остается высокий уровень и степень инвалидности пострадавших. По данным Института им.Н.В. Склифосовского при множественной травме перелом позвоночника наблюдается у 8-12% всех пострадавших, среди них процент инвалидности составляет 7-13%.

Установка транспедикулярной (ТП) фиксации (рис.1) в качестве способа хирургического вмешательства для лечения пере-

лома позвоночника является самой эффективной и наиболее часто проводящейся процедурой. Её цель снизить нагрузку на позвоночный столб для того, что бы процесс остеосинтеза был возможен. Естественно важным является вопрос об эксплуатации данной конструкции в течение времени и под соответствующими нагрузками, так что бы происходил именно лечебный эффект, а не разрушения.

В настоящее время на территории Российской Федерации отсутствуют какие-либо действующие стандарты, регламентирующие технические испытания для ТП-винтов и технические требования к нему именно с позиции сопротивления вырыванию. Однако техническим комитетом по стандартизации ТК 453 «Имплантаты в хирургии» подготовлены адаптированные переводы американских стандартов, которые утверждены Росстандартом, но еще не введены в действие.



Рис. 1. Установленная ТП-система

Однако до сих пор нигде не фигурирует оптимальная глубина установки винта при использовании современной технологий ТП-фиксации в отношении биомеханической прочности и в отношении оптимального результата сращения. Таким образом, анализ механических свойств ТП-винта и создание на их основании ГОСТ-ов должно привести к повышению качества, доступности и безопасности соответствующих изделий.

Если говорить именно о глубине уста-

новки, то областью интереса является сам винт и рассмотрение остальной части конструкции является нецелесообразным с точки зрения усложнения расчетов. Известно, что на сопротивление вырывания винта из тела позвонка влияют несколько факторов[1,2]: 1) Размер резьбы – Наиболее влияющий фактор. 2) **Глубина установки винта** – до конца не изученный фактор. 3) Материал изготовления винта. Соответственно для определения работоспособности винта надо исследовать различные варианты глубины вставки при различных нагрузках и при использовании материалов. Для проведения таких исследований необходимо создать соответствующие модели винта и позвонка (рис. 2). Для рассмотрения были выбраны 3 варианта установки: 50,70 и паракортикальный. В качестве метода реализации был выбран метод конечных элементов, который часто используется при решении механических задач. А в качестве ПО для реализации ANSYS.

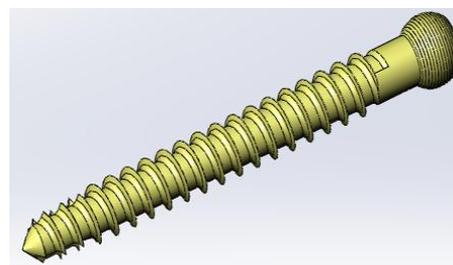
Допущения, сделанные в модели: 1) Позвонок представлен в виде цилиндра 2) Резьбовое отверстие и размер винта совпадают 3) Боковые поверхности цилиндра считаются жестко закрепленными 4) Сила направлена вдоль оси винта и приложена к безрезьбовой части винта 5) Движение винта ограничено и возможно только по его оси 6) Растяжением винта можно пренебречь, так как оно практически отсутствует в рассматриваемой ситуации.

В работе будет рассматриваться два вида ударных нагрузок: 100Н и некоторая критическая, которая будет приводить к вырыванию. И циклические нагрузки 10 в 9 степени циклов с частотой в 1Гц с силой в 100н, как хорошей для сравнения.

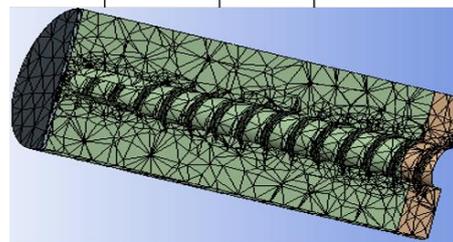
Начальная сила для сравнения в 100Н позволяет определить некоторую начальную тенденцию и рассмотреть зоны, где будут возникать большие напряжения (рис. 3).

Ключевое отличие 70% от 50% установок заключается в том, что напряжения получаются меньше, что заметно из полученных распределений. Интерес представляет паракортикальная фиксация. Здесь уже при такой небольшой нагрузке возни-

кают зоны разрушений в области окончания винта. Хотя и напряжения в остальных частях крайне не велики по сравнению с 50 и 70 процентами.).



	Плотность (Кг/м³)	Модуль Юнга (ГПа)	Коэффициент Пуассона
Тi6Al4V	4420	120	0,2
Сталь 22-13-5	7800	193	0,28



	Плотность (г/см³)	Модуль Юнга (МПа)	Коэффициент Пуассона
Кортикальная кость	1,8	780	0,3
Губчатая кость	0,7	100	0,2

Рис. 2. Модели винта и позвонка с соответствующими механическими характеристиками.

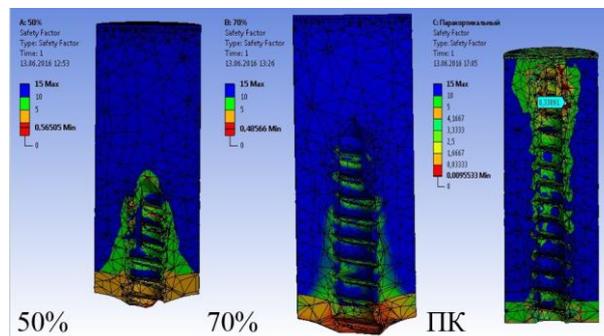


Рис. 3. Коэффициент запаса прочности при нагрузке в 100Н.

Нижняя кортикальная зона испытывает особо большие напряжения, которые на самом деле не имеют места. Это связано с

введенными ограничениями на движения. Из-за отсутствия возможности смоделировать разрушения ANSYS добавляет движение в перпендикулярной движению винта плоскости. А так как это движение заблокировано, то и возникают большие напряжения.

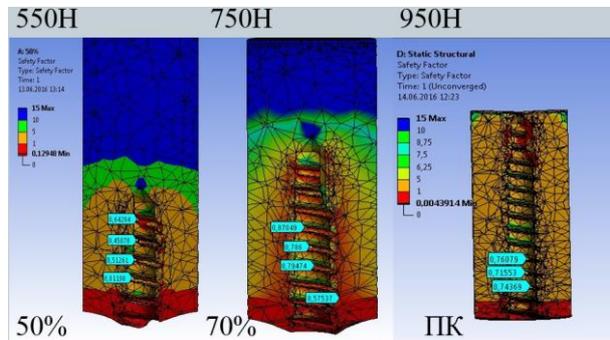


Рис. 4. Коэффициент запаса прочности при критической нагрузке.

Критические силы для каждого из вариантов фиксации будут отличаться на 200Н для каждого повышения глубины (рис. 4). При 50% зоны разрушения будут находиться не только на поверхности самой резьбовой части, но и в небольшой области рядом. Из-за этого, даже если бы имелась возможность поставить винт с большей резьбой, то увеличение должно было бы быть достаточно существенным. При 70% глубине установки такая проблема отсутствует. В случае же паракортикальной фиксации разрушение будет точно сосре-

доточено в резьбовой части. Однако проблема с разрушением «верхней зоны» кортикальной кости никуда не уходит и становится еще более заметной.

Таким образом, оптимальной глубиной установки ТП-винта с точки зрения биомеханической прочности, а, следовательно, и результата остеосинтеза является установка на 70% от длины позвонка. Результат, полученный для циклических нагрузок, а так же при использовании стали только подтверждает ранее полученные выводы.

Данный результат может быть положен в основу разработки соответствующего стандарта. Полученная модель, доказавшая свою работоспособность, может являться средством предварительной оценки безопасности новых конструкций винтов. А полученные результаты могут лечь в основу методики испытаний.

Список литературы.

1. Paik H, Dmitriev AE, Lehman RA, Jr., et al. The biomechanical effect of pedicle screw hubbing on pullout resistance in the thoracic spine. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 2012;12:417-24.
2. Optimization of Pedicle Screw Depth in the Lumbar Spine: Biomechanical Characterization of Screw Stability and Pullout Strength, Laura E. Buckenmeyer, The University of Toledo, May 2013

УДК 004.8

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Шмелева А.Г., к.ф.-м.н., доцент;
Ладынин А.И., аспирант;
Бахметьев А.В., студент.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Шмелева А.Г. e-mail: ann_shmeleva@mail.ru

В статье представлен программный модуль экспертных оценок, а также предложена реализация информационной карты, отражающая базовые положения проекта.

Ключевые слова: информационная карта, система поддержки принятия решений, метод экспертных оценок.

SOME ASPECTS OF ENTERPRISE DEVELOPMENT STRATEGIC SOLUTIONS FORMING

Shmeleva A.G.;
Ladynin A.I.;
Bahmetev A.V.

Moscow technological university. Institute of physics and technology

© Corresponding author e-mail:
 ann_shmeleva@mail.ru

The article presents expert assessments program module and proposes an information map implementation that reflects project's basic provisions.

Key words: information map, decision support system, expert evaluation method.

Условия современного рынка вызывают потребность модернизации предприятий отрасли приборостроения для повышения конкурентоспособности. Предприятия должны обладать высокой степенью автоматизации управленческих и технологических процессов, применять ERP, CRP и MES системы, позволяющие распределять обязанности персонала, осуществлять управление ресурсами и мощностями предприятия [1]. Определяя концепцию развития, возникает необходимость в использовании эффективных математических методов и информационных технологий в осуществлении интеллектуальной поддержки стратегических решений с учетом оценки возможных альтернатив [2]. В связи с высоким уровнем неопределенности и значительным количеством оказывающих влияние факторов, ответственное лицо вынуждено формировать стратегическую составляющую развития компании единолично, принимая весь спектр ответственности за принятое решение. На сегодняшний день, одним из актуальных направлений развития программных продуктов в сфере обеспечения потребностей предприятий является разработка информационных систем поддержки принятия решений [3].

В ходе рассмотрения комплексных вопросов, возникающих при разработке моделей стратегического развития, возникает необходимость в использовании методов коллективного анализа, распределяя зада-

чи и ответственность среди членов экспертных групп. Одним из зарекомендовавших себя методов формирования экспертных заключений и коллективной оценки объектов исследования является метод экспертных оценок (МЭО). Отметим, что при использовании МЭО, должны проводиться оценки сформированных групп, в частности, анализ коэффициента согласованности экспертов, иначе точность исследования может быть существенно ниже. Приемлемыми значениями коэффициента конкордации принято считать 0,75 и выше. На основе методов экспертного оценивания был разработан программный модуль, позволяющий сформировать коллективное мнение относительно выбранных объектов [3]. Программная реализация позволяет оценить проекты, рассчитывает степень согласованности членов экспертной комиссии и способствует формированию взвешенного решения.

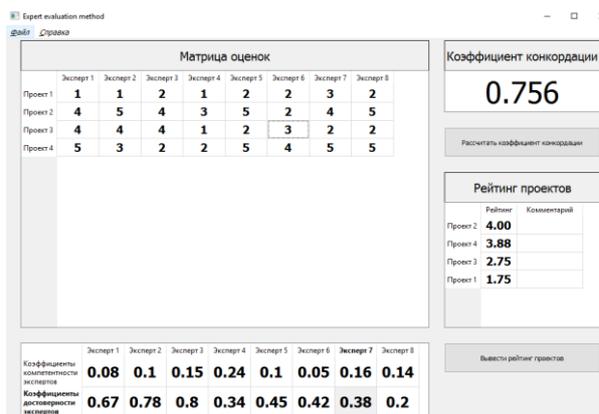


Рис. 1. Модуль решения задач методом экспертных оценок

Рассмотрим пример задачи о формировании экспертного заключения. На рисунке 1 представлена матрица оценок выбранных проектов, интерактивные поля для ввода коэффициентов компетентности и достоверности экспертов. Данные коэффициенты учитываются алгоритмом программы, отдавая приоритет при возникновении схожих оценок двух проектов тому, который обладает максимальным суммарным баллом наиболее компетентных и достоверных экспертов. Определяющие соотношения и алгоритмы расчетов представлены в работе [2]. Значение коэффициента конкордации в выбранном примере

свидетельствует о достаточной степени согласованности экспертной комиссии, а проекты ранжированы согласно полученным оценкам.

Современное программное обеспечение регулируется рядом нормативных актов и стандартов, одним из которых является международный стандарт IEEE-1471. В стандарте регламентируются предпосылки разработки информационных систем, формируются положения, описывающие архитектуру программного обеспечения, характер взаимодействия компонентов системы и принципы управления проектированием и развитием. Положением стандарта также формируется ряд правил электронного документооборота для ведения нормативно-технической и проектной документации предприятия, что отвечает актуальным стандартам эффективного менеджмента. Одним из главных документов является информационная карта проекта. Информационная карта проекта – основной документ, объединяющий базовые характеристики и требования: сроки выполнения, информацию о руководителе и исполнителях, аннотацию, научную новизну и т.д. Информационная карта формируется для стратегических проектов на основе экспертного заключения и является базовым документом, позволяющим переносить характеристики проекта при формировании дорожной карты.

На рисунке 2 представлена информационная карта, построенная на основе экспертных заключений. Предлагаемая реализация включает в себя базовую проектную информацию: поля для ввода числовых значений и характеристик проекта. Программный модуль позволяет сохранять информационные карты, экспортировать и загружать их по мере необходимости, поддерживается контекстный поиск по элементам таблицы.

Информационная карта проекта			
Название		Номер регистрации	
Дата начала		Дата окончания	
Аннотация			
Ключевые слова			
Финансирование			
Сфера научных разработок			
Руководитель			
Исполнители			
Результат исследований и	методика, алгоритм	прибор	материал

Buttons: Сохранить, Печать, Отмена

Рис. 2. Информационная карта проекта

В статье рассматриваются некоторые вопросы стратегических решений с учетом оценки возможных альтернатив, представлен программный модуль экспертных оценок проектов, а также предложен макет информационной карты, отражающий базовые положения.

Список литературы

1. Шмелева А.Г., Ладынин А.И. Методы планирования политики развития наукоемких предприятий стратегического значения. Наука и Мир. Волгоград: Научное обозрение Т. 1, № 8 (36), 2016, С. 38-40.
2. Шмелева А.Г., Ладынин А.И. Метод экспертных оценок как часть информационной системы поддержки принятия решений. Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Интеллектуальные и информационные системы». 23 – 25 ноября 2016 г. ТулГУ, Тула: ТулГУ, 2016, С. 42-49.
3. Шмелева А.Г., Ладынин А.И., Бахметьев А.В. Программная реализация метода экспертных оценок форсайт-проектов. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки». – М: «Перо», 2016, С. 534-537.

УДК 004.8

**ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ
КОГНИТИВНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ****Шмелева А.Г.**, к.ф.-м.н., доцент;
Таланова Ю.В., аспирант, преподаватель*Физико-технологический институт Московского технологического университета*

© Автор для переписки: Шмелева А.Г. e-mail: ann_shmeleva@mail.ru

*В работе представлена программная реализация модуля информационной системы, позволяющего осуществлять обработку лингвистических переменных. Рассмотрен когнитивный подход для оценки инновационных технологий. Продемонстрирован пример построения нечетких когнитивных карт, представлены результаты расчетов.**Ключевые слова: когнитивное моделирование, матрица достижимости, граф, прикладная программа***INNOVATIVE TECHNOLOGIES
ASSESSMENT BASED ON
COGNITIVE MODELLING****Shmeleva A.G.;**
Talanova U.V.*Moscow technological university. Physico-technological institute*

© Corresponding author e-mail: ann_shmeleva@mail.ru

*The paper presents an information system module software implementation that allows linguistic variables processing. A cognitive approach for the innovative technologies evaluation is considered. The article includes an example of fuzzy cognitive maps construction and the results of calculations.**Key words: cognitive modeling, reachability matrix, graph, application program*

Приборостроение относится к наукоемким отраслям, требующим своевременного обновления продукции, а, следовательно, возникает необходимость наличия инновационных технологий. Возможности совре-

менной вычислительной техники позволяют создавать информационные системы с учетом математических методов, помогающих решать задачи планирования и оптимизации продукции и технологий [1-3]. Однако, руководитель предприятия или ответственное лицо принимающее решение, часто сталкивается с рядом трудноформализуемых задач для решения которых, как правило, формируется комиссия экспертов по оценке перспективности проектов. Проект представляется в виде набора определяющих характеристик, в результате оценки которых строится заключение о целесообразности внедрения и реализации [4].

Для обеспечения конкурентоспособности предприятиям приборостроительной отрасли необходимо не только реализовывать готовые проекты, но и обладать компетенциями по разработке инновационных технологий. Встает вопрос, а что делает технологию инновационной и как выделить уникальные компетенции в рамках крупного предприятия или корпорации. Например, установить некоторые ключевые характеристики разрабатываемого проекта, выявить зависимости и взаимовлияние элементов, и получить оценку достижимости поставленной цели. Эти и многие другие задачи могут быть успешно решены путем использования когнитивного моделирования, которое позволяет выявить возможные варианты развития ситуаций.

В настоящее время ведется разработка программного комплекса, в основе которого лежит модель информационной системы, объединяющей в себе наиболее актуальные методы управления процессом генерации и внедрения инновационных технологий [2]. В статье представлен модуль информационной системы, позволяющий осуществлять построение нечетких когнитивных карт, строить матрицу достижимости. Задать параметры можно с клавиатуры, т.е. решить конкретную задачу, или воспользоваться функцией заполнения полей случайными значениями, при отсутствии реальных данных. Вывести результаты можно в виде матрицы, а также в виде ориентированного графа. Программа на-

писана на языке с++ в среде QT.

Процесс сбора данных заключается в анализе предметной области экспертами, после чего производится количественное измерение характеристик выделенных объектов. Таким образом, построение экспертной системы предполагает процедуру анализа и обработки знаний, которые опираются на методы теории измерения, основными понятиями которой являются объект, показатель или признак, процедура сравнения. Объектом измерения может выступать любой предмет или явление. При сравнении объекты сравниваются с каким-либо другим объектом или же объекты последовательно сравниваются друг с другом. Разрабатываемая информационная система должна позволять обработку лингвистических переменных.

Лингвистической переменной называется переменная, принимающая значения из множества слов или словосочетаний некоторого естественного или искусственного языка.

В основе когнитивного моделирования сложных систем используется понятие когнитивной карты (cognitive map), под которой понимается математическая модель системы, представленная в виде ориентированного взвешенного графа, узлы которого представляют собой концепты (например, политическая нестабильность в обществе и т.п.), а дуги – причинные связи между ними. Модель описывает субъективное восприятие этой системы человеком и предназначена для структурирования связей между элементами системы, а также для оценки последствий, происходящих под воздействием на эти элементы.

Концепт (от лат. conceptus — замысел) – единица речевого высказывания, логический смысловой компонент семантической структуры.

В силу имеющейся неопределенности эксперты встречаются с серьёзными затруднениями при назначении весов W_{ij} . Отсюда понятен интерес к применению нечетких когнитивных карт (*fuzzy cognitive maps*). Отличительной особенностью нечетких когнитивных карт является то, что для описания связей между концептами в них используются нечеткие отношения,

задаваемые экспертами с помощью функций принадлежности. При этом эксперт оценивает силу каждой связи, используя понятные ему термины: «не влияет», «влияет незначительно», «влияет существенно», «влияет сильно» и т.п.

На рис. 1 приведен пример нечеткой когнитивной карты, в которой веса связей W_{ij} принимают следующие значения: W_{12} = Незначительно, W_{13} = Сильно, W_{14} = Не влияет, W_{15} = Незначительно, W_{23} = Не влияет, W_{24} = Незначительно, W_{25} = Не влияет, W_{34} = Сильно, W_{35} = Не влияет, W_{45} = Сильно.

Рис. 1. Форма для заполнения нечеткой когнитивной карты

Рис. 2. Матрица достижимости нечеткой когнитивной карты.

Для вычисления веса того или иного пути с учетом весов входящих в него связей необходимо воспользоваться правилами нечеткой логики.

Так, для вычисления общего эффекта T от действия концепта C_1 на концепт C_n справедливо выражение

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} W^i \quad (1)$$

где $W^1 = \|W_{ij}\|_{n \times n}$ – матрица смежности нечеткой когнитивной карты; W_{ij} – вес связи между концептами C_i и C_j ; n – число

концептов (в рассматриваемом случае $n = 5$).

На рис. 2 приведен пример решения задачи, результат представлен матрицей достижимости нечеткой когнитивной карты.

В работе рассмотрен пример построения нечеткой когнитивной карты. Увеличение количества концептов возможно по усмотрению эксперта, предложенный при этом алгоритм обработки остается неизменным и может обрабатывать любое указанное количество. Вопросы оценки инновационных технологий относятся к плохо структурированным (содержат неопределенность в самой формулировке исходных данных), их решение требует привлечения дополнительной информации в форме экспертных знаний о предметной области, позволяющей в значительной степени «снять» эту неопределенность.

Список литературы

1. Шмелева А.Г., Ладынин А.И. Методы планирования политики развития наукоемких

предприятий стратегического значения. Наука и Мир. Волгоград: Научное обозрение Т. 1, № 8 (36), 2016, с. 38-40.

2. Шмелева А.Г., Ладынин А.И. Метод экспертных оценок как часть информационной системы поддержки принятия решений. Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Интеллектуальные и информационные системы». 23 – 25 ноября 2016 г. ТулГУ, Тула: ТулГУ, 2016, с. 42-49.

3. Шмелева А.Г., Таланова Ю.В., Смирнова Э.Е. Эффективные методы управления проектами транспортной отрасли. Журнал Качество. Инновации. Образование. М: Фонд «Европейский центр по качеству», № 8-10, 2016, с. 225-231.

4. Шмелева А.Г., Ладынин А.И., Бахметьев А.В. Программная реализация метода экспертных оценок форсайт-проектов. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки». – М: Перо, 2016, с. 534-537.

УДК 57.087.2:612.171.1

КАРДИОПОРТРЕТ ПАЦИЕНТА КАК РЕЗУЛЬТАТ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ АРИТМИИ

Беседина С. А., студ. маг.;
Баландин В. А., ст.н.с., к.ф.-м.н., доц.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Беседина С.А. e-mail:
besedina.svetlan@yandex.ru

Работа посвящена проблеме экспресс анализа многопараметрических медицинских данных, полученных при помощи кардиоинтервалографических методов, с использованием пиктографических кардиопортретов.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, аритмология, многопараметрические данные, прогноз,

пиктографик, кардиопортрет

CARDIO PORTRAIT OF THE PATIENT AS A RESULT OF THE STATISTICAL ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF ARITHMY

Besedina S.A.;
Balandin V.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@Corresponding author e-mail:
besedina.svetlan@yandex.ru

The work is dedicated to the problem of express analysis of multiparametric medical data obtained with the help of cardiointervalographic methods, using pictographic cardio portraits.

Key words: Heart rate variability, Arrhythmology, Multiparameter data, Prognosis, Pictograph, Cardio portrait

В современной кардиологии все большее внимание уделяется аритмологической кардиоинтервалографии – направлению, изучающему изменения последовательностей интервалов сердцебиения вследствие патологических нарушений.

В методической основе этого направления лежит визуальный анализ построенных графиков интервалов и предварительно рассчитанных численных параметров, полученных на основе статистических вычислений. При этом, как правило, рассматривается ограниченное число таких параметров, что не в последнюю очередь связано с трудностью восприятия большого количества многопараметрических данных.

В классической кардиоинтервалографии для представления численных значений используются таблицы, анализ которых представляет весьма трудоемкую задачу. Обилие анализируемых параметров затрудняет построение общей картины отклонений, а уменьшение количества результатов до приемлемого существенно снижает прогностическую ценность методов.

В данной работе показана принципиальная возможность представления многопараметрических данных кардиоинтервалографии в виде кардиопортрета пациента, что позволяет получить экспресс оценку его состояния.

Данные кардио интервалов реальных людей, используемые в исследовании, взяты из открытой научной базы данных медицинских сигналов Physionet [3]. Записи были обработаны для исключения из рассмотрения артефактов и выделения отрезков нужной длительности. В настоящее время при проведении массовых кардиоинтервалографических обследований используются записи длительностью от нескольких минут до часа. В работе приведены графики параметров, вычисленных для записей длительностью 30 минут.

В качестве объектов исследования были взяты 3 группы пациентов в возрасте от 54 до 65 лет. У пациентов I группы независимыми методами не была диагностирована аритмия, у пациентов II группы наблюдаются аритмические тенденции желудочко-

вого ритма, у пациентов III группы диагностирована мерцательная аритмия.

В кардиоинтервалографии используется более 30 числовых параметров, которые анализируются для выявления отклонений от общепринятых норм. Однако на данный момент среди кардиологов нет единого мнения ни о границах норм, ни об удельном весе и значимости тех или иных показателей в постановке диагноза.

Для отслеживания временной динамики параметров пациента используются линейные графики, но для комплексного многопараметрического анализа они малоприменимы.

В статистике для комплексного анализа многопараметрических задач используются разнообразные графические методы, в том числе пиктографики, позволяющие представить множество элементов в виде одного легко воспринимаемого изображения. Одним из видов пиктограмм являются лица Чернова [2].

Лица Чернова представляют собой некруговые пиктографики, служащие для отображения многофакторных данных в виде человеческого лица. Каждая черта лица представляет собой значение определенной переменной, назначенной для нее.

Параметрам, значения которых имеют малую амплитуду колебаний, поставлены в соответствие наиболее заметные черты. Для некоторых показателей введены дополнительные множители коэффициенты с целью лучшего представления результатов.

В основе метода представления лежит тот факт, что люди легко воспринимают даже небольшие изменения в человеческих лицах. Поэтому для анализа не нужно запоминать все кодирующие черты "лица", достаточно сравнить изображения с эталонным. В качестве эталона может использоваться кардиопортрет, построенный по оптимальным значениям параметров, или кардиопортреты других пациентов.

На рис. 1 приведены лица пациентов I группы, на рис. 2 – пациентов II группы, на рис. 3 – пациентов III группы.

Легко можно увидеть тенденции, проявляющиеся в группах. По мере возрастания тяжести заболевания «лицо» удлиня-

ется (возрастание среднего значения длины интервала RRNN). Изменяется наклон бровей (снижение регрессионного скаттерографического коэффициента K_r) и изгиб рта (прямая линия рта соответствует границе нормального значения ПАПР, изгиб в обратную сторону – значениям ниже нормы), «нос» становится шире (увеличение ИДМ, то есть возрастание вклада дыхательной аритмии).

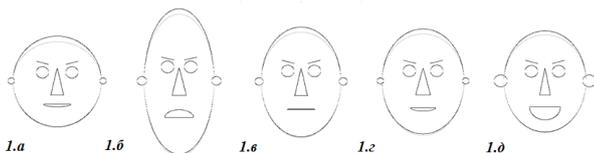


Рис.1 – Пациенты I группы (условно здоровые)

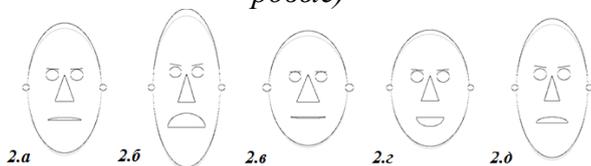


Рис.2 – Пациенты II группы (слабые аритмические тенденции)

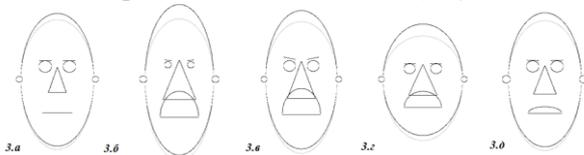


Рис.3 – Пациенты III группы (мерцательная аритмия)

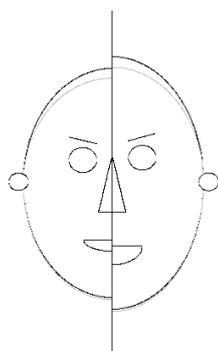


Рис.4 – Асимметричный кардиопортрет

Чувствительность метода к малым изменениям можно оценить на рис.4., на котором изображен асимметричный кардиопортрет, построенный по значениям параметров здорового человека (слева) и по

увеличенным на 10% значениям (справа). Использование асимметричных кардиопортретов позволяет отслеживать изменения состояния пациента.

Таким образом, даже при поверхностном анализе мы можем судить о состоянии здоровья пациентов без диагностированной аритмии. Например, у 2 пациента I группы (рис. 1.б) выявлены некоторые тревожные тенденции.

Использование кардиопортретов значительно упрощает процесс постановки диагноза и позволяет заметить изменения параметров даже на ранних стадиях заболевания. Это имеет большое значение как для первичной (работа со здоровым населением), так и вторичной (отслеживание прогрессирования болезни) профилактики.

Одним из преимуществ предлагаемого экспресс метода в том, что его можно использовать даже не имея четкого представления о границах норм того или иного параметра для пациентов разного возраста. В этом случае в качестве эталона выступают кардиопортреты других пациентов.

Отметим, что лица Чернова могут также быть использованы для анализа многопараметрических данных и решения других задач.

Список литературы

1. Бабунц И.В., Мириджян Э.М., Машаех Ю.А. Алфавит анализа variability сердечного ритма // Ставрополь. – 2002.
2. Беседина С.А. Графические методы отображения и анализа численных параметров в аритмологии / С.А. Беседина, В.А. Баландин // Молодой ученый: вызовы и перспективы: сб. ст. по материалам XXII Международной научно-практической конференции «Молодой ученый: вызовы и перспективы». – № 20(22). – М., Изд. «Интернаука», 2016.
6. Moody GB, Mark RG. The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database. *IEEE Eng in Med and Biol* 20(3):45-50 (May-June 2001). (PMID: 11446209)

УДК 7.021.5

FDM ПРИНТЕР НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА АТМЕГА

Лабузов Д.Ю., аспирант;
Харьковский С.Е., аспирант;
Петухов А.М., аспирант.

Институт информационных технологий Московского технологического университета

*© Автор для переписки: Лабузов Д.Ю. e-mail:
labuzov@mirea.ru*

Работа посвящена вопросам программирования 3D принтеров в G-кодах на примере FDM машины

Ключевые слова: 3D принтер, 3D печать, G-код, FDM машина, ЧПУ

FDM PRINTER BASED ON MICROCONTROLLER ATMEGA

Labuzov D.U.;
Har'kovskiy S.E.;
Petuhov A.M.

Moscow technological university. Institute of information technology

© Corresponding author e-mail: labuzov@mirea.ru

The work is devoted to programming the 3D printer G-code example FDM machine

Key words: 3D printer, 3D printing, G-code, FDM machine, CNC

Метод FDM (Fused Deposition Modeling) основан на процессе послойного наложения размягченной полимерной нити по заданному закону [1...3].

В установках FDM в качестве полимерной нити применяют, как правило, ABS-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол, АБС) – ударопрочный термопластик и PLA-пластик (полилактид, ПЛА) – биоразлагаемый, биосовместимый, термопла-

стичный алифатический полиэфир, структурная единица которого – молочная кислота [4...6], рис. 1.

Технология FDM достаточно проста и не требует дорогостоящих светоотверждающих компонентов и лазерной установки. Всё, что требуется, это система нагрева и подачи полимерной нити. Но, несмотря на кажущуюся простоту, FDM принтер представляет собой сложную мехатронную систему, состоящую из регулируемых приводов, системного и прикладного программного обеспечения.

На кафедре промышленной информатики ИИТ МИРЭА силами творческого коллектива аспирантов изготовлен 3D принтер, реализующий данную технологию, рис.2.

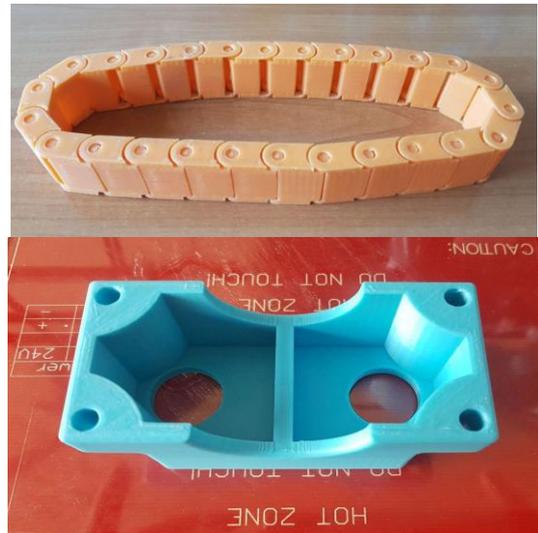


Рис.1. Детали, напечатанные на 3D принтере из ABS-пластика

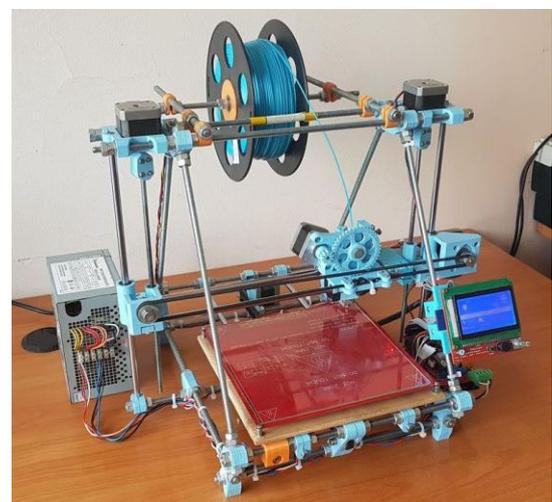


Рис.2. 3D принтер на основе технологии FDM

В качестве системы управления приводами использован микроконтроллер ATmega2560 с тактовой частотой 16 МГц на базе платы Arduino Mega 2560.

Для обеспечения работы 3D-принтера необходимо скачать прошивку Marlin [<https://github.com/MarlinFirmware/Marlin>], а также установщик среды Arduino [<https://www.arduino.cc/en/main/software>]. После этого можно производить установку и запуск среды Arduino ADE.

В процессе настройки (файла Marlin.ino) необходимо выбрать типы контролера (boards.h) и датчика температуры (например, для E3D-v5 выбираем «5 is 100K thermistor – АТС Semitec 104GT-2»), задать верхние и нижние границы допустимой температуры:

```
«#define HEATER_0_MAXTEMP 275»,
«define EXTRUDE_MINTEMP 170».
```

Далее следует выставить концевые выключатели. Это делается следующим способом: в углу слева на поверхности стола - начало координат или «ноль принтера» [7]. Вывод сопла в эту точку приведет к срабатыванию концевиков MIN. При выводе же в точку, расположенную в правом дальнем углу, отреагирует MAX. Соответственно, необходимо ввести следующие установки:

```
#define X_HOME_DIR 1
#define Y_HOME_DIR 1
```

Аналогично настраиваются ограничения рабочей зоны:

```
// Travel limits after homing
#define X_MAX_POS 215
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MAX_POS 215
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 200
#define Z_MIN_POS 0
```

Скорость перемещения HOME (в исходную позицию) настраивается командой:

```
«define HOMING_FEEDRATE {50*60,
50*60,4*60, 0} // set the homing speeds
(mm/min)».
```

Максимальные скорости передвижения по осям X и Y можно выставить 200 мм/мин:

```
«define DEFAULT_MAX_FEEDRATE
{200, 200, 5, 2.5}».
```

Так как большие ускорения в процессе

работы могут вызывать возникновение пропусков шагов, то, кроме максимальных скоростей, необходимо ограничить максимальные ускорения:

```
«#define DEFAULT_ACCELERATION
1500»
```

Теперь можно «залить» прошивку в контроллер. Для осуществления этой операции требуется выставить в Arduino IDE номера COM-порта и тип платы. Они должны отобразиться в нижней части окна.

Далее следует подобрать нужную плату в Arduino IDE. Для этого требуется взять папку с прошивкой «Marlin-Development\ArduinoAddons\Arduino_1.5.x\hardware\marlin\avr» и произвести копирование из нее всего содержимого с заменой в папку Arduino IDE «C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\arduino\avr. Теперь появится доступ к папке Sanguino и к подходящему процессору.

После установки и настройки системного ПО остается выбрать соответствующее программное обеспечение для создания stl-файлов и «нарезки слоев». Stl-файлы можно найти готовыми, либо создать их «с нуля» в одной из 3D программ, например, Pixologic Sculptris. Для перевода 3D геометрии в управляющие коды можно воспользоваться бесплатными программами типа Repetier-Host Cura, CraftWare и т.п.

Список литературы

1. Дрюкова А.Э. и др. *Технология обработки материалов (Изготовление художественных изделий из древесины и металлов): учебник / А.Э. Дрюкова, О.А. Казачкова, Л.А. Комиссарова, В.Б. Лившиц, А.П. Кушнир, А.Г. Навроцкий. Saarbrücken / Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. – 264 с.*
2. Кушнир А.П., Лившиц В.Б. *Классификация технологий 3d печати. Дизайн. Теория и практика. 2014. № 18. С. 74-84.*
3. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Лазерные 3D технологии изготовления моделей. Информатика и технология. Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск XIX. М.: МГУПИ, 2013. – 263 с.*
4. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Новые 3D технологии изготовления моделей. Информатика и технология. Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск XIX. М.: МГУПИ, 2013. – 263 с.*
5. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Спе-*

циальные технологии художественной обработки материалов. (Специальные виды литья и отделка художественных изделий): Учебное пособие для вузов. М.: ОНТОПРИНТ, 2016. – 262 с.
6. Кушнин А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. Спе-

циальные виды литья художественных изделий. Saarbrucken / Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 305 с.
7. Кушнин А.П., Неменко М.В. Основы программирования фрезерных станков с ЧПУ. М.: МИРЭА, 2017. – 71 с.

УДК 519.872.4

РАЗРАБОТКА БОТА, РАССЧИТЫВАЮЩЕГО ПАРАМЕТРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ДЛЯ МЕССЕНДЖЕРА «TELEGRAM»

Логинов А.А.
Збандут М.О.

Физико-технологический институт Московский технологический университет

@Автор для переписки: Логинов А.А., e-mail: sci.loginov@yandex.ru

Создавая проект с использованием системы массового обслуживания, важно определить эффективность ее работы. Расчет параметров эффективности можно проводить вручную, а можно использовать специализированное программное обеспечение. Эта статья посвящена задаче написания бота для мессенджера «Telegram», способного рассчитывать параметры эффективности СМО.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, бот для Telegram, параметры эффективности СМО

DEVELOPMENT OF BOT FOR «TELEGRAM» MESSENGER WHICH CAN CALCULATE THE PARAMETER OF THE EFFICIENCY OF THE MASS SERVICE SYSTEM

Loginov A.A.
Zbandut M.O.

Moscow technological university. Physico-

technological institute

@Corresponding author: Loginov A.A., e-mail: sci.loginov@yandex.ru

When creating a project using a queuing system, it is important to determine the effectiveness of its work. Calculation of performance parameters can be carried out manually, and you can use specialized software. This article is devoted to the task of writing a bot for the messenger "Telegram", capable of calculating the performance parameters of the QS.

Key words: Queuing systems, bot for Telegram, performance parameters of QS

Существует множество сценариев использования систем массового обслуживания. Но, создавая проект с использованием системы массового обслуживания, следует рассчитать параметры ее эффективности, чтобы определить подходит ли данная СМО для тех целей, для которых она предназначена.

Параметры, которые характеризуют эффективность работы системы:

$P_{отк}$ — вероятность того, что заявка покинет систему необслуженной;

$P_{обс}$ — вероятность того, что заявка будет обслужена;

$P_{оч}$ — вероятность образования очереди;

Q — относительная пропускная способность;

$L_{смо}$ — среднее число заявок, находящихся в системе;

$L_{обс}$ — среднее число обслуживаемых заявок;

$L_{оч}$ — среднее число заявок, находящихся в очереди;

A — абсолютная пропускная способность;

n_3 — среднее количество каналов, занятых выполнением заявки;

K_3 — коэффициент занятости канала;

$T_{оч}$ — среднее время нахождения заявки в очереди;

$T_{смо}$ — среднее время нахождения заявки в системе.

По количеству каналов обслуживания системы массового обслуживания делятся на одноканальные и многоканальные.

В свою очередь, одноканальные и многоканальные СМО делятся на СМО с отказами и СМО с ожиданием. Для расчета этих параметров применяются формулы, некоторые из них меняются в зависимости от типа системы массового обслуживания [1, 2].

Для того чтобы рассчитать параметры эффективности системы массового обслуживания, следует потратить немало времени на чтение литературы. Не у всех есть время и желание этим заниматься, для того чтобы облегчить жизнь людей, желающих определить эффективность работы СМО, была написана прикладная программа (бот) для мессенджера «Telegram».

Клиенты этого мессенджера существуют для множества популярных платформ: Android, iOS, Windows, Mac, Linux и пр. [3] Таким образом, пользователи этих платформ, добавив бота, смогут без проблем рассчитать параметры эффективности системы.

Бот написан на языке PHP. В качестве среды разработки использовался PhpStorm от компании JetBrains.

Бот способен рассчитывать параметры эффективности для СМО с отказами, СМО с ограниченным размером очереди и СМО с неограниченным размером очереди. При получении первого сообщения, бот приветствует пользователя и задает пользователю вопросы касательно параметров СМО (тип, число каналов и т.д.).

Если пользователь отправляет в ответ некорректное значение (например, слово вместо числа), бот повторяет вопрос. Как только пользователь ввел все параметры, бот проводит расчет характеристик эффективности для данного случая и отправляет их пользователю

Бот нетребователен к регистру, кроме того, чтобы определить тип СМО бот проверяет сообщение на наличие «с отказами», «с ограниченным размером очереди»

и «с неограниченным размером очереди». Таким образом, чтобы бот определил тип СМО, главное, чтобы в сообщении присутствовала одна из этих фраз. То есть, что в случае сообщения «СМО с неограниченным размером очереди», что в случае сообщения «с неограниченным размером очереди СМО», что в случае сообщения «Проведи расчет параметров эффективности СМО с неограниченным размером очереди», бот сможет без проблем определить тип системы массового обслуживания.

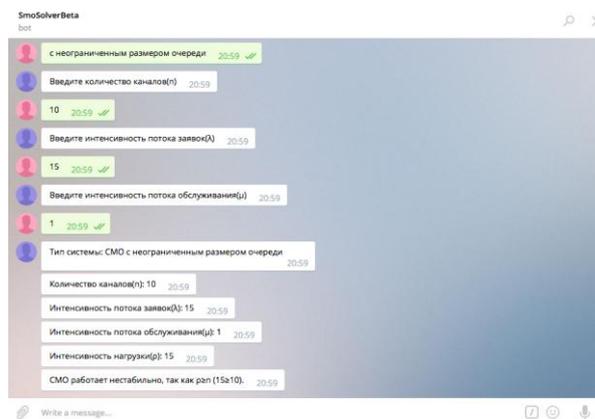


Рис. 1.

Чтобы сбросить выбранные параметры и/или начать расчет параметров эффективности для системы массового обслуживания другого типа, достаточно отправить боту сообщение с типом СМО, параметры которой нужно рассчитать.

На Рисунке 1 представлен пример работы бота.

В статье рассмотрена разработка прикладной программы для расчета параметров эффективности системы массового обслуживания. Создано прикладное программное обеспечение, позволяющее ускорить анализ эффективности работы системы.

Список литературы

1. Кошуняева Н.В., Патронова Н.Н. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач) / САФУ имени М.В. Ломоносова. – Архангельск; САФУ, 2013. – 107 с.
2. Лаврусъ О.Е., Миронов Ф.С. Теория массового обслуживания. Методические указания, учебная программа и задания для контрольных работ № 1, 2 для студентов заочной формы

обучения специальности 071900 “Информационные системы в технике и технологиях”. – Самара: СамГАПС, 2002. – 38с.
3. Telegram Bot API: [Электронный ресурс]

// Telegram APIs., URL: <https://core.telegram.org/bots/API>. (Дата обращения: 19.03.2017).

УДК 004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Маргасов А.О., студент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Маргасов А.О. e-mail: Margasovsenya@yandex.ru

Работа посвящена применению алгоритма классификаций изображений на основе искусственной нейронной сети, в которой каждому входу соответствует каждый пиксель, классифицируемого изображения, а в качестве функции активации используется гиперболический тангенс. Данный алгоритм позволяет классифицировать неограниченное количество типов изображений.

Ключевые слова: искусственная нейросеть, классификация изображений, сеть прямого распространения

APPLICATION OF ARTIFICIAL FEEDFORWARD NEURAL NETWORKS IN CLASSIFICATION ON THE BASIS OF IMAGES ANALYSIS

Margasov A.O.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: Margasovsenya@yandex.ru

The work is dedicated to the application of the algorithm classifications of images based on artificial neural network, in which each entry corresponds to each pixel of the classified image, and the activation function used the hyperbolic tangent. This algorithm allows to classify unlimited types of the images.

Key words: artificial neural network, image classification, feedforward network

Каждый день общество генерирует большой объём информации, который можно использовать для решения многих прикладных задач, однако этот объём настолько велик, что стандартные алгоритмы обработки и анализа информации становятся неактуальными. Вследствие чего машинное обучение становится чуть ли не единственным решением для обработки такого количества данных, поскольку основной задачей машинного обучения, и как его частный случай – искусственных нейросетей, является поиск зависимостей внутри самого массива исходных данных.

Рассмотрим алгоритм классификации изображений, основывающийся на однослойных (то есть состоящих из входного, выходного и одного скрытого слоя) нейронных сетях прямого распространения, в которых сигнал передаётся последовательно от одного слоя к другому (рис.1) [1].

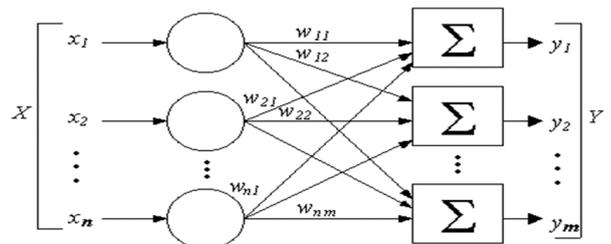


Рис. 1. Структура однослойной искусственной нейронной сети.

Переменные X_1, X_2, \dots, X_n – числовые

представления каждого пикселя изображения в цветовой модели RGB (изначально числа представлены в шестнадцатеричном формате, но позже переводятся в десятичный формат для удобства использования) [2].

Связи между входами и сумматорами выбираются так: чем ближе вход к $X_{n/2}$, тем большее количество связей он имеет, поскольку смысловая информация, которую содержит изображение чаще всего находится по центру, следовательно пиксели, которые будут находиться ближе к центру будут иметь большее влияние на решение нейронной сети. Исходя из этого X_1 будет иметь связь с первым сумматором, X_2 - с первым и вторым сумматором и так будет продолжаться до $X_{n/2}$. Аналогично X_n будет иметь связь с n - ым сумматором, X_{n-1} с n - ым и $n - 1$ - ым сумматором и так далее до $X_{n/2}$, который имеет максимальное число связей.

Рассмотрим вспомогательные соотношения:

$$s = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij}, \quad (1)$$

$$\varphi = th(s), \quad (2)$$

$$y = \theta(\varphi), \quad (3)$$

где N – количество пикселей в изображении (пиксели записываются в вектор-столбец из изображения слева направо и сверху вниз);

M – количество типов классифицируемых изображений;

W_{ij} – вес связи, соединяющей вход X_i и сумматор, соответствующий выходу Y_j (веса изначально генерируются случайно в интервале от 0 до M).

Переменные Y_1, Y_2, \dots, Y_m – выходы, соответствующие функции активации (2), которая принимает на свой вход взвешенную сумму (1). Если значение выхода больше 0.5, то он считается возбужденным (функция Хевисайда) (3). Каждый выход соответствует определенному классу изображений. Для любого значения аргумента (в данном случае взвешенной суммы) гиперболический тангенс выбран в качестве функции активации, так как он определен от 0 до 1.

Введем понятие структурной единицы выходного слоя искусственной нейронной сети, как совокупность двух объектов:

сумматор и функция активации, ему соответствующая. Тогда выходной слой можно будет разбить на такое число структурных единиц, чтобы каждая из них отвечала ровно одному классу изображений.

Перед началом обучения нейросети необходимо разделить исходный набор данных на два равных подмножества: обучающую выборку, тестовую выборку.

Для улучшения точности анализа изображений необходимо обучать нейросеть на выборке, состоящей из различных примеров одного и того же объекта. Такая специфика обучения обусловлена тем, что структурная единица выходного слоя аналогична строению нейрона головного мозга, вследствие чего процесс обучения схож с обучением человека, для которого требуется не меньшая вариация объектов. Каждый пример должен содержать входное изображение, а также индекс выхода, который должен реагировать (то есть возбуждаться) на данный класс изображений.

Поскольку типы классифицируемых объектов известны заранее, то обучение производится с «учителем» (то есть на основе сравнения эталонного и текущего значения выхода), так заранее известно какой выход соответствует определенному типу объектов.

Первый этап обучения нейросети заключается в изменение весов согласно дельта-правилу (4) (5).

$$\delta_j = d_j - y_j, \quad (4)$$

где δ_j – величина ошибки на j – ом выходе, d_j – ожидаемое значение j – го выхода, y_j – реальное значение j – го выхода до применения функции Хевисайда (2).

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \delta_j x_i \eta, \quad (5)$$

где $w_{ij}(t+1)$ – значение веса на $t+1$ шаге обучения, $w_{ij}(t)$ – значение на t шаге, δ_j – величина ошибки, x_i – значение входа, η – коэффициент скорости обучения.

Первоначально $\eta = M$ для того, чтобы быстрее приблизиться оптимальному множеству весовых коэффициентов, но впоследствии, чтобы нейросеть не пропустила минимум ошибки (4) следует уменьшать η согласно числу шагов обучения (6).

$$\eta_{t+1} = \gamma \eta_t, \quad (6)$$

где γ – скорость уменьшения η ($0 < \gamma <$

1), t – номер шага.

Изменение веса зависит от величины ошибки δ : если ошибка равна 0, то вес изменяться не будет, в противном случае он будет корректироваться для усиления соответствующей связи ($\delta > 0$) или для ослабления ($\delta < 0$).

Если нейросеть верно определила класс изображений в обучающем массиве данных (то есть возбудился тот вход, который отвечает данному классу), и больше никакие выходы не возбудились, то веса, соответствующие данному выходу, не будут изменяться. Если возбудились выходы, которые не соответствуют данному классу изображений, то веса отвечающих им связей будут уменьшаться (5). Если выход, которому соответствует данный класс изображений, не возбудился, то последует увеличение весов, которые отвечают данному выходу (5).

Второй этап обучения заключается в проверке качества анализа изображений на тестовой выборке, которая будет содержать аналогичный по составу, но отличный по содержанию массив данных.

Поскольку работа алгоритма не зависит от типа классифицируемого изображения, то его можно использовать для классифицирования любых типов объектов, представленные

Список литературы

1. Тадеусевич Р., Боровик Б., Гончаж Т., Леппер Б. *Элементарное введение в технологию нейронных сетей с примерами программ.* – Москва.: Горячая линия – Телеком, 2011, 408 с.
2. Neimark Yu. I. *Multidimensional geometry and pattern recognition.* – Нижний Новгород.: Соросовский образовательный журнал № 7, 1996, 119 - 123 с.

УДК 004.921

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Сыроежко А.А., студент;

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Сыроежко А.А. e-mail: AlexsSyr@mail.ru

В данной работе рассматриваются: конвейер визуализации графического API, шейдеры. Описывается архитектура разрабатываемой библиотеки для трёхмерной визуализации на основе одного из графических API.

Ключевые слова: трёхмерная графика, конвейер визуализации, шейдеры, программирование, DirectX

DESIGNING THE LIBRARY FOR THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION

Syroezhko A.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: e-mail: AlexsSyr@mail.ru

In this paper, we consider: a pipeline for visualization of the graphic API, shaders. The architecture of the developed library for 3D visualization based on one of the graphic APIs is described.

Keywords: three-dimensional graphics, visualization pipeline, shaders, programming, DirectX

В последние 20 лет очень стремительно развивается трёхмерная графика (далее 3D). Даже рядовой ПК сегодня способен рассчитывать трёхмерные сцены с достаточно сложными эффектами.

Изначально 3D использовалась только в научных целях и, как правило, было малодоступно из-за аппаратных ограничений. С появлением многоядерных процессоров и мощных видеокарт, 3D стала повсеместно внедряться во все сферы

жизни и деятельности: строительство, проектирование, медицина, образование, досуг и т.д.

В связи с растущей популярностью 3D, такие крупные фирмы как SGI и Microsoft решили создать графические API (application programming interface), которые позволили бы разрабатывать приложения с 3D под различные видеоадаптеры. Таким образом появились два самых популярных на данный момент графических API: DirectX(Microsoft) и OpenGL (SGI, затем Khronos Group).

Несмотря на существование графических API, разработка приложений с 3D-графикой является очень сложной задачей, требующей больших знаний в программировании и математике.

Исходя из этого, цель работы — разработка технологии на основе одного из графических API технологии, которая бы позволила более широкому кругу людей приобщиться к разработке приложений с поддержкой 3D-графики, имея при этом лишь базовые знания в программировании и математике.

При проектировании было необходимо учесть особенности конвейера визуализации графического API.

Конвейер визуализации – это алгоритм по которому графический API строит и отрисовывает сцену. Он бывает двух видов: фиксированный и программируемый. В фиксированном конвейере все стадии имеют чёткий порядок и фиксированное число параметров, которое можно изменять (на данный момент практически нигде не используется) [1]. С появлением графических процессоров (GPU, Graphics Processing Unit) стало возможным программировать некоторые этапы конвейера визуализации. Такой конвейер называется программируемым. Программирование этих этапов осуществлялось путем создания небольших программ, называемых шейдерами (shader).

Рассмотрим программируемый конвейер DirectX11(рис. 1):

Input Assembler — получает данные о вершинах из буферов, находящихся в

системной памяти и собирает из них примитивы, которые используются последующими стадиями конвейера[2].

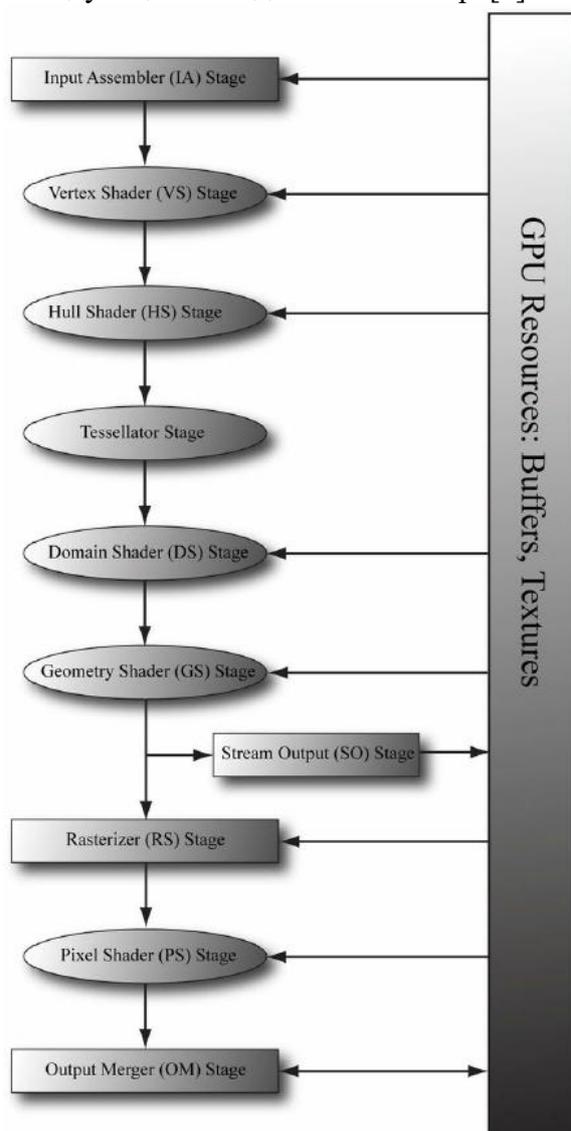


Рис. 1

Vertex Shader (вершинный шейдер) — обязательная, и полностью программируемая стадия конвейера. Запускается для каждой вершины, и получает на вход данные о ней от Input Assembler'a. Вершинный шейдер используется для различного преобразования вершин, трансформации их координат из одной координатной системы в другую, генерации нормалей, текстурных координат, обьсчета освещения и другого. Данные от вершинного шейдера поступают либо непосредственно растеризатору, либо в Stream Output(если данная стадия конвейера установлена), либо геометрическому шейдеру, либо

поверхностному шейдеру[2].

Hull Shader(поверхностный шейдер), Domain Shader(доменный шейдер) и Tessellator(тесселятор) — стадии, добавленные в Shader Model 5.0 (и D3D11, соответственно), и используемые в процессе тесселяции(разбиения примитивов на более мелкие, для повышения детализации изображения).

Geometry Shader(геометрический шейдер) — обрабатывает примитивы, собранные из вершин, которые являются результатом работы предыдущих стадий конвейера. Геометрические шейдеры могут генерировать новые примитивы. Данные от геометрического шейдера поступают либо в Stream Output, либо в растеризатор.

Stream Output — необязательная стадия конвейера, используется для выгрузки обработанных конвейером вершин обратно в системную память. Данные получает либо от геометрического шейдера, либо, в случае его отсутствия — от вершинного или доменного.

Rasterizer (растеризатор) — эта стадия отвечает за разбиение примитивов на пиксели. Растеризатор получает на вход векторную информацию о вершинах, от предыдущих стадий конвейера, и преобразовывает ее в растровую, отсекая примитивы вне области видимости, интерполируя значения, связанные с вершинами (такие, как текстурные координаты) и проецируя их позиции на двумерную область просмотра. Данные от растеризатора поступают к пиксельному шейдеру, если тот установлен.

Pixel Shader(пиксельный шейдер) — работает с фрагментами изображения, полученными от растеризатора. Используется для реализации огромного многообразия графических эффектов, и на выход, в стадию Output Merger'a, отдает цвет фрагмента и значение глубины (значение, используемое для определения, какие фрагменты лежат ближе к камере).

Output Merger — последняя стадия графического конвейера. Для каждого фрагмента, полученного от пиксельного шейдера, проводит тест глубины и стенсил-тест, определяя, должен ли

фрагмент попасть во фреймбуфер и производит смешивание цветов, если оно включено.

На данный момент в библиотеку входят 8 классов, которые дают достаточный функционал для реализации большого числа эффектов.

Одной из особенностей DirectX является централизация относительно 3-х главных интерфейсов, отвечающих за создание ресурсов, рисование и вывода результата на экран. Как можно заметить на диаграмме(рис.2), данная особенность отразилась и в архитектуре библиотеки.

Большинство классов имеют зависимость от класса – Render, который отвечает за основные интерфейсы DirectX. Класс RenderTarget отвечает за настройку поверхности для вывода графики. StaticMesh — позволяет упаковать набор вершин для отправки в Input Assembler. VPSHader необходим для загрузки, компиляции и установки в конвейер визуализации вершинного и пиксельного шейдеров. VertexLayout — создаёт описание для вершин которые будут передаваться в данный шейдер. ConstantBuffer — упаковывает и передаёт любые данные в вершинный и пиксельный шейдеры. Texture — загружает, упаковывает и передаёт в пиксельный шейдер изображения. Transformation — генерирует матрицы для позиционирования объектов, задания перспективы и положения наблюдателя в пространстве.

Стоит отметить, что библиотека является статической (.lib). Данное решение даёт пользователю возможности расширения и настройки библиотеки путём использования возможностей ООП.

В результате реализации проекта была разработана технология для трёхмерной визуализации. Созданная технология оформлена в виде LIB-библиотеки для повышения гибкости. В перспективе: добавление поддержки новых стадий конвейера визуализации, добавление инструментов для работы со звуком, интеграция физического движка для возможности добавления объектам реалистичного поведения.

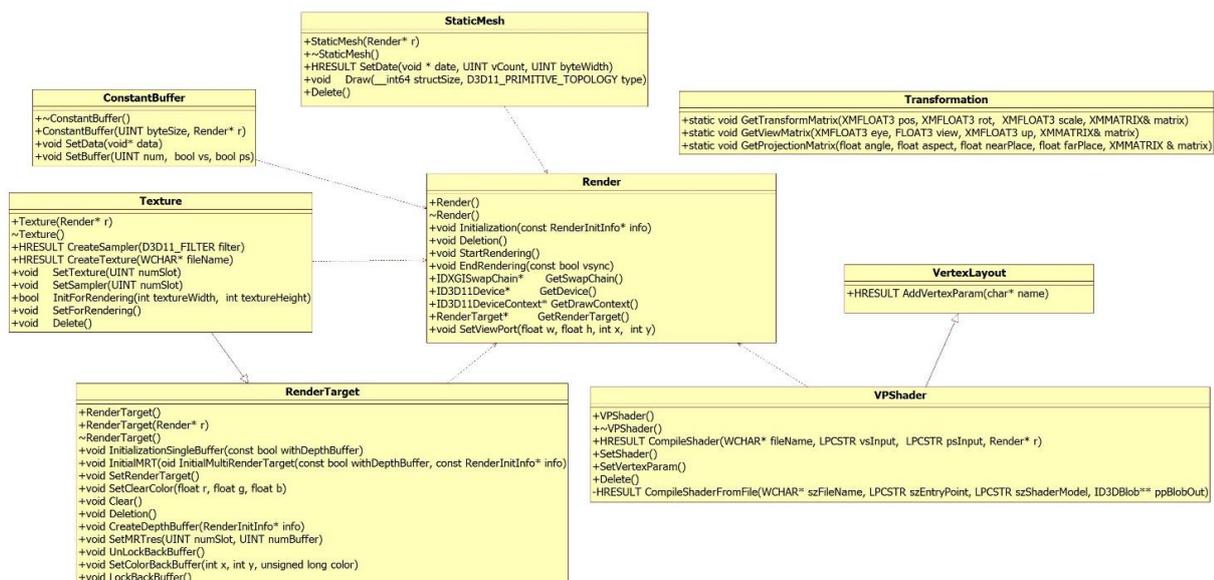


Рис. 2

Список литературы

1. Горнаков С. DirectX 9. Уроки программирования на C++. БХВ-Петербург, 2005, с. 400.

Френк Д.Луна. Introduction to 3D Game Programming with DirectX 11. Mercury Learning., 2012 г. с. 754

УДК 004.942

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАПАЗОНА ЗНАЧЕНИЙ МНОГОМЕРНОЙ ФУНКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕНЕНИЯ АР-ГУМЕНТОВ

Чесноков В.Ю., магистр

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Чесноков В.Ю. e-mail: vova.chesnokov.1995@mail.ru

Работа посвящена разработке метода оценки точности вычислений имитационной модели. Приведены алгоритмы и результаты расчетов модельного эксперимента.

Ключевые слова: приближенное число, операции с приближенными числами, бинарная операция, диапазоны изменения значений входных параметров многомерной функции, диапазон изменения значения многомерной функции.

METHOD OF DEFINITION OF THE RANGE OF VALUES OF MULTIVARIATE FUNCTION DEPENDING ON RANGES OF CHANGE OF ARGUMENTS

Chesnokov V.Y.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: vova.chesnokov.1995@mail.ru

Work is devoted to development of a method of an estimation of accuracy of calculations of imitating model. Results of use of the developed method are resulted.

Key words: the approached number, operation with the approached numbers, binary operation, ranges of change of values of entrance parameters of multivariate function, a range of change of value of multivariate function.

При решении ряда важных инженерных задач возникает вопрос выбора пути оцен-

ки характеристик изучаемого объекта: экспериментальный подход или имитационное моделирование. Как правило, экспериментальный подход является дорогостоящим и часто недостаточно информативным из-за сложности измерения определяющих процесс величин. Имитационное моделирование включает в себя математические методы и алгоритмы, позволяющие получать полную картину исследуемого объекта [1, 2]. Возможности современной вычислительной техники позволяют на новом уровне вернуться к вопросу описания объектов и технических систем, дополняя компьютерным моделированием решение проблем, недоступных для аналитического и экспериментального решения. Основываясь на научно-теоретических предпосылках, имитационное моделирование осуществляется в результате численного расчета, где сложность модели может сколь угодно увеличиваться, добиваясь все более точного соответствия объекту исследования. А, следовательно, появляется возможность проводить многократные расчеты, изменяя параметры модели, взамен дорогостоящим экспериментальным исследованиям. В статье рассмотрен вопрос повышения точности вычислений имитационной модели, при оценке погрешности интерполяции многомерных зависимостей.

Метод оценки точности вычислений имитационной модели \mathbf{M} основан на работе [3] и базируется на операциях с численными диапазонами $\alpha \circledast \beta = \gamma$, где \circledast – некоторая бинарная операция, α и β – численные диапазоны, входные операнды операции \circledast , γ – численный диапазон, выходной операнд операции \circledast . Диапазоны определяются парой чисел: диапазон α – парой \mathbf{A} и $\Delta\mathbf{a}$ (где \mathbf{A} – центр диапазона, $\Delta\mathbf{a}$ – половина его длины), диапазон β – парой \mathbf{B} и $\Delta\mathbf{b}$ (где \mathbf{B} – центр диапазона, $\Delta\mathbf{b}$ – половина его длины), диапазон γ – парой \mathbf{C} и $\Delta\mathbf{c}$ (где \mathbf{C} – центр диапазона, $\Delta\mathbf{c}$ – половина его длины). Операция \circledast применяется для работы с точными числами \mathbf{A} и \mathbf{B} , приближенными числами \mathbf{a} и \mathbf{b} и их точностями $\Delta\mathbf{a}$ и $\Delta\mathbf{b}$. Значение \mathbf{C} зависит от \mathbf{A} и \mathbf{B} , \mathbf{c} зависит от \mathbf{a} и \mathbf{b} , значение $\Delta\mathbf{c}$ вычисляется

в зависимости от $\Delta\mathbf{a}$ и $\Delta\mathbf{b}$ (\mathbf{a} , возможно, и от \mathbf{a} и \mathbf{b}) при выполнении операции \circledast . И, аналогично, значение $\delta\mathbf{c}$ вычисляется в зависимости от $\delta\mathbf{a}$ и $\delta\mathbf{b}$ (\mathbf{a} , возможно, и от \mathbf{a} и \mathbf{b} , а также и от $\Delta\mathbf{a}$ и $\Delta\mathbf{b}$) при выполнении операции \circledast .

Операция \circledast представляет собой функцию трех компонент: $\circledast = \{\mathbf{R}, \mathbf{R}_\Delta, \mathbf{R}_\delta\}$, где \mathbf{R} – используемая в каждом конкретном случае операция в соответствии с алгоритмом, определяющая функциональный вид вспомогательных операций \mathbf{R}_Δ и \mathbf{R}_δ . Операция \mathbf{R} определяет тип действия с приближенными числами \mathbf{a} и \mathbf{b} , а также с их точными числами \mathbf{A} и \mathbf{B} , т.е. $\mathbf{c} = \mathbf{a} \mathbf{R} \mathbf{b}$ и $\mathbf{C} = \mathbf{A} \mathbf{R} \mathbf{B}$. И, самое главное, задает функциональный вид операции \mathbf{R}_Δ действий с $\Delta\mathbf{a}$ и $\Delta\mathbf{b}$, т.е. $\Delta\mathbf{c} = \Delta\mathbf{a} \mathbf{R}_\Delta \Delta\mathbf{b}$, и функциональный вид операции \mathbf{R}_δ действий с $\delta\mathbf{a}$ и $\delta\mathbf{b}$, т.е. $\delta\mathbf{c} = \delta\mathbf{a} \mathbf{R}_\delta \delta\mathbf{b}$.

Необходимо отметить, что в такой постановке задача оценки точности имитационной модели и задача определения диапазона значений многомерной функции эквивалентны. Для определения диапазона значений многомерной функции в зависимости от диапазонов изменения аргументов, для оценки точности имитационной модели и для оценки погрешности интерполяции многомерных зависимостей представим множество наиболее используемых при моделировании бинарных операций $\alpha \circledast \beta = \gamma$ в отдельную таблицу 1.

Для определения диапазона изменения значений многомерной функции необходим алгоритм \mathbf{AM} вычисления значения этой функции. Далее все выражения во всех операторах присваивания этого алгоритма разобьем на сумму операторов присваивания с выражениями в правой части, содержащими не более двух переменных, т.е. операторы присваивания – бинарные операции. Это всегда можно сделать с введением дополнительных переменных и учетом последовательности выполнения арифметических операций в выражении. Причем, это не изменяет структуру и функцию алгоритма \mathbf{AM} .

Представленными действиями из алгоритма \mathbf{AM} получается алгоритм \mathbf{AML} .

Таблица 1
 Сводная таблица результатов операций R_{Δ} и R_{δ}

№	Операция R	Результат операции R_{Δ}	Результат операции R_{δ}
1	$c=a+b$	$\Delta c = \Delta a + \Delta b$	$\delta c = \max(\delta a, \delta b)$
2	$c=a-b$	$\Delta c = \Delta a + \Delta b$	$\delta c = (\Delta a + \Delta b)/ a-b $
3	$c=a*b$	$\Delta c = b \Delta a + a \Delta b$	$\delta c = \delta a + \delta b$
4	$c=a/b$	$\Delta c = \Delta a / b + a \Delta b / b^2$	$\delta c = \delta a + \delta b$
5	$z=uv$	$\Delta z = z(\sqrt{\ln u} + \sqrt{v} / u)\Delta x$	$\delta z = x(\sqrt{\ln u} + \sqrt{v} / u)\delta x$
6	$y=f(x)$	$\Delta y = f'(x) \Delta x$	$\delta y = x*f'(x)/f(x) \delta x$
7	$z=f(x,y)$	$\Delta z = \partial f / \partial x \Delta x + \partial f / \partial y \Delta y$	$\delta y = x(\partial f / \partial x) / f(x, y) \delta x + y(\partial f / \partial y) / f(x, y) \delta y$
8	$y = \sqrt[m]{x}$	$\Delta y = (\sqrt[m]{x} / mx)\Delta x$	$\delta y = \delta x / m$
9	$y=e^x$	$\Delta y = e^x*\Delta x$	$\delta y = x*\delta x$
10	$y=x^n$	$\Delta y = n x^{n-1} \Delta x$	$\delta y = n*\delta x$
11	$y=\ln x$	$\Delta y = \Delta x/x$	$\delta y = \delta x/\ln x$
12	$y=\lg x$	$\Delta y = \frac{0.43429}{x}*\Delta x$	$\delta y = 0.43429/\lg x *\delta x$
13	$y=\sin(x)$	$\Delta y = \cos(x) *\Delta x$	$\delta y = x*\text{ctgx} *\delta x$
14	$y=\cos(x)$	$\Delta y = \sin(x) *\Delta x$	$\delta y = x*\text{tg}(x) *\delta x$
15	$y=\tan x$	$\Delta y = \cos^2(x)*\Delta x$	$\delta y = 2x/\sin 2x *\delta x$
16	$y=\arcsin x$	$\Delta y = (1/(1-x^2)^{0.5}) \Delta x$	$\delta y = x/(\arcsin x*(1-x^2)^{0.5}) \delta x$
17	$y=\arccos x$	$\Delta y = -(1/(1-x^2)^{0.5}) \Delta x$	$\delta y = -x/(\arccos x*(1-x^2)^{0.5}) \delta x$
18	$y=\arctg x$	$\Delta y = (1/(1+x^2)) \Delta x$	$\delta y = x/(\arctg x*(1+x^2)) \delta x$
19	$y=ax$	$\Delta y = a^x \ln a \Delta x$	$\delta y = x*\delta x / \ln a$

Следующий шаг для решения поставленной задачи - создание на основе алгоритма **AML** доработанного алгоритма **AMLD**. Для этого:

1. Используемые в алгоритме **AML** диапазоны изменения входных параметров для выбора конкретных параметров вычисления конкретного значения многомерной функции представим в следующем виде. Для каждого **i-go** входного аргумента задан диапазон его значений [**ani**, **aki**]. В качестве входных данных алгоритма **AMLD** каждый **i-ый** входной диапазон вводится двумя числами: **Bi** = (**aki** + **ani**) / 2 – среднее значение диапазона; **DBi** = (**aki** – **ani**) / 2 – радиус диапазона.

Эти числа **Bi** и **DBi** и будут первым и вторым числами введения в алгоритм **AMLD** расчета диапазона изменения значения многомерной функции.

2. С этим электронным алгоритмом **AML** (для получения доработанного алгоритма **AMLD**) было сделано следующее. После каждого выполняемого оператора присваивания алгоритма **AML** вставлен оператор вычисления суммарного диапа-

зона данной операции \otimes в соответствии с таблицей 1. Полученный в результате этих действий доработанный алгоритм **AMLD** и был использован для решения поставленной задачи.

Был обоснован выбор R_{Δ} и R_{δ} таких, что верно утверждение, что из принадлежности любого **a1** диапазону $|a1 - A| < \Delta a$, и принадлежности любого **b1** диапазону $|b1 - B| < \Delta b$ следует принадлежность **c1 = a1 R b1** диапазону $|a1 R b1 - A R B| < \Delta a R_{\Delta} \Delta b$, для R, R_{Δ} и R_{δ} из таблицы 1. Обосновано, что число $\Delta c = \Delta a R_{\Delta} \Delta b$ – минимальное. Используя эти утверждения для модели **AMLD** для всех операций присваивания был получен диапазон изменения значений функции.

Для иллюстрации приведенного метода был написан алгоритм **AM**, преобразованный в **AML** и далее в **AMLD** для определения диапазона изменения значений многомерной функции $F = F(a1, a2, a3, \dots, a8) = (a1 - a2 * a3 + \sin(a4/a5)) * (a6 * a7 / \sqrt{a8})$ в зависимости от диапазонов [**ani**, **aki**] изменения аргументов **ai**. В качестве примера взято произвольное выражение **F**, содер-

жащее операции сложения, вычитания, умножения, деления и вычисления некоторой функции.

Результаты расчетов показали, что $ВВ = -74.3841$, $DBB = 101.128$ – выходные среднее $ВВ$ и радиус диапазона DBB , а $ВВ-DBB = -175.512$, $ВВ+DBB = 26.7442$ – границы выходного диапазона, $A = -29.2208$ – выходной конкретный параметр $A \in [-175.512, 26.7442]$

Пара чисел $ВВ$ и DBB и будет определять искомый диапазон изменения значения многомерной функции $F = F(a_1, a_2, a_3, \dots, a_8)$: $[ВВ - DBB, ВВ + DBB] = [-175.512, 26.7442]$.

Показано, что при произвольном наборе значений параметров $a_1, a_2, a_3, \dots, a_8$ из их диапазонов значений само значение функции $F = F(a_1, a_2, a_3, \dots, a_8)$ всегда находится в диапазоне $[ВВ - DBB, ВВ + DBB] = [-175.512, 26.7442]$. Значения $ВВ$ и DBB не зависят от конкретного набора значений

параметров $a_1, a_2, a_3, \dots, a_8$ из их диапазонов значений и DBB – минимальное.

Список литературы

1. Зуев В.В., Шмелева А.Г., Наумов В.В. О динамике пластических сред с разупрочнением: теория и задачи. Сборник трудов XI Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Казань, 20-24 августа 2015 года. Казань: Изд-во Казанского университета, 2015, с. 1527-1528.
2. Власов Г.В., Шмелева А.Г. Численное моделирование изменения модулей упругости. Межвузовский сборник трудов. Информационные технологии в образовании, науке, технике и гуманитарной сфере. Выпуск № 5. М.: МосГУ, 2014, с. 31-37.
3. Гмурман В.Е. Элементы приближенных вычислений. М.: Высшая школа, 2005, 93 с.

УДК 681.5.08

ИЗМЕРЕНИЯ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Андрянова А.А., магистр кафедры оптических и биотехнических систем и технологий;

Комякова К.Б., магистр кафедры оптических и биотехнических систем и технологий;

Торчинская А.В., к.ф.-м.н., доцент кафедры оптических и биотехнических систем и технологий;

Физико-технологический институт Московского технологического университета, г. Москва, РФ

© Автор для переписки: Торчинская А.В. e-mail: torchinav@rambler.ru

В работе представлен алгоритм преобразования интенсивности оптического луча, прошедшего жидкокристаллический преобразователь воздушного потока, в дыхательный объем.

Ключевые слова: спирометрия, алгоритм, жидкокристаллическая ячейка, оптический метод измерения

MEASUREMENT OF RESPIRATORY FUNCTION OF THE PERSON USING THE SENSITIVE LCD INVERTER AIR FLOW

Andriyanova A.A.;
Komyakova K.B.;
Torchinskaya A.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow, Russian Federation

© Corresponding author e-mail:

torchinav@rambler.ru

The paper presents the algorithm for converting the intensity of the optical beam passing the liquid crystal transducer of the air flow in the respiratory volume.

Key words: spirometry, algorithm, liquid crystal cell, optical measurement method

Диагностика внешнего дыхания является обязательным элементом диспансеризации в современном здравоохранении. Совершенствование спирометрической аппаратуры реализуется за счет использования новых измерителей потока [1]. В частности, хорошо известно, что существуют материалы, обладающие анизотропией электро- и механооптических свойств [2, 3]. Такими материалами являются жидкие кристаллы, на основе которых изготавливают чувствительные элементы – жидкокристаллические ячейки (ЖКЯ) [4]. Здесь, с помощью воздушного потока дыхания человека, можно формировать течение Пуазейля, а с помощью электрического поля – управлять ориентацией молекул жидкого кристалла.



Рис. 1. Алгоритм преобразования.

К открытым торцам жидкокристаллической ячейки прикладывается разность давления, которая вызывает периодическое движение анизотропной жидкости. Индуцированное потоком движение директора регистрируется в поляризованном лазерном свете, проходящем по нормали через ЖКЯ и анализатор. Таким образом, выражения для разности фаз (Φ) между обыкновенным (о) и необыкновенным (е) лучами, а также интенсивности прошедшего ЖКЯ лазерного луча:

$$I = I_m \sin^2 \frac{\Phi}{2} \quad (1)$$

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \int_{-d/2}^{d/2} \Delta n dZ \approx \langle \theta^2 \rangle d \approx \frac{256}{3} \cdot \frac{\pi^2 \alpha^2}{\eta_1^2 \Delta \epsilon^2} \cdot \frac{\Delta p^2 d^7}{\Delta x^2 U^4} \quad (2)$$

где I_m – входная интенсивность света, Δn – оптическая анизотропия, θ – угол ориентации, $\Delta \epsilon$ – анизотропия диэлектрической проницаемости, η_1 – коэффициент сдвиговой вязкости, U – напряжение электрического поля, α_2 – коэффициент Лесли, обеспечивающий связь между полями скоростей $[V_x(Z)]$ и ориентации $\theta(Z)$, $d(Z)$ – толщина жидкокристаллического слоя, а Z – координата направления потока.

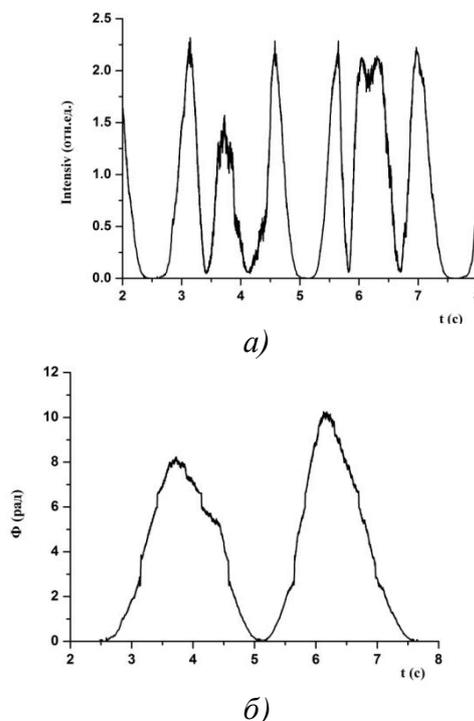


Рис. 2. Временные зависимости: а) интенсивности лазерного света, прошедшего ЖКЯ; б) оптической разности фаз.

Для преобразования регистрируемой временной зависимости интенсивности оптического отклика ЖКЯ в спирограмму был разработан следующий алгоритм (рис. 1):

1. По данным пациента (рост, вес, пол) определяется уровень воздействующего напряжения на чувствительный элемент.

2. Регистрируется временная зависимость оптического отклика $I(t)$ (рис. 2а), вызванного перепадом давления, определяемым по гармоническому закону $\Delta p = \Delta p_m \sin(\omega t)$, где $\omega = 2\pi/T$.

3. Формируется массив оптической разности фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами по формуле (1). Для этого необходимо определить характер изменения интенсивности (линейный) и число экстремумов, приходящихся на период изменения интенсивности оптического отклика, вызванного перепадом давления. При этом, если количество максимумов интенсивности больше 2, то это означает, что амплитудное значение оптической разности фаз превысит значение 2π . Поэтому, для упрощения анализа, ставится условие $\Phi < 2\pi$. Такой выбор определяется проблемами оптического метода регистрации, т.е. характер оптического отклика должен позволять провести спектральный анализ, в тоже время необходимо отсутствие амплитудной разницы экстремумов (рис. 2б).

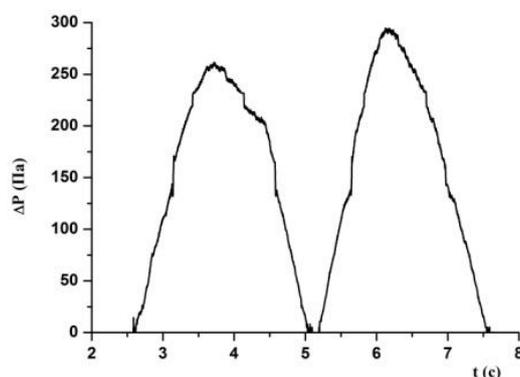
4. В случае невыполнения условия регистрирующее устройство должно выдавать запрос на повтор проведения исследования и выбор другого режима работы, т.е. изменение напряжения, воздействующего на жидкокристаллический элемент.

5. При выполнении условия вычисляется массив значений квадратного корня из оптической разности фаз с учетом поправочного коэффициента, учитывающего влияние электрического поля. В частности, из проведенных исследований можно установить соотношение пропорциональности оптической разности фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами квадрату давления: $\Phi = a(U) \cdot \Delta p^2$. Таким образом, происходит перевод оптической характеристики в механическую, и

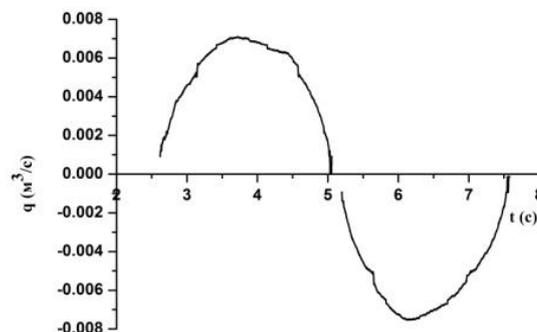
получается динамическое распределение давления, формирующего поток анизотропной жидкости в ЖКЯ (рис. 3а).

б. Далее определяется объемный расход воздуха дыхания человека (рис. 3б) и производится интегрирование временной зависимости объемного расхода, итогом которой является спирограмма (рис. 4).

Далее можно рассмотреть пошаговую реализацию представленного алгоритма.



а)



б)

Рис. 3. Временные зависимости: а) механических возмущений; б) объемного расхода воздушного потока дыхания человека

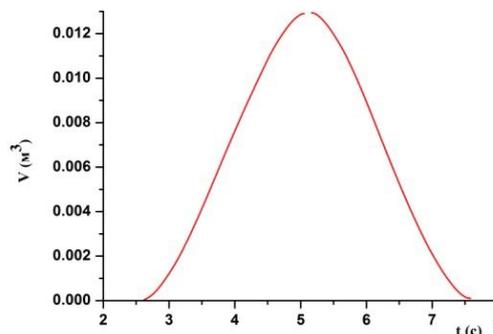


Рис. 4. Динамическая характеристика дыхательного объема человека

Список литературы

1. П.В. Стручков, Д.В. Дроздов, О.Ф. Лукина
 Спирометрия: рук. для врачей – М.: ГЭОТАР –
 Медиа, 2015. – 96с.: ил.
2. Де Жен П. Физика жидких кристаллов. –
 М.: Мир, 1977г.
3. Блинов Л. М. Жидкие кристаллы: Струк-

тура и свойства. М.: Книжный дом «ЛИБРО-
 КОМ», 2013. - 480 с.

4. Торчинская А.В. Осциллирующий поток
 Пуазейля в нематическом жидком кристалле,
 ориентированным электрическим полем. Дис-
 сертация. – М.: 2002г

УДК: 615.47:616-072.7

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ МИКРОВОЛНОВЫЙ РАДИОТЕРМОМЕТР

Седанкин М.К.¹, к.т.н., научный со-
 трудник;
Мирошенков Е.Ю.², бакалавр 4 года
 обучения;
Толокин Е.А.², бакалавр 4 года обуче-
 ния;
Павич И.А.³, магистр 2 года обучения.

¹Отдел СОиАРИ РТК, ФГБУ «ГНИИЦ РТ»
 МО РФ, Россия, Москва, 125167

²Физико-технологический институт Москов-
 ского технологического университета, Рос-
 сия, Москва, 107076

³Национальный исследовательский универси-
 тет «МЭИ», Россия, Москва, 111250

® Автор для переписки: Седанкин М.К., e-mail:
 msedankin@yandex.ru

Метод радиотермометрии используется для ранней
 диагностики рака и других заболеваний молочных желез.
 Для повышения эффективности радиотермометриче-
 ского обследования необходимо использование многока-
 нального прибора. В работе проведено математическое
 моделирование печатной антенны. Моделирование осно-
 вано на численном решении уравнений Максвелла для
 многослойной структуры с помощью метода конечных
 разностей во временной области. В итоге, разработана
 конструкция миниатюрной печатной антенны на базе
 целевого излучателя, которая может быть элементом
 многоканальной системы.

Ключевые слова: микроволновая радиотермометрия, рак
 молочной железы, печатная антенна, многоканальный
 радиотермометр, заболевания молочных желез

MULTICHANNEL MICROWAVE RADIOMETER

Sedankin M.K.¹;
Miroshenkov E.Y.²;
Tolokin E.A.²;
Pavich I.A.³

¹Department of CP&ATR of RTC, MRTRC MD
 RF, Russia, Moscow, 125167

²Physico-Technological Institute of Moscow
 Technological University, Russia, Moscow,
 107076

³National research university «MPEI», Russia,
 Moscow, 111250

® Corresponding author e-mail: Sedankin M.K., e-mail:
 msedankin@yandex.ru

Microwave radiometry method can be used for early diagno-
 sis of breast cancer and other diseases. To increase the effi-
 ciency of radiometric exam, it is necessary to use a multi-
 channel device. In the work, mathematical simulation of a
 printed antenna. The simulation is based on the numerical
 solution of the Maxwell equations for multilayer structures
 using the Finite Difference Time Domain method. Eventually,
 the design of a miniature printed slot antenna, which can be
 elements of a multi-channel radiometric device, has been
 developed.

Keywords: microwave radiometry, breast cancer, printed
 antenna, multichannel radiometer, breast diseases

Введение

В отличие от инфракрасной термогра-
 фии, которая выявляет температурные из-
 менения поверхностных тканей, радиотер-
 мометрия позволяет выявлять тепловые
 аномалии на глубине нескольких санти-
 метров, измеряя мощность радиотеплового

излучения. Метод используется в основном в маммологии для выявления пациентов группы риска развития рака и других заболеваний молочных желез (МЖ). Тепловые методы абсолютно безвредны, безболезненны, измерения можно проводить многократно, в том числе молодым и беременным женщинам. Кроме того, тепловые изменения наступают на самой ранней стадии развития опухолевого процесса, поэтому метод интересен для скрининга. Существующие серийно выпускаемые приборы являются одноканальными и одночастотными устройствами. Достаточно громоздкие датчики последовательно прикладываются к нескольким контрольным точкам на проекции МЖ. При этом, они измеряют усреднённую температуру в объёме под антенной и используют для целей визуализации двумерные поля температур. Зачастую врачу недостаточно этих данных. Врачу необходима информация о характере распределения температуры по глубине, послойные изображения или трехмерные поля температур, а также мониторинг изменений внутренней температуры во времени. Этого не позволяют делать серийно выпускаемые приборы. Поэтому необходимо создать многоканальные системы, которые бы позволили в реальном масштабе времени оценивать изменение температуры. Для развития технологии РТМ-диагностики необходимо значительно сократить размеры аппаратуры и разработать миниатюрную печатную антенну, которая будет являться элементом многоканальной системы, что повысит информативность и эффективность обследования.

Материалы и методы

В последние годы печатные антенны получили широкое распространение. В связи с простотой конструкции и низкой стоимостью, компактностью, а также общим развитием уровня техники в области печатной электроники, для обследования МЖ целесообразно создание печатной антенны. В отличие от волноводных антенн, у которых между излучателем, и апертурой антенны, расположен отрезок волновода, у печатных антенн излучатель напечатан непосредственно на диэлектриче-

ской подложке. Печатные антенны легче волноводных, имеют небольшую высоту и оказывают меньшее влияние на температуру кожи. Печатные антенны легче закрепить на поверхности МЖ в составе многоканальной системы диагностики и при необходимости совместить с другими медицинскими устройствами ввиду малых размеров. Существуют различные классы печатных антенн. В настоящем исследовании выполнена разработка печатной щелевой антенны, учитывая имеющийся у авторов значительный опыт проектирования подобных щелевых антенн различных типов.

Радиояркая температура, измеряемая с помощью медицинского радиотермометра, связана с «обычной» термодинамической температурой $T(r)$ соотношением (1):

$$T_{\text{rad}} = \int_{-\infty}^{\infty} T(r)W(r)dV \quad (1)$$

где $T(r)$ – термодинамическая температура МЖ, $W(r)$ – радиометрическая весовая функция антенны.

Математическая модель радиотермометрии МЖ базируется на формуле (1). Внутренняя температура T_{rad} , измеряемая медицинским радиотермометром, зависит от термодинамической температуры $T(r)$, электрического поля антенны в ближней зоне $E^2(r)$ и электропроводности $\sigma(r)$ МЖ. Моделирование проводилось в коммерческой программе электродинамического моделирования по методологии, изложенной в [1-3]. Для моделирования была разработана математическая модель радиотермометрии МЖ. Биологические ткани представлены в виде слоистой структуры (кожа, основной слой МЖ, мышцы). Электродинамические характеристики различных тканей представлены в таблице 1 [1-3].

Для проведения расчётов смоделирована ситуация, когда рабочая поверхность антенн непосредственно соприкасается с МЖ (нагрузкой). Имитатор биологической нагрузки представлял собой многослойный куб размерами 100 мм x 100 мм x (100 мм+H), где H – высота антенны. Расчёт электрического поля антенны осуществлялся в этом объёме, который помещён в

экран ($E_t=0$). Толщина кожи – 2 мм, толщина основного слоя МЖ – 88 мм, толщина мышечного слоя – 10 мм.

Таблица 1.

Электродинамические характеристики биологических тканей человека

Параметры биологических тканей	Злокачественная опухоль	Кожа	Основной слой МЖ	Мышцы
Диэлектрическая проницаемость, ϵ	50	35.5	10	51.1
Электропроводность (σ , [См/м])	2	2.32	0.4	2.82

Результаты исследований

В качестве антенны используется печатная антенна с щелевым излучателем в виде «бабочки», на базе керамической подложки с диэлектрической проницаемостью ϵ . Диаметр излучателя 20 мм. При оптимизации антенны в качестве критерия эффективности использовался КСВ (коэффициент стоячей волны) в рабочем диапазоне частот. Для определения оптимального варианта антенны проведено моделирование при различных значениях высоты корпуса антенны, ширины щели и угла раскрытия «бабочки».

В итоге, оптимальным вариантом оказалась антенна с высотой корпуса антенны 5 мм, шириной щели 1 мм и углом раскрытия «бабочки» 90 градусов.

В результате выполненных работ разработана печатная антенна на базе щелевого излучателя, соответствующая требованиям микроволновой радиотермометрии. Данная антенна может быть элементом многоканальной радиотермометрической системы.

Разработанная антенна в составе многоканальной антенной системы может являться составной частью различных диагностических средств, в том числе и медицинских робототехнических комплексов.

Список литературы

1. Веснин С.Г., Седанкин М.К. Миниатюрные антенны-аппликаторы для микроволновых радиотермометров медицинского назна-

чения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. В.10. С.51-56

2. Веснин С.Г., Седанкин М.К. Сравнение антенн-аппликаторов медицинского назначения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. В.10. С.63-74

3. Веснин С.Г., Седанкин М.К. Математическое моделирование собственного излучения головного мозга человека в микроволновом диапазоне. 2015. В.3. С.17-32

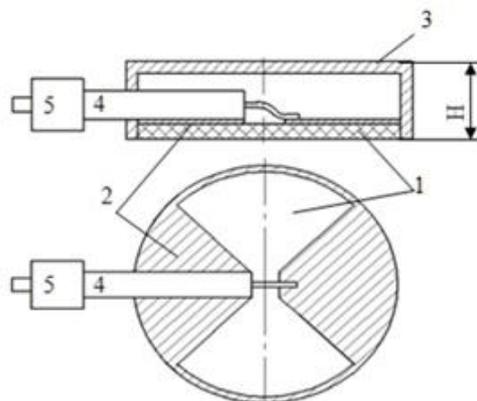


Рис. 1. Печатная щелевая антенна: 1 – подложка, 2 – излучатель, 3 – корпус антенны, 4 – коаксиальный кабель, 5 – СВЧ-разъём

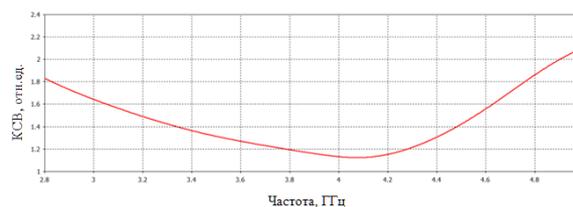


Рис. 2. Оптимальный КСВ разработанной антенны

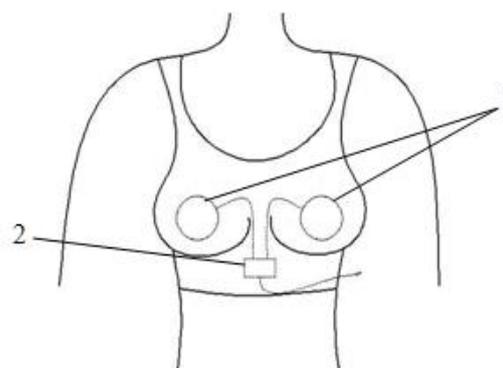


Рис. 3. Многоканальная радиотермометрическая система: 1 – многоканальный антенный зонд, 2 – двухканальный радиотермометр

УДК 536.24: 621.456

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА РПВРДГТ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ерохин Б.Т., д.т.н., профессор;
Синяков А.Э., аспирант;
Ермолаев А.Ю., докторант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Ерохин Б.Т. e-mail: b.erokhin@yandex.ru

Из всех известных типов ракетных двигателей наибольший интерес с точки зрения использования в летательных аппаратах больших скоростей представляет прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД). В ПВРД в качестве окислителя используется атмосферный кислород, что позволяет не включать в состав бортового топлива специальный окислитель. Этот двигатель отличается простотой устройства, малым весом конструкции и высокими энергетическими характеристиками (удельным импульсом тяги) по сравнению с ЖРД и РДТТ. Он может использоваться при высоких сверхзвуковых скоростях полета летательного аппарата (ЛА). Использование ПВРД немыслимо без стартового двигателя, разгоняющего летательный аппарат до скорости, при которой тяга ПВРД становится достаточной для дальнейшего разгона ЛА, либо для поддержания маршевой скорости полета

Ключевые слова: бортовое топливо, сверхзвуковая скорость, стартовый двигатель, маршевая скорость полета, рабочие циклы.

Erokhin B.T.;
Sinyakov A.E.;
Ermolaev A.U.

Moscow technological university. Physical and technological institute

© Corresponding author e-mail: b.erokhin@yandex.ru

From all known types of rocket engines the most interesting from the point of using high speeds in aircrafts is a ramjet engine. In the ramjet engine we use atmospheric oxygen as an oxidizing agent, which allows to not include special oxidizer in the composition of the on-board fuel. This engine is characterized by simplicity of the design, low weight and high energy characteristics in comparison with liquid rocket engine and solid fuel rocket engine. It can be utilized on high velocities of an aircraft. You can't use ramjet without starting engine though, which accelerating an aircraft to the speeds

at which ramjet thrust becomes sufficient to further accelerate an aircraft or to maintain flight speed um афшк думдую

Key words: onboard fuel, supersonic speed, starting engine, flight speed, working cycles.

Одной из разновидностей ПВРД является ракетно-прямоточный воздушно-реактивный двигатель на гибридном топливе (РПВРДГТ), занимающий промежуточное положение между ракетным и ПВРД двигателями, сочетая в себе их рабочие циклы и элементы конструкции. РПВРДГТ несет в себе ряд преимуществ, присущих обоим двигателям. По сравнению с ракетным двигателем РПВРДГТ обладает более высоким удельным импульсом тяги, отнесенным к 1 кг бортового запаса топлива. По сравнению с воздушно-прямоточным двигателем РПВРДГТ обеспечивает более высокую тягу с 1 м² площади поперечного сечения двигателя, а в ряде случаев и более высокие значения удельного импульса тяги. В отличие от ПВРД, неспособного создавать тягу на старте и имеющего относительно низкую тягу при дозвуковых и трансзвуковых скоростях полета, РПВРДГТ может быть эффективно использован в широком диапазоне скоростей. РПВРДГТ позволяет в достаточно широких пределах регулировать расход и состав генерируемого газа в соответствии с условиями полета и режимом работы прямоточного контура. Рациональное решение этой задачи достигается при использовании в первой контуре топлива смешанного агрегатного состояния – гибридное топливо.

Продукты неполного горения топлива, образующиеся при его сжигании в камере ракетного двигателя (газогенератор на гибридном топливе), используются в качестве горючего для прямоточного контура. Это горючее сжигается в воздухе поступающего в камеру сгорания (дожигания) в полёте, в основном за счет скоростного напора и частично благодаря эжектирующему действию высоконапорного потока газов, вытекающих из соплового блока ракетной камеры. В отличие от ПВРД давление поступающего в РПВРДГТ воздуха, повышается как за счет динамического

напора набегающего потока, так и за счет смешения воздуха с высокопарным потоком газов ракетного контура. Это обуславливает возможность получения более высоких тяговых характеристик РПВРДГТ, по сравнению с ПВРД. Можно назвать несколько вариантов РПВРДГТ, из которых наиболее перспективными с точки зрения практического использования являются:

РПВРДГТ, в котором процессы смешения двух потоков воздушного и продуктов сгорания ракетного топлива и дожигания топливовоздушной смеси совмещены.

РПВРДГТ с предварительным смешением потоков, в котором процессы смешения и дожигания разделены по месту и времени -РПВРДГТ с эжектором.

Основными тяговыми параметрами РПВРДГТ являются тяга двигателя P , коэффициент тяги C_R и удельный импульс тяги I_Y .

Коэффициент тяги определяется как

$$C_R = \frac{P}{F_{gb} \cdot \frac{\rho_H \cdot V_H^2}{2}},$$

где ρ_H , V_H - плотность и скорость набегающего потока воздуха, соответственно;

F_{gb} - площадь миделева сечения двигателя, под которым обычно понимают площадь поперечного сечения камеры сгорания (дожигания).

Характеристикой экономичности РПВРДГТ принято считать удельный импульс тяги, представляющий отношение тяги двигателя к секундному расходу бортового топлива

$$I_Y = \frac{P}{G_T} \quad (6)$$

Подставив значение P из формулы (5), можно установить связь между C_R и I_Y

$$I_Y = \frac{C_R \cdot \rho \cdot V_H^2 \cdot F_{gb}}{2 \cdot G_T}.$$

Обозначим отношение секундных расходов воздуха G_b и продуктов сгорания из первого контура G_T через n . Расход воз-

духа, поступающего в двигатель, рассчитывается как:

$$G_b = \rho_H \cdot V_H \cdot F_H.$$

Так как $G_T = G_b/n$, получаем:

$$I_Y = \frac{C_R \cdot V_H \cdot n}{2 \cdot F_H} \cdot F_{gb}.$$

Но $F_H = \varphi_H \cdot F_{bx}$.

Обозначив $F_{bx}/F_{gb} = f_{bx}$, получаем:

$$I_Y = \frac{C_R \cdot M_H \cdot n \cdot a(y)}{2 \cdot \varphi_H \cdot f_{bx}}$$

где $a(y)$ - скорость звука в атмосфере на высоте полета.

Рассмотрим вопрос об универсальной тягово-экономической характеристике ПВРД и РПВРДГТ.

В то же время при проектировании возникает необходимость в предварительной оценке энерготяговооруженности, закладываемой в проект двигательной установки. Предназначаясь для (5)ой цели критерий должен быть комплексным, включающим помимо собственно удельного импульса тяги еще коэффициенты тяги и лобового сопротивления. Для того чтобы получить такой критерий баллистической эффективности, обратимся к уравнению движения летательного аппарата с ПВРД:

$$m \cdot \frac{dV}{dt} = P - X_L - m \cdot g \cdot \sin \theta,$$

где m - текущее значение ЛА;

$X_L = C_X \cdot F_M \cdot \frac{\rho_H \cdot V_H^2}{2}$ - лобовое сопротивление; θ - угол наклона к горизонту касательной к траектории ЛА; C_X - коэффициент лобового сопротивления (1.6); F_M - площадь миделева сечения ЛА.

Введем новую переменную:

$$\mu = \frac{\int_0^t G_T \cdot dt}{m_C}, \quad (7)$$

где m_C - масса ЛА к началу работы РПВРДГТ.

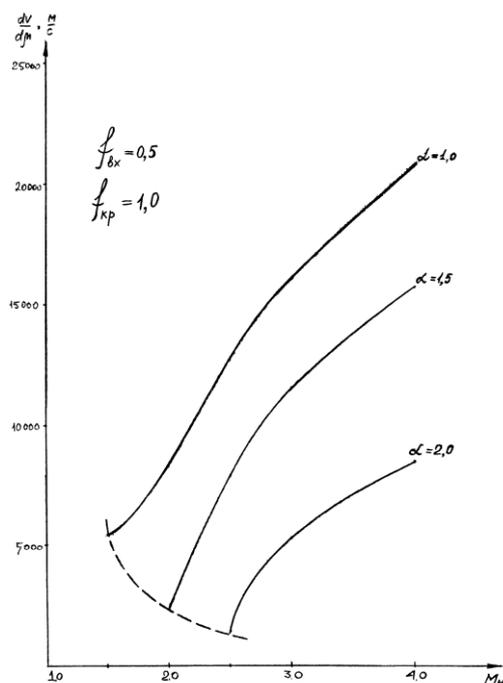


Рис 1. Зависимость оценочного критерия $dV/d\mu$ от числа M_H полета ЛА на постоянной высоте у поверхности земли для различных значений коэффициента избытка воздуха α

При этом в произвольный момент времени t масса летательного аппарата определится как:

$$m = m_C \cdot (1 - \mu). \quad (13)$$

С учетом формулы (12):

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{d\mu} \cdot \frac{G_T}{m_C}.$$

Введем обозначение

$$g \cdot m_C / F_M = \Pi_C.$$

Выразим G_T как:

$$G_T = \frac{P}{I_Y} = \frac{C_R}{I_Y} \cdot F_M \cdot \frac{\rho_H \cdot V_H^2}{2}.$$

Подставляя зависимости (5), (13), (14) и (15) в уравнение (11), получаем:

$$\frac{dV}{d\mu} = I_Y \cdot \left[\frac{1}{1 - \mu} \cdot \left(\frac{F_{gb}}{F_M} - \frac{C_X}{C_R} \right) - \frac{2 \cdot \Pi_C}{\rho_H \cdot V_H^2} \cdot \sin\theta \right]$$

Поскольку C_R и C_X обычно определяются как функции числа $M_H = V/a(y)$ преобразуем выражение для скоростного напора набегающего воздушного потока к виду:

$$\frac{\rho_H \cdot V_H^2}{2} = \frac{k \cdot M_H^2 \cdot P_H}{2},$$

где P_H - статическое атмосферное давление на высоте полета;

k - показатель адиабаты для воздуха равный 1,4.

Окончательно получаем

$$\frac{dV}{d\mu} = I_Y \cdot \left[\frac{1}{1 - \mu} \cdot \left(\frac{F_{gb}}{F_M} - \frac{C_X}{C_R} \right) - \frac{2 \cdot \Pi_C}{k \cdot M_H^2 \cdot C_R \cdot P_H} \cdot \sin\theta \right].$$

Зависимость (18) - критерий качества $dV/d\mu$, равный приросту скорости на единицу относительной убыли массы. Этот критерий характеризует эффективность использования топлива при заданных условиях полета (M_H , P_H), значениях конструктивного показателя Π_C и тяговых параметров двигателя C_R и I_Y в данной точке траектории. Именно этот критерий, а не I_Y , позволяет объективно оценить выигрыш от использования РПВРДГТ по сравнению с ракетным двигателем с точки зрения расходования бортового запаса топлива. Из уравнения (18) следует, что наибольший прирост скорости ЛА на единицу расходуемого топлива достигается при определенном сочетании C_R и I_Y . Из уравнения также видно, что, сопоставляя величины C_R и C_X , можно в первом приближении определить характер полета ЛА: при C_R , близком к C_X полет будет маршевым, при $C_R \gg C_X$ - разгонным.

Покажем использование полученного критерия $dV/d\mu$ для случая движения ЛА на постоянной высоте у поверхности земли. Зададимся рядом значений чисел M_H и для них рассчитаем величину $dV/d\mu$.

Результаты расчетов варианта, когда $f_{kp} = 1,0$, представлены в виде графиков на рис. для различных значений коэффициента избытка воздуха α . Пунктирной линией обозначена верхняя граница не рабочей зоны для РПВРДГТ.

Располагая для принятого ряда чисел M_H значениями $dV/d\mu$, можно опреде-

лить в первом приближении относительный запас топлива, необходимый для реализации принятого режима полета с набором скорости:

$$\Delta\mu = \Delta V / \frac{dV}{d\mu}$$

или

$$\Delta\mu = \Delta M \cdot 341 / \frac{dV}{d\mu}.$$

Тогда, проводя последовательно расчеты с выбранным шагом ΔM_H для принятых значений чисел M_H , найдем величину относительного запаса топлива как:

$$\mu = \sum_{M_H^{\min}}^{M_H^{\max}} \Delta\mu.$$

Список литературы

1. Ерохин Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей. Учебник для ВУЗов. – СПб.: Издательство «Лань», 2015, 608 с.
2. Ерохин Б. Т. И др. Внутрикамерные процессы и преобразование энергии в космических энергосистемах. – М.: РАН ВИНТИ, 2001, 480 с.
3. Чижевский О.Т. Моделирование проектных и термодинамических параметров энергосистем. – М.: МГАПИ, 2003. – 214 с.
4. Клячкин А.Л. Теория воздушно-реактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1969. – 512 с.

УДК 536.24: 621.456

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ ЛА

Ерохин Б.Т., д.т.н., профессор;
Синяков А.Э., аспирант;
Бондарович И.С., аспирант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Ерохин Б.Т. e-mail: b.erokhin@yandex.ru

В докладе представлена логическая и математическая формулировки задачи системного проектирования сложных систем по комплексному критерию качества. В качестве сложной системы рассмотрен ракетный двигатель летательного аппарата (ЛА). Задача системного проектирования энергосистемы сформулирована как задача обеспечения его минимальной массы при заданных ограничениях по надежности запуска, экономических затратах и др. Уже на этапе логической и математической формулировки задачи системного проектирования энергосистем мы сталкиваемся с множеством ее вариантов, что требует ограничиться рассмотрением наиболее типичных случаев в рамках классической теории проектирования сложных технических устройств.

Ключевые слова: энергосистема, критерий качества, параметрический синтез, композиционный, декомпозиционный.

SYSTEMS ENGINEERING MATH MODEL FOR POWER SYSTEMS OF AIRCRAFTS

Erokhin B.T.;
Sinyakov A.E.;
Bondarovich I.S.;

Moscow technological university. Physical and technological institute

© Corresponding author e-mail: b.erokhin@yandex.ru

This report dedicated to logical and math formulation of the task for systems engineering of complex systems with comprehensive criteria of quality. The rocket engine of an aircraft is considered as a complex system. The main task of systems engineering of the power system is to ensure its minimum mass with determined limitations and constraints for reliable launch, economical costs, etc. Even at the stage of mathematical and logical formulation of the systems engineering tasks for power systems, we face a variety of its options, which requires limiting the consideration of the most typical and simple cases within classical theory of technical devices design.

Key words: power system, quality criteria, parametric synthesis, composite, decomposite

Корректно сформулированная задача системного проектирования энергосистем заключается в нахождении наилучших по

принятому критерию значений параметров управления \vec{x}^y из некоторого допустимого множества Ω .

Общая математическая запись такой задачи имеет вид:

$$\begin{aligned} R(\vec{x}^{y*}) &= \text{extr}R(\vec{x}^y); \\ \vec{x}^y, \vec{x}^{y*} &\in \Omega; \\ \vec{x}^y &= (\vec{x}_1^y, \vec{x}_2^y, \dots, \vec{x}_k^y, \dots, \vec{x}_n^y); \\ \vec{x}^{y*} &= (\vec{x}_1^{y*}, \vec{x}_2^{y*}, \dots, \vec{x}_k^{y*}, \dots, \vec{x}_n^{y*}); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Omega = \left\{ \begin{aligned} &y_i(\vec{x}^y) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots \\ &g_i(\vec{x}^y) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots \\ &\vec{x}_{кн}^y \leq \vec{x}^y \leq \vec{x}_{кв}^y, \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $R(\vec{x}^y)$ – критерий качества энергосистемы; \vec{x}^y, \vec{x}^{y*} – векторы оптимизируемых и оптимальных параметров управления \vec{x}^y ;

$y(\vec{x}^y), g(\vec{x}^y)$ – функциональные ограничения на параметры управления, заданные исходя из требований ТЗ и возможностей проектирующей системы; $\vec{x}_{кн}^y, \vec{x}_{кв}^y$ – прямые нижние и верхние ограничения на оптимизируемые параметры.

Так называемые «некорректно» сформулированные задачи параметрического синтеза часто возникают в практике проектирования энергосистемы. Из них можно выделить две основные:

1. Найти область возможных решений Ω , все точки внутри которой удовлетворяют граничным условиям (2), то есть

$$\vec{x}_1^{y*}, \vec{x}_2^{y*}, \dots, \vec{x}_k^{y*}, \dots, \vec{x}_n^{y*} \in \Omega \subset \Omega_0. \quad (3)$$

2. Найти любое допустимое решение \vec{x}^{y*} , удовлетворяющее условию:

$$\vec{x}_0^{y*} \in \Omega. \quad (4)$$

При решении всех сформулированных задач синтеза будем полагать, что всегда выполняется условие

$$\tau_{\text{синт}} \ll \tau_u,$$

где $\tau_{\text{синт}}$ – отрезок времени, затраченный на осуществление операций синтеза,

τ_u – характерный отрезок времени, за который входная информация может существенно измениться. То есть, на каждом

цикле задачи синтеза решаются как статические.

Критерий качества должен учитывать все частные технико-экономические показатели энергосистемы, в число которых входят надежность, стабильность действия, стоимость, сохраняемость, стойкость к внешним воздействиям, масса, габариты и другие. Это требует поиска конкретной формы обобщения частных показателей в виде единого критерия качества, выраженного в метрической форме и позволяющего получать единую компромиссную оценку качества энергосистемы по совокупности частных показателей.

Общую форму критерия качества энергосистемы запишем в виде:

$$\left. \begin{aligned} R(x) &= \varphi[z_1(\vec{x}), \dots, z_j(\vec{x}), \dots, z_m(\vec{x})]; \\ \vec{x} &= (\vec{x}^y, \vec{x}^{\text{нУ}}); \\ \vec{x}^y &= (\vec{x}^{\text{Уд}}, \vec{x}^{\text{Ус}}, \vec{x}^{\text{Ун}}); \\ \vec{x}^{\text{нУ}} &= (\vec{x}^{\text{нУд}}, \vec{x}^{\text{нУс}}, \vec{x}^{\text{нУн}}), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $z_j(\vec{x})$ – операторы вычисления частных технико – экономических показателей; $\varphi[\cdot]$ – оператор объединения частных показателей в комплексный критерий качества; $\vec{x}^{\text{нУ}}$ – вектор неуправляемых параметров, включающий векторы детерминированных ($\vec{x}^{\text{нУд}}$), случайных ($\vec{x}^{\text{нУс}}$) и неопределенных ($\vec{x}^{\text{нУн}}$) параметров.

Под неопределенными будем понимать только такие параметры, для которых известен диапазон изменения, но неизвестны их значения внутри заданного диапазона. Отнесем их к одной из двух групп. Неопределенность параметров первой группы будем связывать с неопределенностью условий и сроков этапов жизненного цикла энергосистемы (период времени до применения энергосистемы, начальные условия по температуре в момент применения и т.п.), а второй – с техническими трудностями получения точных значений параметров на заданном этапе проектирования энергосистемы или законов их распределения.

Условия оптимальности критерия качества в задаче (1) должны быть представлены в форме:

$$R(\vec{x}) = \max \left\{ \min \varphi \left[z_1(\vec{x}), \dots, z_j(\vec{x}), \dots, z_m(\vec{x}) \right] \right\};$$

$$\left. \begin{array}{l} \vec{x}^y \in \Omega_y; \\ \vec{x}^{\text{нун}} \in \Omega_{\text{нун}}, \end{array} \right\} \quad (6)$$

где $R(\vec{x})$ – «гарантированное» максимальное значение критерия качества R ;

Ω_y и $\Omega_{\text{нун}}$ — области изменения управляемых и неопределенных параметров.

Принципиально оператор $\varphi(\cdot)$ можно построить в виде двух основных форм – композиционной и декомпозиционной.

К первой относят функцию Лагранжа, линейную комбинацию взвешенных частных показателей в виде:

$$R(\vec{x}) = \sum_{j=1}^m a_j z_j(\vec{x}), \quad j = 1, 2, \dots,$$

Под декомпозиционной формой понимается форма, при которой критерий качества представляется в виде некоторого логического оператора, объединяющего разнесенные во времени локальные процедуры поиска типа

$$R_j(\vec{x}) = \sum_{i=1}^m k_{ij} z_i(\vec{x}), \quad j = 1, 2, \dots, \quad (7)$$

где k_{ij} – логический вектор, принимающий значение 0 или 1; $R_j(\vec{x})$ – локальная процедура поиска.

Разновидностью метода синтеза устройства по последовательно применяемым критериям является метод последовательных уступок, реализуемый по следующей схеме:

$$1) R_1(\vec{x}) = \max \left\{ \min z_1(\vec{x}^y, \vec{x}^{\text{нун}}) \right\};$$

$$\vec{x}^y \in \Omega_y, \quad \vec{x}^{\text{нун}} \in \Omega_{\text{нун}};$$

$$2) R_2(\vec{x}) = \max \left\{ \min z_2(\vec{x}^y, \vec{x}^{\text{нун}}) \right\};$$

$$\vec{x}^y \in \Omega_y, \quad \vec{x}^{\text{нун}} \in \Omega_{\text{нун}};$$

$$\min z_1(\vec{x}^y, \vec{x}^{\text{нун}}) \geq R_1(\vec{x}) - \Delta_1(\vec{x});$$

$$\vec{x}^{\text{нун}} \in \Omega_{\text{нун}}; \quad (8)$$

$$s) R_s(\vec{x}) = \max \left\{ \min z_s(\vec{x}^y, \vec{x}^{\text{нун}}) \right\};$$

$$\vec{x}^y \in \Omega_y, \quad \vec{x}^{\text{нун}} \in \Omega_{\text{нун}};$$

$$\min z_r(\vec{x}^y, \vec{x}^{\text{нун}}) \geq R_r(\vec{x}) - \Delta_r(\vec{x});$$

$$\vec{x}^{\text{нун}} \in \Omega_{\text{нун}};$$

$$r = 1, 2, \dots, s-1,$$

где 1), 2), ...s) — оптимизирующая последовательность показателей качества;

$R(\vec{x})$ — гарантированное максимальное значение показателя R ;

Δ — уступка на показатель, предельное значение которой определяется областью Ω . Каждый из показателей R_s в оптимизирующей последовательности $s = 1, 2, 3, \dots$ может объединять несколько частных физически однородных показателей. Ранг показателей не является жестким и может быть изменен даже в ходе решения конкретной задачи, если накапливающаяся информация вскроет ошибочность его предварительного распределения.

Для решения задачи синтеза энергосистемы для ЛА по сформулированному критерию необходимо дать его смысловую интерпретацию и конкретную математическую форму, разработать и обосновать систему прямых и функциональных ограничительных условий (2), выбрать параметры управления \vec{x}^y величиной критерия $R(\vec{x})$ и метод продвижения из некоторой исходной точки $\vec{x}^y \mathbf{0}$ к оптимальному решению \vec{x}^{y*} , разработать структуру переменных – циклических процедур синтеза.

При ограничении по затратам и срокам на проведение ОКР на выделенном множестве типов энергосистем, топлив, конструктивных и теплозащитных материалов, механических деталей энергосистемы, стандартных и унифицированных узлов и элементов, методов и технических средств изготовления, контроля и испытаний энергосистемы и его элементов, других ограничений, определяющих ресурсы и возможности проектирующей системы (среду проектирования), выбрать такой вариант энергосистемы и численные значения его параметров, которые удовлетворяют всем требованиям ТЗ и при этом являются оптимальными по принятому критерию качества.

Список литературы

1. Ерохин Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей. Учебник для ВУЗов. – СПб.: Изд-во Лань, 2015. – 608 с.
2. Ерохин Б.Т. Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей. Учебник для ВУЗов. – М.: РАН ВИНТИ, 2004. – 864 с.
3. Ерохин Б.Т., Богословский В.Н. Теория теплообменных процессов и проектиро-

вание систем запуска РДТТ. - М.: Лидер – М, 2008, 382 с.

4. Вермишев Ю.Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных систем. - М.: Радио и связь, 1982, 152 с.

5. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. - М.: Наука, 1971,

384 с.

6. Хилл П. Наука и искусство проектирования. - М.: Мир, 1973, 263 с.

7. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. Серия «Кибернетика». - М.: Радио и связь, 1982, 152 с.

УДК 519.854.2

К ПРОБЛЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАЛЬНОСТИ ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ ДЛЯ ДВУХСТАДИЙНОЙ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Коган Д.И.¹, д.т.н., профессор
Федосенко Ю.С.², д.т.н., профессор,
зав. кафедрой

¹Физико-технологический институт Московский технологический университет

²Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, 603951

© Автор для переписки: Коган Д.И., e-mail: kdi_41@mail.ru

Рассматривается логистическая система, в которой прибывающие транспортные средства нескольких типов сначала проходят грузовую обработку стационарным процессором, а затем направляются потребителям. Каждое транспортное средство предписывается только одному потребителю, каждому потребителю предназначается ровно одно транспортное средство и установлен директивный срок завершения его разгрузки. Требуется определить, является ли имеющаяся система директивных сроков реальной и строится решающий алгоритм динамического программирования.

Ключевые слова: транспортные средства, грузовая обработка, динамическое программирование, директивные сроки

TO THE PROBLEM OF DETERMINING THE REALITY OF DIRECTIVE DEADLINES FOR A TWO-STANDING SERVICE SYSTEM

Kogan D.I.¹
Fedosenko Yu.S.²

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

²Volga State University of Water Transport, 603951 Nizhniy Novgorod, Nesterova st. 5

© Corresponding author Kogan D.I., e-mail: kdi_41@mail.ru

Logistic system in which arriving few types of means of transport that got cargo processed by stationary processor first and then goes to consumer is being considering. It is required to assign exactly one mean of transport to each consumer and exactly one consumer to each mean of transport. Every mean of transport has its unloading directive deadline. It's required to define whether system of directive deadlines is real. Solving algorithm of dynamic programming is constructed.

Key words: means of transport, cargo processing, dynamic programming, directive deadlines.

Рассматривается следующая задача теории расписаний [1]. Имеется процессор H , предназначенный для грузовой обработки (обслуживания) совокупности $O_n = \{1, 2, \dots, n\}$ поступающих транспортных средств (объектов). Для каждого объекта i считается заданным момент $t(i)$ его прибытия (готовности к обслуживанию); считается, что $0 = t(1) \leq t(2) \leq \dots \leq t(n)$. Полагается, что процессор H не может обслуживать несколько (более одного) объектов одновременно, обслуживание каждого объекта реализуется без прерываний, необходимости в переналадках нет. Объекты, прошедшие обслуживание, далее направляются к удаленным от процессора потребителям, составляющим совокуп-

ность $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. В адрес каждого потребителя должен быть направлен ровно один объект, каждому объекту должен быть назначен ровно один потребитель. Транспортные средства разделены на типы T_1, T_2, \dots, T_k . Считаем, что транспортных средств типа T_i имеется n_i единиц, $i = 1, 2, \dots, k$. Для каждого потребителя p_j известно, какими типами транспортных средств он может быть обслужен; если транспортное средство типа T_i может обслужить потребителя p_j , то считается заданной константа $t(i, j)$ – время, необходимое соответствующему транспортному средству на перемещение от места расположения процессора H до потребителя и на последующую разгрузку. Время, требуемое на грузовую обработку транспортного средства типа T_i процессором H обозначаем $\tau(i)$. Для каждого потребителя p_j , считается предписанным директивный срок D_j , не позднее которого разгрузка направленного ему транспортного средства должна быть завершена. Требуется определить, является ли система директивных сроков D_1, D_2, \dots, D_n , реальной.

Предварительно отметим, что директивный срок по произвольному пункту потребления p_j соблюдается, если в его адрес не позднее момента времени $d_{ij} = D_j - t(i, j)$ от процессора H направляется транспортное средство подходящего типа T_i . Для этого процессор H должен начать обслуживание указанного транспортного средства не позднее момента $\Theta_{ij} = d_{ij} - \tau(i)$.

Ситуацию, в которой принимается каждое очередное решение по загрузке освободившегося процессора, включая начальный момент времени, когда процессор по определению считается свободным, характеризуем тройкой $(t, M(t), N(t))$, где t – момент принятия решения (в этот момент процессор считается свободным); $M(t)$ – совокупность номеров объектов, которые на момент времени t остаются необслуженными; $N(t)$ – множество индексов потребителей, в адреса которых еще не направлены предназначенные для них транспортные средства. Отметим, что в принимаемых обозначениях $N(0) = P$.

Совокупность $M(t)$ будем характеризовать k -мерным вектором $M^*(t) = (m_1(t),$

$m_2(t), \dots, m_k(t))$, каждая i -я координата которого равна числу транспортных средств типа T_i в этой совокупности. При этом $M^*(0) = (n_1, n_2, \dots, n_k)$.

Совокупность $N(0) = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ всех подлежащих обслуживанию пунктов потребления характеризуем набором списков $(S^0)_1, (S^0)_2, \dots, (S^0)_k$, образованных по следующему принципу: если принадлежащий этой совокупности потребитель p_j может быть обслужен объектом типа T_i , то запись (Θ_{ij}, p_j) включается в список $(S^0)_i$, $i = 1, 2, \dots, k$. Отметим, что для каждого пункта потребления строится и включается в списки ровно столько записей, сколькими различными типами транспортных средств он может быть обслужен. Записи каждого из списков $(S^0)_1, (S^0)_2, \dots, (S^0)_k$ считаем упорядоченными по возрастанию первой компоненты; при одинаковых значениях первой компоненты упорядочение для однозначности выполняется по возрастанию индекса второй компоненты. В каждом из списков выполняем нумерацию записей путем дополнения каждой из них третьей компонентой – порядковым номером в списке. Далее записи всех списков считаются трехкомпонентными; из списков некоторые записи будут изыматься, но номера (третьи компоненты) будут оставаться неизменными.

Для произвольного момента t принятия решения по загрузке процессора (в этот момент процессор считается свободным) совокупность $N(t)$ потребителей, в адрес которых пока не направлены транспортные средства, можно представлять набором списков $(S^t)_1, (S^t)_2, \dots, (S^t)_k$, образованных из упорядоченных списков $(S^0)_1, (S^0)_2, \dots, (S^0)_k$ путем изъятия в каждом из них всех записей, относящихся к пунктам потребления, в адреса которых по состоянию на момент времени t транспортные средства уже направлены. Если в момент времени t процессор начинает обслуживание объекта, далее направляемого потребителю p_j , то в следующий момент принятия решения множество ожидающих обслуживания пунктов потребления характеризуется системой списков $\{(S^t)_1, (S^t)_2, \dots, (S^t)_k\}^j$; здесь и далее через $\{(S)_1, (S)_2, \dots, (S)_k\}^j$ обозначается набор

списков, получаемых из набора $\{(S^t)_1, (S^t)_2, \dots, (S^t)_k\}$ путем изъятия записей, второй компонентой которых является p_j . Расписание в данной задаче однозначно определяется последовательностью пунктов потребления, перечисляемую в порядке направления к ним транспортных средств с указанием для каждого пункта индекса типа транспортного средства, к нему направляемого.

Утверждение. Если система директивных сроков D_1, D_2, \dots, D_n реальна, то существует удовлетворяющее им расписание, в котором пункты потребления перечисляются в порядке возрастания соответствующего каждому из них показателя Θ_{ij} .

Далее мы ограничиваемся рассмотрением стратегий, обладающих сформулированным в *утверждении* свойством. Поэтому если в момент принятия решения t на обслуживание процессором принимается транспортное средство типа T_i , то далее оно направляется потребителю p_j , где j – вторая компонента первой записи списка $(S^t)_i$. Тогда систему списков $S^t = \{(S^t)_1, (S^t)_2, \dots, (S^t)_k\}$ однозначно характеризуем вектором $W(t) = (w^t_1, w^t_2, \dots, w^t_k)$, где w^t_i – третья компонента (номер) первой записи текущего списка $(S^t)_i$, $i = 1, 2, \dots, k$. Зная исходный набор списков $(S^0)_1, (S^0)_2, \dots, (S^0)_k$ и вектор $W(t)$ мы легко строим набор $\{(S^t)_1, (S^t)_2, \dots, (S^t)_k\}$. Получаем, что каждую ситуацию принятия решения $(t, M(t), N(t))$ однозначно определяет набор $(t, M^*(t), W(t))$. Решение заключается в выборе типа объекта, обслуживание которого начнется в момент времени t . Введем в рассмотрение функцию $V(t, M^*(t), W(t))$, принимающую нулевое значение, если в сложившейся ситуации $(t, M(t), N(t))$ все определяемые вектором $W(t)$ пункты потребления могут быть обслужены без нарушения директивных сроков; в противном случае значение $V(t, M^*(t), W(t))$ полагается равным единице. При синтезе стратегии, удовлетворяющей директивным срокам, в ситуации $(t, M^*(t), N(t))$ тип T_i может быть выбран при соблюдении следующих условий: i -я

координата вектора $M^*(t)$ ненулевая; первая компонента первой в текущем списке $(S^t)_i$ записи имеет значение, не меньшее t ; значение функции V для следующего момента принятия решения (описание компонент этого момента однозначно определяется текущей ситуацией и индексом i) равно нулю. Если в ситуации $(t, M^*(t), N(t))$ множество возможных вариантов выбора типа очередной обслуживаемой заявки непусто, значение $V(t, M^*(t), W(t))$ полагается равным нулю; в противном случае считаем, что $V(t, M^*(t), W(t)) = 1$. Процессу счета целесообразно предварить определение ситуаций, которые действительно могут возникнуть в ходе принятия решений (соответствующую технологию в применении к канонической задаче диспетчеризации см., например, в [2, 3]). Процесс итерационного счета начинается с тривиального определения реальности директивных сроков для одноэлементных множеств потребителей и обслуживающих их транспортных средств и заканчивается отысканием значения функции V для начальной ситуации. Предписанная система директивных сроков реальна тогда и только тогда, когда $V(0, M^*(0), (1, 1, \dots, 1)) = 0$. Несложно показать, что для любого фиксированного значения k изложенный алгоритм имеет полиномиальную верхнюю оценку количества выполняемых элементарных операций [4].

Список литературы

1. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. – М.: Наука, 1989. – 328 с.
2. Коган Д.И., Федосенко Ю.С. Задача диспетчеризации: анализ вычислительной сложности и полиномиально разрешимые подклассы // Дискретная математика. – 1996. Т. 8. Вып. 3. С. 135–147.
3. Коган Д.И. Динамическое программирование и дискретная многокритериальная оптимизация. – Н.Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2005. – 260 с.
4. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М.: Мир, 1982. – 416 с.

СЕКЦИЯ «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ, ПРИКЛАДНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ»

Руководитель секции: Веселов В.М., к.т.н.,
 ген. директор ООО «Твин Технолоджи Компани», г. Москва

УДК 530.1 523

О РАМКАХ ПРИМЕНИМОСТИ ВАЖНЫХ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ НА ПРИМЕРЕ НАРУШЕНИЯ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ ИЗВЕСТНОГО ЗАКОНА ТЕПЛООБМЕНА

Веселов В.М., к.т.н., генеральный директор
Евдокимов В.Д., к.т.н., ведущий специалист

Общество с ограниченной ответственностью «Твин Технолоджи Компани», г. Москва, 11930, Российская Федерация.

© Автор для переписки: Евдокимов В.Д. e-mail: twin@twintc.ru

В работе отмечены причина трудности и важность определения рамок применимости многих эмпирически найденных законов. Уточнены рамки применимости широко известного закона теплообмена излучением и найдены новые соотношения, учитывающие влияние гравитации и принципиально допускающие достижения абсолютного нуля температуры.

Ключевые слова: бесконечность Вселенной, эмпирические законы, рамки применимости, энергия теплового излучения, масса энергии, гравитационное поле, нарушение закона теплообмена.

ON THE FRAMEWORK OF APPLICABILITY OF IMPORTANT EMPIRICAL LAWS ON THE EXAMPLE OF VIOLATION IN THE GRAVITATIONAL FIELD OF

THE KNOWN TEPAL EXCHANGE LAW

**Veselov V.M. ;
 Evdokimov V.D.**

Limited Liability Company "Twin Tehnolodgy Company", Moscow, 11930, Russian Federation

Author for correspondence: Evdokimov V.D. e-mail: twin@twintc.ru

Annotation. The reason for the difficulty and importance of defining the scope of applicability of many empirically found laws is noted. The framework for the applicability of the widely known law of heat exchange by radiation has been clarified, and new relationships have been found that take into account the influence of gravity and, in principle, allow the achievement of absolute zero temperature.

Key words: The infinity of the universe, empirical laws, the scope of applicability, the energy of thermal radiation, the mass of energy, the gravitational field, the violation of the law of heat exchange.

Введение

Вселенная являющаяся, строго говоря, единственной изолированной системой так как не взаимодействует с другими системами (в силу их отсутствия), **не стационарна и практически бесконечна** во многих отношениях [1], [2], что порождает многие особенности процесса её познания. Масса Вселенной M_B и эквивалентная ей, согласно Эйнштейну, энергия $E_B \equiv M_B c_m^2$, видимо, относятся к небольшому числу постоянных и, возможно, конечных её параметров (c_m – максимально возможная скорость материальных объектов в инерциальной системе отсчёта). **Бесконечность** является важнейшей общей причиной и ограниченности наших знаний, и постоянного их развития. Она же

не позволяет точно и надёжно определить рамки применимости только, что установленного эмпирического закона, т.е. найти условия (хотя бы, не все), при которых закон справедлив наверняка (за пределами этих условий он может быть не справедлив). Действительно, не всегда просто выбрать из бесконечного числа существенные условия. Пусть мы указали многие условия, при которых закон был найден, но даже при этом нет гарантии в том, что закон останется в рамках применимости если, изменятся другие условия, нами не указанные (а их бесконечное множество).

Отчасти, поэтому не были указаны рамки применимости многих важных эмпирических законов и они, изначально, имели **вид** безусловных абсолютных законов (хотя причина этого- неопределённость и неточность наших знаний). Так наше **незнание** принимает **вид абсолютного знания**, вызывающий, часто, безусловное доверие. Таковы, например: а) законы механики и всемирного тяготения Ньютона; б) общий закон теплообмена, согласно которому энергия тепловым путём переносится самопроизвольно только «вниз по температуре», стремится уравнивать температуру и привести Вселенную к тепловой смерти; в) общее и второе начала феноменологической термодинамики [3], запрещающие Вселенной избежать тепловой смерти. Наивная вера в абсолютность закона, для которого рамки применимости не указаны (потому что не известны!), весьма оживляет развитие науки, вызывая, даже, драму идей, [2]. При этом срывает фактор неожиданности, когда вдруг «старый добрый закон перестаёт работать» в новых расширенных условиях эксперимента или наблюдений, т.е. **за рамками его применимости**.

Действительно, вряд ли можно было заранее предположить, что: -а) геометрия Эвклида, царившая в науке тысячелетия, уступит место, геометрии Лобачевского-Римана в сильном гравитационном поле, которое искривляет пространство (или траекторию светового луча); -б) механика Ньютона уступит место релятивистской механике Эйнштейна при скоростях близких к скорости света в вакууме

$c_m=299792458$ м/с максимально возможной в инерциальной системе отсчёта; -в) масса тела m и эквивалентная ей энергия $E=m \cdot c_m^2$ суть одна физическая величина, измеряемая обычно в разных единицах и воспринимаемая нами или как вещество или как полевая форма материи при большой или малой её концентрации в объёме, соответственно. Даже простой надёжный (?) закон Ома «перестал работать» в условиях сверхпроводимости.

Иногда рамки применимости эмпирического закона удаётся установить **теоретически** на основе молекулярно кинетической теории (МКТ), **квантовой механики** и общей теории относительности (ОТО), которые в настоящее время наиболее точно и полно описывают окружающий мир. Так, на основе представлений МКТ о хаотичном тепловом движении молекул Больцман доказал, что второе начало термодинамики является не абсолютным, а статистическим законом, и поэтому оно должно рано или поздно нарушиться благодаря случайному, самопроизвольному изменению макроскопических параметров системы, т.е. благодаря флуктуации [3]. В обычных достаточно больших термодинамических системах, представляющих практический интерес, заметные флуктуации столь редки, что экспериментальная проверка их возникновения практически исключена из-за ограниченности времени существования рода человеческого. Согласно гипотезе Больцмана, мы являемся свидетелями последствий огромной флуктуации, выведшей Вселенную из состояния тепловой смерти (возможно около $15 \cdot 10^9$ лет назад в момент Большого взрыва (Big Bang), [1], [4]). Таким образом, согласно Больцману, действие второго начала ограничено достаточно малыми промежутками времени наблюдения за системой (пока не произошла флуктуация), которые, однако, огромны при измерении в абсолютных единицах времени (в годах) и составляют основное время существования системы. Далее мы не будем рассматривать флуктуации, управлять которыми нам не дано и которые непредсказуемо нарушают закономерное поведение систем, подлежа-

щее научному изучению для надёжного практического применения.

Феноменологическая (формальная) термодинамика играет большую роль в развитии техники, поэтому, важной задачей является **определение** для законов термодинамики **рамок применимости**, о которых упоминал Эйнштейна, выражая своё отношение к **формальной** термодинамике: «...Это единственная общая физическая теория, и я убеждён, что в рамках применимости своих основных положений она никогда не будет опровергнута.», [5].

Квантовая механика и ОТО сильно изменили наши представления об окружающем мире, но не коснулись ранее установленных известных общего закона теплообмена и начал термодинамики (настолько сильна вера в абсолютный вид этих законов, рамки применимости которых, остаются не известными, если не считать ограничения по Больцману). В настоящем исследовании на основе этих теорий, проведён анализ влияния гравитации на процесс теплообмена, найдены рамки применимости его известного закона и термодинамического «принципа не достижимости абсолютного нуля температуры», являющегося следствием третьего начала формальной термодинамики.

Широко известны эмпирические законы теплообмена излучением и теплопроводностью, согласно которым поток энергии \dot{Q}_{12} между двумя физическими телами 1 и 2, передаваемый тепловым путём, пропорционален разнице абсолютных температур этих тел ($T_1 - T_2$), что запишем в общем виде

$$\dot{Q}_{12} = Kn \cdot (T_1 - T_2) \geq 0 \text{ Вт} \quad (11),$$

где: если $T_1 > T_2$ то энергия $\dot{Q}_{12} > 0$ передаётся от тела 1 телу 2; если $T_1 < T_2$ то энергия $\dot{Q}_{12} < 0$ передаётся от тела 2 телу 1; Kn – размерный коэффициент.

Kn зависит от многих факторов (в том числе от геометрических характеристик тел и их температур T_1, T_2), но для него всегда справедливы неравенства

$$\infty > Kn > 0 \text{ Вт/К} \quad (12),$$

согласно которым тепло передаётся только от более нагретого тела к менее

нагретому, т.е. **всегда «в низ по T »**, так как $Kn > 0$ (но не $Kn < 0$).

Кроме того, согласно закону сохранения энергии в случае стационарного теплообмена и отсутствия влияния гравитации, справедливы равенства

$$\dot{Q}_{c_{n1}} = \dot{Q}_{12}, \dot{Q}_{2,c} = \dot{Q}_{12} \quad (21,2),$$

где, в случае ($T_1 - T_2 > 0$), имеем: $\dot{Q}_{c_{n1}} > 0$ – энергия поступившая от горячих сторонних тел на тело 1; $\dot{Q}_{2,c} > 0$ – энергия, удалённая от тела 2 на сторонние холодные тела.

1.Общий закон теплообмена (1) имеет вид абсолютного безусловного закона, так как для него не указаны рамки применимости (потому что не известны!). Закон был установлен опытным феноменологическим методом, довольствующимся изучением лишь внешних проявлений (или феноменов) скрытых физических механизмов переноса энергии происходящего тепловым путём, без изучения самих механизмов переноса (такого изучения не могло быть, да и не требовалось в XIX веке).

2. Укажем условие, видимо, ограничивающее действие этого закона (1) и связанное с тем, что энергия E представляет собой массу $m \equiv E / c_m^2$ и, значит, взаимодействует с гравитационным полем, что стало известно в XX веке благодаря Эйнштейну, создавшему ОТО. Это взаимодействие, видимо, следует учитывать в мощных полях, когда достаточно велик модуль $|\varphi_1 - \varphi_2|$ разницы гравитационных потенциалов φ_1 и φ_2 тех мест, на которых расположены два тела, обменивающиеся энергией тепловым путём.

3. Далее для простоты и определённости рассмотрим стационарный теплообмен излучением двух абсолютно чёрных тел, представляющих собой одинаковые плоские тонкие круглые пластины, расположенные друг против друга и перпендикулярно вектору напряжённости однородного стационарного гравитационного поля. Радиус пластин много больше расстояния между ними (в этом случае тепловое излучение пластин не переходит к третьим телам).

3.1.В простом случае пренебрежимо малого влияния гравитации, теплообмен

между пластинами определяется известным соотношением, как разница двух встречных потоков энергии (\dot{Q}_{y1} и \dot{Q}_{y2}) уносимых тепловым излучением от каждой пластины

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{12} &= (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) = Co \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot Pn = \\ &= Co \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2) \cdot (T_1 - T_2) \cdot Pn \equiv \\ &= Kn \cdot (T_1 - T_2) \cdot Bm \end{aligned} \quad (3_1)$$

при этом справедливы и соотношения (см. (2))

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{cnl} &= (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) = \dot{Q}_{12}, \quad \dot{Q}_{2yc} = \\ &= (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) = \dot{Q}_{12} \cdot Bm, \end{aligned} \quad (3_2, 3)$$

где: $\dot{Q}_{y1} = Co \cdot T_1^4 \cdot Pn$, $\dot{Q}_{y2} = Co \cdot T_2^4 \cdot Pn$ - потоки энергии уносимые излучением от тела 1 (на тело 2) и от тела 2 (на тело 1), соответственно, согласно широко известному (см. [6]) эмпирическому закону Стефана-Больцмана, определяющему плотность потока уносимой энергии $\dot{q}_y = Co \cdot T^4$ (здесь $Co \approx 5.67/10^8$ - постоянная, Вт/(м²·К⁴); Kn - см. тождество в (3₁); Pn - площадь поверхности, участвующей в теплообмене излучением с поверхностью противоположной пластины.

Анализируя теплообмен в давно и широко применяемых наглядных понятиях симметрии и асимметрии, отметим, что разность $(T_1 - T_2)$ есть температурный фактор асимметрии тепловых встречных потоков энергии \dot{Q}_{y1} и \dot{Q}_{y2} . При $T_1 = T_2$ наблюдается симметрия, встречных потоков энергий ($\dot{Q}_{y1} = \dot{Q}_{y2}$), поэтому теплообмен отсутствует, а при $T_1 \neq T_2$ возникает асимметрия потоков ($\dot{Q}_{y1} \neq \dot{Q}_{y2}$), вызывающая тепловой обмен: $\dot{Q}_{12} = (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) \neq 0$.

3.2. Эмпирический закон Стефана-Больцмана $\dot{q}_y = Co \cdot T^4$ имеет вид абсолютного безусловного закона, так как не указаны рамки его применимости (потому что не известны!). Возможно, он не справедлив при больших напряжённостях гравитационного поля, характерных для таких космических объектов как чёрные дыры, массы которых очень велики (от нескольких до миллиардов солнечных масс); см. статьи: «массивная чёрная дыра», «сверхмассивные чёрные дыры», «чёрные дыры» в Энциклопедии [4]. Название «чёрная дыра» оправдано тем, что гравитационное поле столь массивного и достаточно компактного объекта не по-

зволяет электромагнитному излучению (как собственному, так и поглощённому) покинуть его, и такой объект «наблюдается (?)» на небе как чёрная область. Далее будем полагать, что закон Стефана – Больцмана справедлив, а большой перепад гравитационного потенциала достигается достаточно большим перепадом высоты (т.е. большим расстоянием между пластинами, остающимся однако всегда малым в сравнении с радиусом пластин).

3.3. Закон Стефана-Больцмана не вскрывает внутреннего механизма передачи энергии излучением. Это сделала квантовая механика, установив, что поток энергии \dot{Q}_y уносится от тела потоком испущенных им квантов теплового электромагнитного излучения, всегда движущихся в вакууме с максимально возможной скоростью. Важно, что каждый квант обладает энергией $E_k = h \cdot \Gamma$ и, согласно Эйнштейну, массой $m_k \equiv E_k / c_m^2 = h \cdot \Gamma / c_m^2$, взаимодействующей с гравитационным полем; здесь: $h \approx 6.63/10^{34}$ – постоянная Планка, Дж·с (чрезвычайно малая величина); Γ – частота кванта электромагнитного излучения, 1/с (время следует измерять местными часами, причём их конструкция должна исключить влияние напряжённости гравитационного поля, поэтому, в неоднородном поле часы с гравитационным маятником не годятся). Абсолютно чёрное тело поглощает все попавшие на его поверхность кванты, при этом энергия каждого кванта $E_k = h \cdot \Gamma$ выделяется в тепловой форме.

3.4. Согласно Эйнштейну ([7] статьи: №14, №36), гравитация воздействуя на движущийся квант вызывает два эффекта:

а) частота кванта и, значит, его энергия и масса уменьшаются в результате подъёма кванта и увеличиваются в результате падения кванта;

б) траектория движения кванта искривляется если вектор его скорости не совпадает с направлением действия гравитационной силы. Эффекты обычно не велики благодаря малому числовому значению величины h и относительно небольшим перепадам гравитационного перепада.

Так в слабом гравитационном поле Солнца приращение гравитационного по-

тенциала $(\varphi_2 - \varphi_1)$ относительно мало (т.е. $|(\varphi_2 - \varphi_1)/c_m^2| \ll 1$) тогда малы и относительные приращения основных величин характеризующих квант:

$$\begin{aligned} (G_2 - G_1)/G &\approx (m_2 - m_1)/m_k \approx \\ (E_{k2} - E_{k1})/E_k &\approx -(\varphi_2 - \varphi_1)/c_m^2, \end{aligned} \quad (4)$$

откуда видно, что с увеличением высоты (с увеличением φ_2) энергия кванта уменьшается и наоборот, что и должно быть, согласно закону сохранения энергии (квант затрачивает свою энергию при подъёме и приобретает при падении). Согласно (4), отношение энергий кванта на разных высотах $E_{k2}/E_{k1} \approx 1 - (\varphi_2 - \varphi_1)/c_m^2$, т.е. одинаково для каждого кванта и, значит в это же число раз изменится энергия переносимая потоком всех квантов. Отношение E_{k2}/E_{k1} больше единицы если квант упал (т.е. при $(\varphi_2 - \varphi_1) < 0$) и меньше единицы если квант увеличил свою высоту (т.е. при $(\varphi_2 - \varphi_1) > 0$). Квант испущенный Солнцем и поднимающийся до орбиты Земли изменит свою частоту, согласно расчёту Эйнштейна, на $(G_2 - G_1)/G \approx -(\varphi_2 - \varphi_1)/c_m^2 = -2/10^6$, т.е. весьма не значительно уменьшит её. Также не значительно (на 1.7 угловых секунды) гравитация Солнца отклоняет луч света далёкой звезды, проходящий вблизи края солнечного диска. Все эти эффекты надёжно подтверждены экспериментально [8].

3.5. В мощных гравитационных полях (при $|(\varphi_2 - \varphi_1)/c_m^2| \approx 1$) закон теплообмена может сильно отличаться от известного закона в нескольких отношениях. Пусть гравитационное поле столь мощное, что кванты, испущенные нижней пластиной 2, не доносят энергию до верхней пластины 1 тела, что возможно по двум причинам. Например, потому что все возвращаются обратно не сумев преодолеть действие гравитационного поля и достичь тела 1 (кванты не участвуют в теплообмене не зависимо от температуры T_2 , т.е. температура нижнего тела 2 не влияет на теплообмен. Этот случай аналогичен мощному гравитационному полю чёрной дыры). Кванты, испущенные верхним телом 1 и унёсшие от него энергию $\dot{Q}_{y1} = Co \cdot T_1^4 \cdot \Pi n$ все упадут на тело 2 и передадут ему энергию $\dot{Q}_{k2} = \dot{Q}_{y1} + Kg_1 \cdot \dot{Q}_{y1}$, т.е.

не только энергию \dot{Q}_{y1} , но ещё и энергию $Kg_1 \cdot \dot{Q}_{y1}$ приобретённую ими в результате падения (Kg_1 – безразмерный положительный коэффициент тем больший, чем больше $(\varphi_1 - \varphi_2)/c_m^2 > 0$). Таким образом, имеем вместо соотношений (3_{1, 2, 3}) другие

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{k2} &= \dot{Q}_{y1} \cdot (1 + Kg_1), \quad \dot{Q}_{c1} = \dot{Q}_{y1}, \\ \dot{Q}_{2yc} &= \dot{Q}_{k2}, \end{aligned} \quad (5_{1, 2, 3})$$

где: \dot{Q}_{k2} – поток энергии, которую кванты испущенные телом 1 принесли на тело 2 (энергия $\dot{Q}_{y1} = Co \cdot T_1^4 \cdot \Pi n$, излученная телом 1 является только частью энергии \dot{Q}_{k2}); равенство $\dot{Q}_{c1} = \dot{Q}_{y1}$ справедливо для стационарного состояния тела 1, когда всё подводимое к нему тепло от сторонних тел \dot{Q}_{c1} уносится излучением \dot{Q}_{y1} ; равенство $\dot{Q}_{2yc} = \dot{Q}_{k2}$ справедливо для стационарного состояния тела 2, когда вся энергия принесённая на него квантами, испущенными телом 1, удаляется к сторонним телам.

3.5.1. Такой процесс передачи телу 2 энергии $\dot{Q}_{k2} = \dot{Q}_{y1} \cdot (1 + Kg_1)$ пропорциональной энергии $\dot{Q}_{y1} = Co \cdot T_1^4 \cdot \Pi n$ обусловленной тепловым излучением тела 1, происходит при любых температурах тел, в том числе и при $T_1 = T_2$ (когда теплообмен не возможен согласно известному закону) и даже при $T_1 < T_2$ (т.е. когда тепло передаётся «в верх по T»). Как видим, гравитация способна значительно повлиять на теплообмен излучением. Она создаёт асимметрию встречных потоков квантов и потоков энергии ими переносимой даже при отсутствии температурного фактора асимметрии (при $T_1 - T_2 = 0$), благодаря гравитационному фактору асимметрии $(\varphi_2 - \varphi_1) \neq 0$, создающему асимметричность потоков падающих и поднимающихся квантов, а также потоков энергий ими переносимой, что учтено коэффициентом Kg_1 , который тем больше, чем больше $(\varphi_1 - \varphi_2) > 0$.

3.5.2. Особо отметим, если к верхнему телу 1 не подводится тепло от сторонних тел то $\dot{Q}_{c1} = 0$ (это возможно, например, если тела 1 и 2 представляют собой изолированную систему, когда $\dot{Q}_{c1} = 0 = \dot{Q}_{2yc}$) и в этом случае тело 1 будет отдавать излучением \dot{Q}_{y1} свою внутреннюю энергию, уменьшать свою температуру пока она

больше нуля (пока $T_1 > 0$), даже при $T_1 < T_2$. Этот процесс уноса тепла от верхнего тела 1 и нестационарного уменьшения его температуры прекратится, очевидно, только при $T_1 = 0$. Таким образом, рассматриваемое мощное гравитационное поле позволяет достичь абсолютного нуля температуры $T_1 = 0$, что запрещено в феноменологической термодинамике «принципом недостижимости абсолютного нуля температуры», являющимся следствием третьего начала формальной термодинамики (см. [6], отдел 2, 4.11.3⁰). Кроме того, в состоянии тепловой смерти Вселенной, когда направленные потоки энергии и массы отсутствуют, гравитация способна обеспечивать существование перепада температуры: $T_1 = 0 < T_2$ (вопреки распространенному мнению об одинаковой температуре во всём объёме, основанному на известном законе теплообмена).

4. Кратко отметим, что и в не очень мощных гравитационных полях, когда кванты, испущенные нижним телом 2 частично достигают верхнего тела 1 (в энергетически ослабленном виде), а частично возвращаются (благодаря искривлению траектории), также происходит нарушение известного закона теплообмена. Рассмотрим простой случай, когда кванты, испущенные нижним телом, все достигают верхнего тела (это, например, возможно в гипотетическом случае, когда все кванты покидают нижнюю пластину, двигаясь строго вертикально вверх). При этом вместо (5₁, 2, 3) имеем чуть более сложные соотношения

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\kappa n2} &= \dot{Q}_{y1} \cdot (1 + Kg_1) - \dot{Q}_{y2} = \\ & (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) + Kg_1 \cdot \dot{Q}_{y1}, \end{aligned} \quad (6_1)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{c n1} &= \dot{Q}_{y1} - (\dot{Q}_{y2} - Kg_2 \cdot \dot{Q}_{y2}) = \\ & (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) + Kg_2 \cdot \dot{Q}_{y2}, \quad \dot{Q}_{2yc} = \dot{Q}_{\kappa n2}, \end{aligned} \quad (6_2, 3)$$

где: $\dot{Q}_{\kappa n2}$ – результирующий поток энергии полученной телом 2 благодаря энергии $\dot{Q}_{y1} \cdot (1 + Kg_1)$ принесённой на него квантами испущенными верхним телом 1 за вычетом той энергии (\dot{Q}_{y2}), которую унесли от тела 2 кванты им испущенные;

$\dot{Q}_{c n1}$ – тепловая энергия подведённая от сторонних тел к телу 1 и равная (в стационарном состоянии тела 1) результирующей энергии унесённой от тела 1 ис-

пущенными им квантами (\dot{Q}_{y1}) за вычетом принесённой энергии ($\dot{Q}_{y2} - Kg_2 \cdot \dot{Q}_{y2}$) квантами испущенными телом 2;

$Kg_2 \cdot \dot{Q}_{y2}$ – энергия, потерянная квантами испущенными телом 2 в результате их подъёма на тело 1;

Kg_2 – безразмерный положительный коэффициент, учитывающий потерю энергии квантами поднявшимися от тела два 2 на верхнее тело 1 (тем больше, чем больше $(\varphi_1 - \varphi_2) / c_m^2 > 0$;

\dot{Q}_{2yc} – тепловая энергия уходящая от тела 2 сторонним телам и равная (в стационарном состоянии тела 2) результирующей энергии $\dot{Q}_{\kappa n2}$ полученной телом 2.

4.1. Результирующий поток энергии поступающий излучением на тело 2 будет отсутствовать (т.е. $\dot{Q}_{\kappa n2} = 0$) при равенстве $\dot{Q}_{y2} = \dot{Q}_{y1} \cdot (1 + Kg_1)$, (см. (6₁)) т.е. когда температура нижнего тела 2 превосходит температуру верхнего и обеспечивает соотношение $T_2^4 = T_1^4 \cdot (1 + Kg_1)$. При меньших температурах нижнего тела, когда $T_2^4 < T_1^4 \cdot (1 + Kg_1)$, энергия будет поступать на тело 2 ($\dot{Q}_{\kappa n2} > 0$), а при больших температурах, когда $T_2^4 > T_1^4 \cdot (1 + Kg_1)$, энергия излучением будет покидать тело 2 ($\dot{Q}_{\kappa n2} < 0$).

4.2. При малом относительном гравитационном факторе асимметрии

(при $|(\varphi_2 - \varphi_1) / c_m^2| \ll 1$), когда справедливы (4) и для кванта любой энергии справедливо $E_{\kappa 2} \approx E_{\kappa 1} \cdot [1 - (\varphi_2 - \varphi_1) / c_m^2]$, очевидно, для коэффициентов учитывающих приобретение и потерю энергии всеми квантами движущимися в одном направлении в гравитационном поле имеем $Kg_1 \approx Kg_2 \approx |(\varphi_2 - \varphi_1) / c_m^2|$, тогда из (6) найдём

$$\dot{Q}_{\kappa n2} = (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) + \dot{Q}_{y1} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) / c_m^2, \quad (7_1)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{c n1} &= (\dot{Q}_{y1} - \dot{Q}_{y2}) + \dot{Q}_{y2} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) / c_m^2, \\ \dot{Q}_{2yc} &= \dot{Q}_{\kappa n2}. \end{aligned} \quad (7_2, 3)$$

Эти соотношения в явном виде демонстрируют влияние на теплообмен излучением слабого гравитационного поля, в рассмотренных упрощённых условиях.

4.3. При одинаковых температурах тел, когда $\dot{Q}_{y1} = \dot{Q}_{y2} = Const = \dot{Q}_y$ из (7) получим:

$$\dot{Q}_{c_{n1}} = \dot{Q}_{c_{n2}} = \dot{Q}_{2yc} = \dot{Q}_y \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) / c_m^2 > 0.$$

Как видим, в этом простейшем случае существует единый поток энергии равный $\dot{Q}_y \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) / c_m^2 > 0$ от сторонних тел к верхнему телу 1, от него излучением квантов к телу 2 и от него к сторонним телам, причём этот поток пропорционален гравитационному фактору асимметрии движения квантов $(\varphi_1 - \varphi_2) / c_m^2$

5. Таким образом, согласно квантовой механике и ОТО влияние гравитации весьма разнообразит энергетический обмен между телами, происходящий благодаря излучению ими тепловых квантов электромагнитного поля.

5.1. Отсутствие влияния гравитации, видимо, есть рамки применимости общего закона теплообмена и термодинамического принципа «не достижимости абсолютного нуля температуры», а наличие влияния гравитации есть их рамки неприменимости. Заметим, знание рамок неприменимости закона позволяет использовать новые возможности, не ограниченные старым законом, а также избежать негативных последствий (о чём предупреждает народная мудрость: « не ходи в чужой монастырь со своим уставом», « не пользуйся правилами правостороннего дорожного движения в столице Англии»).

5.2. Обнаруженный перенос тепловой энергии «вверх по температуре» возможно способен вызвать уменьшение энтропии Вселенной, что требует дальнейших исследований.

Выводы.

1. Отмечена общая причина ограниченности наших знаний и трудности в определении рамок применимости многих важных эмпирически обнаруженных законов.

2. Определение рамок применимости эмпирических законов, в том числе термодинамических, на основе экспериментальных, наблюдательных и теоретических успехов 20-го и 21-го веков есть важная научная задача.

4. Обращено внимание на то, что гравитация способна влиять на законы теплообмена, так как любая энергия обладает, согласно Эйнштейну, массой взаимодействующей с гравитационным полем.

5. На простом примере показано, что перепад гравитационного потенциала, как и перепад температуры, вызывает не симметричное движение микрочастиц (квантов) переносящих энергию тепловым излучением. Это позволяет гравитации нарушить известный закон теплообмена, требующий разницы температуры, и нарушить термодинамический принцип «недостижимости абсолютного нуля температуры».

6. Способность гравитации или других факторов нарушить симметричность хаотичного теплового движения и вызвать их направленное движение, возможно, нарушает и другие законы феноменологической формальной термодинамики, что требует дальнейших исследований.

Список литературы

- Новиков И.Д. *Как взорвалась Вселенная*. М.: «Наука» 1988г., 176 стр.
- Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. *Драма идей в познании природы (частицы, поля, заряды)*. М.: «Наука» 1988г., 240 стр.
- Сивухин Д.В. *Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика*. М.: «Наука», 1975 г., 552 стр.
- Сурдин В. *Большая энциклопедия астрономии*. М.: «Эксмо» 2012 г., 474 стр.
- Киттель Ч. *Статистическая термодинамика. Перевод с английского под редакцией С.П. Капицы*. М.: «Наука», 1977 г., 336 стр.
- Яворский Б.М. и Детлаф А.А. *Справочник по физике . Издание шестое*. М.: «Наука», 1974г., 944 стр.
- Эйнштейн А. *Сборник научных трудов. Том 1*. М.: «Наука», 1965г., 700 стр., (№ 14 О влиянии силы тяжести на распространение света. 1911г.; № 36 Объяснение движения перигелия Меркурия в общей теории относительности. 1915г.).
- Брагинский В.Б., Полнарев А.Г. *Удивительная гравитация*. М.: «Наука» 1985г., 160стр

УДК 530.1

ПРОСТЫЕ УТОЧНЕНИЯ ТЕОРИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГАЗОВ, СОГЛАСУЮЩИЕ ЕЁ С ИЗВЕСТНЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ И НАБЛЮДАТЕЛЬНЫМИ ДАНЫМИ

Веселов В.М., к.т.н., генеральный директор
Евдокимов В.Д., к.т.н., ведущий специалист

Общество с Ограниченной Ответственностью «Твин Технолоджи Компани», г. Москва, 11930, Российская Федерация.

® Автор для переписки: Евдокимов В.Д. e-mail: twin@twintc.ru

Аннотация. Учёт двух обих для всех газов особенностей теплового движения молекул устранил парадоксальное противоречие теории теплопроводности с известными экспериментами без влияния гравитации. Обнаружено значительное влияние асимметрии теплового движения молекул, вызванной градиентом температуры и предположительно возможным градиентом гравитационного потенциала, что позволило объяснить уменьшение температуры по высоте неподвижного воздуха в тропосфере.

Ключевые слова: теория теплопроводности газов, парадоксальные противоречия, общие особенности теплового движения, факторы асимметрии движения, температурный фактор, гравитационный фактор.

SIMPLE UPDATES OF THE THEORY OF GASES THERMAL CONDUCTIVITY, ACCORDING TO IT WITH KNOWN EXPERIMENTAL AND OBSERVATIONAL DATA IN THE TROPOSPHERE

Veselov V.M.
Evdokimov V.D.

Limited Liability Company "Twin Tehnology Company", Moscow, 11930, Russian Federation

Author for correspondence: Evdokimov V.D. e-mail: twin@twintc.ru

Annotation. Taking into account the two features of the thermal motion of molecules that are common for all gases, eliminated the paradoxical contradiction of the theory of heat conduction with known experiments without the influence of gravitation. A significant influence of the asymmetry of the thermal motion of molecules caused by the temperature gradient and a presumably possible gradient of the gravitational potential was found, which made it possible to explain the temperature decrease in the height of the fixed air in the troposphere.

Key words: theory of heat conductivity of gases, paradoxical contradictions, general features of thermal motion, factors of motion asymmetry, temperature factor, gravitational factor

Введение. В настоящее время накоплен колоссальный экспериментальный и наблюдательный материал по явлениям теплообмена, который далёк от осмысления даже, в простейшем случае, стационарных процессов теплопроводности в идеальных химически однородных газах, о внутреннем строении которых мы знаем, казалось бы, всё. В настоящем теоретическом исследовании обратим внимание на два противоречия весьма удивительных (и, даже, парадоксальных). **Во-первых**, широко известная молекулярно-кинетическая теория явлений переноса в газах занижает коэффициент теплопроводности λ в сравнении с коэффициентом динамической вязкости η и даёт для величины $\lambda / (\eta \cdot C_v)$ числовое значение

$\lambda / (\eta \cdot C_v) = 1$ одинаковое для всех идеальных газов и сильно (если не сказать «вопиюще») противоречащее экспериментальным данным: $\lambda / (\eta \cdot C_v) \approx 2.5, \approx 1.9$ и ≈ 1.6 для одноатомных, двух атомных и многоатомных газов, соответственно, [1], [2]; (C_v - удельная изохорная теплоёмкость). Это противоречие не удалось устранить, хотя, как отмечает известный авторитет профессор Калифорнийского университета «...было проведено много усовершенствованных расчётов кинетических коэффициентов..., но найденные результаты не меняются существенным образом...», [2]. Подчеркнём, противоречие не только велико, но, что важно, оно парадоксально: теория ошибается тем сильнее, чем проще устроены молекулы газа. Действительно, теория занижает величину

λ максимально (в 2.5 раза) для одноатомных газов, молекулы которых устроены наиболее просто. Это указывает на общие ошибки, допускаемые теорией в отношении всех газов и не связанные со сложными индивидуальными особенностями молекул (поэтому вряд ли справедливы известные «объяснения», ссылающиеся на индивидуальные сложные особенности устройства молекул). **Во-вторых**, широко известно, что в земной тропосфере наблюдаются весьма устойчивые уменьшения температуры по высоте, происходящие на различных широтах с различными и крайне малыми градиентами (по модулю не более $|dT/dh|_n = 0.01$ град/м) [3]. Столь ничтожные, а главное устойчивые (и зимой и летом и днём и ночью) градиенты температуры трудно объяснить процессами теплообмена в атмосфере Земли, на поверхность которой ночью не поступает тепло, а в солнечный полдень поступает тепловой поток $\dot{q}_c \approx 300 \text{ Вт/м}^2$ (он в миллион раз больше тепла $\dot{q}_n \approx \lambda \cdot |dT/dh|_n \approx 0.023 \cdot 0.01 \approx 0.00023 \text{ Вт/м}^2$, которое способен унести воздух, согласно известному закону теплопроводности). Действительно, существование ничтожных и устойчивых градиентов, удалось отчасти объяснить не процессами теплообмена, а вертикальным движением больших масс воздуха участвующих в устойчивой глобальной тропосферной циркуляции в ячейках типа Хэдли (ориентировочно между экватором и 30-й параллелью) и Ферелла (между 30-й и 60-й параллелями), [4]. При вертикальном движении воздух испытывает сжатие или расширение и поэтому его температура уменьшается по высоте с теоретическим градиентом для сухого воздуха $|dT/dh|_t = g/C_p \approx 9.8/1000 = 0.0098 \text{ К/м}$, [1]; (g , C_p – напряжённость гравитационного поля и удельная изобарная теплоёмкость газа). При подъёме влажного воздуха в экваториальном районе в нижних слоях градиент может быть значительно меньше из-за выделения тепла конденсации. Однако в области 45-й параллели (в средней части циркуляционной ячейки Ферелла), где отсутствует вертикальное движение больших масс воздуха,

также наблюдается уменьшение температуры с градиентом $|dT/dh|_{45} = 0.0065 \text{ К/м}$ (он зафиксирован в стандартной атмосфере [5] и, добавим, близок к $g/(2 \cdot C_v) \approx 0.0068$). В этом случае падение температуры по высоте, видимо, не поддаётся корректному объяснению в рамках известных представлений. Существование в не подвижном воздухе ничтожного градиента температуры по вертикали, обладающего удивительным постоянством в условиях тропосферы, остаётся, на наш взгляд, явлением парадоксальным. Заметим, парадокс часто свидетельствует о наших глубоких заблуждениях, его анализ сулит значительный прогресс в понимании явлений. В этом мы убедимся ниже, в кратком изложении уточнённой теории теплопроводности, в которой учтём две общие для всех газов особенности теплового движения молекул вдоль градиента температуры (разные тепловые скорости молекул и асимметрию теплового движения, вносимую градиентом температуры). Мы обнаружим три эффекта влияющих на перенос энергии молекулами, согласуем теорию теплопроводности с данными экспериментов без влияния гравитации и с данными наблюдений в тропосфере Земли.

1. Отметим основные представления о стационарном процессе теплопроводности в не подвижном идеальном газе, находящемся в состоянии сплошной среды (но не вакуума) и состоящем из одинаковых молекул. Для простоты и определённости примем, что гравитационное поле отсутствует, давление всюду одинаково ($P = \text{Const}$), а вдоль оси X (и только вдоль этой оси) в положительном её направлении существует «падение температуры» (т.е. градиент температуры отрицателен: $dT/dx < 0$). При этом, согласно многочисленным экспериментам, в положительном направлении оси X (и всегда «вниз по температуре») через контрольную плоскость (**КП**) перпендикулярную оси X наблюдается тепловой поток $\dot{q}_x > 0$ (через единичную площадку КП) определяемый эмпирическим законом

$$\dot{q}_x = -\lambda \cdot (dT/dx)_K \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

где: $(dT/dx)_k$ - градиент температуры одинаковый во всех точках данной КП; $\lambda = \lambda(T)$ - коэффициент теплопроводности идеального газа (он уменьшается с уменьшением T и не зависит от P), причём важно, что всегда

$$\infty > \lambda > 0 \quad (2_{1,2})$$

и, значит, согласно этим неравенствам справедливо простое правило: нет градиента температуры ($dT/dx = 0$) нет и теплообмена ($\dot{q}_x = 0$), так как $\lambda \neq \infty$, есть градиент ($dT/dx \neq 0$) есть и теплообмен ($\dot{q}_x \neq 0$), так как $\lambda \neq 0$, причём тепло «падает вниз по T ». Это простое правило находится в согласии с **общим законом теплообмена**, согласно которому попросту и коротко говоря: «тепло падает всегда в низ по T ». В настоящее время закон (1) не подвергается сомнению, однако следует иметь ввиду, что он найден в земных лабораториях при градиентах гораздо больших, чем ничтожно малый $|dT/dh|_{45} = 0.0065 \text{ K/м}$, не представляющий практического интереса (поэтому, строго говоря, он не подтверждён экспериментально для столь малых градиентов в гравитационном поле Земли). Отметим, в настоящее время обнаружены процессы, которые, видимо, противоречат общему закону теплообмена (см. далее **3.1**) и знаменитому второму началу термодинамики.

1.1. Согласно молекулярно-кинетической теории (МКТ) строения материи ([1], [2]), наблюдаемые явления переноса различных физических величин в газе происходят благодаря не наблюдаемому весьма хаотичному тепловому движению молекул, интенсивность которого возрастает с повышением температуры, что видно из её влияния на характерную тепловую скорость u_m одинаковых молекул

$$u_m = u_m(T) = (2 \cdot T \cdot R_m / M)^{0.5} \quad (3),$$

где: $R_m \approx 8.31$ - мольная (универсальная) газовая постоянная, Дж/(моль·К); $M = m \cdot A_v$ - масса одного моля одинаковых молекул (каждая молекула имеет массу m), кг/моль; $A_v \approx 6.02 \cdot 10^{23}$ - количество молекул в одном моле (число Авагадро), 1/моль. Молекулы всегда (при $T > 0$) находятся в тепловом движении, постоянно меняют скорости и по модулю и по на-

правлению в результате столкновений между собой (в глубоком вакууме таких столкновений нет), пробегают между двумя последовательными столкновениями различные длины, причём среднее значение длины свободного пробега L_{cp} тем меньше, чем больше силы притяжения между молекулами (они способствуют столкновениям молекул), условный диаметр (d_m) и концентрация молекул ($n = A_v \cdot N = P / (R_m \cdot T), 1/м^3$), что видно из приближительного равенства $L_{cp} \approx 1 / (2^{0.5} \cdot \pi \cdot d_m^2 \cdot n)$, (N - концентрация молей, моль/м³; здесь не учтено, что величина L_{cp} увеличивается с ростом температуры, так как силам притяжения трудней столкнуть быстро летящие молекулы). Чем больше длина L_{cp} , тем дальше от точки последнего соударения молекулы переносят свою массу и энергию, тем больше теплопроводность (важное отличие: масса не зависит от скорости, а энергия определяется скоростями всех видов теплового движения молекулы, в основном поступательного и вращательного). Величина L_{cp} обычно мала, при нормальных условиях для многих газов $L_{cp} = (0.06 \div 0.15) / 10^6$ м. Хотя молекулы имеют различные и часто изменяющиеся скорости, но если газ находится в стационарном состоянии, то статистическое распределение молекул по скоростным группам остаётся в среднем постоянным с большой точностью (благодаря огромному количеству молекул). Находясь в постоянном тепловом движении, молекулы пересекают КП (её координата $x = x_k$) в обоих направлениях оси X , образуя два встречных потока молей $\dot{N}_1 \equiv \dot{n}_1 / A_v > 0$ и $\dot{N}_2 \equiv \dot{n}_2 / A_v < 0$, которые конечно численно равны, поэтому справедливо соотношение

$$\dot{N}_1 = -\dot{N}_2 = \dot{N} \text{ (моль/с)/м}^2, \quad (4)$$

где: $\dot{N}_1 > 0$ - поток молей движущийся из горячих точек с координатами $x < x_k$ и температурами $T > T_k$ (T_k - температура на КП); $\dot{N}_2 < 0$ - поток молей движущийся из холодных точек с координатами $x > x_k$ и температурами $T < T_k$; $\dot{N} > 0$ - величина обозначающая равное численное значение двух физически различных встречных потоков молей; левое равенство в (4) не под-

лежит сомнению, так как выражает закон сохранения материи в нашем случае неподвижного газа в стационарном состоянии. Молекулы, образующие поток $\dot{N}_1 \equiv \dot{n}_1 / A_v$ пересекающий КП «вниз по T », движутся из различных горячих точек (где они последний раз испытали соударение перед пересечением КП), находящихся на различных расстояниях от КП. Однако для простоты принято считать, что они движутся в среднем из точек одной высокотемпературной плоскости (ВП) параллельной КП, находящейся от КП на малом расстоянии $L_{cp} \cdot 2/3$ (в случае равноправного движения молекул по всем направлениям, см. [2]) и имеющей координату $x_1 < x_k$, температуру $T_1 > T_k$. Поток молекул \dot{N}_1 переносит через КП «вниз по T » энергию мощностью $\dot{E}_{mp1} = E_{mp1} \cdot \dot{N}_1 > 0$, V_m / M^2 , где E_{mp1} есть энергия моля потока \dot{N}_1 , молекулы которого покинули ВП и, не изменяя своей энергии (поскольку не успели столкнуться с другими молекулами), перенесли её через КП. Аналогично запишем выражение для модуля потока энергии переносимой через КП «вверх по T » потоком молекул \dot{N}_2 : $\dot{E}_{mp2} = E_{mp2} \cdot |\dot{N}_2| > 0$; (E_{mp2} есть энергия моля потока \dot{N}_2 покинувшего низкотемпературную плоскость (НП) с координатой $x_2 > x_k$ и температурой $T_2 < T_k$). Разность потоков этих энергий представляет собой, с теоретической точки зрения, величину \dot{q}_x , т.е.

$$\dot{q}_x = \dot{E}_{mp1} - \dot{E}_{mp2} = E_{mp1} \cdot \dot{N}_1 - E_{mp2} \cdot |\dot{N}_2| = [E_{mp1} - E_{mp2}] \cdot \dot{N}, \text{ Bm/M}^2. \quad (5)$$

(учтено: $\dot{N}_1 = -\dot{N}_2 = \dot{N}$). Далее будем последовательно придерживаться этой ясной (хотя и упрощённой) физической картины процесса переноса молекулами своей энергии. Важно, что энергия газа, представляет собой кинетическую энергию теплового движения различных типов. Это видно из подробного выражения для внутренней энергии $E_v = E_v(T)$ моля, находящегося в мольном объёме $V_m = 1/N$,

$$E_v = E_v(T) = C_{vm} \cdot T = 3 \cdot (R_m/2) \cdot T + i \cdot (R_m/2) \cdot T = M \cdot (U_x^2)_{cp} / 2 + M \cdot (U_y^2)_{cp} / 2 +$$

$$M \cdot (U_z^2)_{cp} / 2 + i \cdot (R_m/2) \cdot T, \quad (6)$$

где: C_{vm} – молярная изохорная теплоёмкость, причём $C_{vm} = (3 + i) \cdot R_m / 2 \equiv C_v / M$, Дж/(моль·К) (здесь цифра 3 есть число независимых степеней поступательного движения по трём осям); i – безразмерный параметр, учитывающий, в основном, число независимых степеней вращения молекулы, способных запасти энергию вращения; $i=0$ – для одноатомных газов с большой точностью; $i \approx 2, \approx 3$ – для двухатомных и многоатомных газов, соответственно (знак приблизительного равенства отражает сложные особенности внутреннего устройства молекул, он позволяет при $i > 2, > 3$ учесть энергию запасённую колебательными движениями атомов в не одноатомной молекуле); $M \cdot (U_x^2)_{cp} / 2 = M \cdot (U_y^2)_{cp} / 2 = M \cdot (U_z^2)_{cp} / 2$ – кинетические энергии теплового движения всех молекул моля в объёме V_m по трём независимым осям X, Y и Z, соответственно; $(U_x^2)_{cp}$, $(U_y^2)_{cp}$, $(U_z^2)_{cp}$ – средние значения квадратов скоростей теплового движения молекул вдоль трёх осей, причём

$$(U_x^2)_{cp} = (U_y^2)_{cp} = (U_z^2)_{cp} = u_m^2 / 2 = T \cdot R_m / M \quad (7)$$

1.1.1. Покажем, что соотношение (5) может явиться источником больших ошибок (об этом умалчивают теории [1], [2]). Так как плоскости ВП и НП находятся на малом расстоянии $L_{cp} \cdot 2/3 + L_{cp} \cdot 2/3 = L_{cp} \cdot 4/3$ (порядка длины свободного пробега) то, даже при большом градиенте « $-(dT/dx)_k = 10^6$ К/м», разность температур $(T_1 - T_2) = -(dT/dx)_k \cdot L_{cp} \cdot 4/3$ мала:

$(T_1 - T_2) = 0.013$ К (при ориентировочном значении $L_{cp} = 1/10^7$). Мала и безразмерная разность температур $\delta T \equiv (T_1 - T_2) / T_k$ (при $T_k = 300$, т.е. вдали от $T=0$):

$$\delta T \equiv (T_1 - T_2) / T_k = -(dT/dx)_k \cdot L_{cp} \cdot (4/3) / T_k < 5/10^5 \ll 1. \quad (8)$$

При этом энергии E_{mp1} , E_{mp2} встречных молекул пересекающих КП близки и выражение в скобках $[E_{mp1} - E_{mp2}]$, см. (5), есть малая разность двух больших величин. В этом случае, как широко известно, для исключения большой ошибки в определении разницы требуются очень точные значения больших величин. Действительно, пусть точные значения двух величин $A1 = 1.03$ и

$A_2=1.00$ близки (их точная разность не велика: $\delta A_0 = A_1 - A_2 = 0.03$), тогда, например, при их ошибочных значениях $A_{1u} = A_1 - 0.01 = 1.02$ и $A_{2u} = A_2 + 0.01 = 1.01$, отличающихся от точных всего лишь на 1%, найдём ошибочное значение разности $\delta A_{uu} = A_{1u} - A_{2u} = 1.02 - 1.01 = 0.01$, которое, в три раза (!) меньше точного $\delta A_0 = 0.03$. Мы выбрали ошибки разных знаков, что привело к сложению ошибок и, в результате, к большой в определении малой разности (ниже мы увидим, что именно это обстоятельство привело известную теорию теплопроводности к большой ошибке).

1.1.2. Известная теория не отличает энергию E_{mp} моля потока от внутренней энергии $E_v = E_v(T)$ моля, находящегося в мольном объёме V_m , и молчаливо принимает допущения

$$E_{mp1} = E_v(T_1) = C_{vm} \cdot T_1, E_{mp2} = E_v(T_2) = C_{vm} \cdot T_2, \text{ Дж/моль.} \quad (9_1, 2)$$

которые уподобляют перенос энергии (она является кинетической энергией теплового движения молекул, см. (6)), переносу массы, не зависящей от скорости, что сильно упрощает описание реального процесса переноса энергии. При упрощающих допущениях (9_{1, 2}) из (5) следует выражение

$$\begin{aligned} \dot{q}_x &= [E_v(T_1) - E_v(T_2)] \cdot \dot{N} = \\ &= (C_{vm} \cdot T_1 - C_{vm} \cdot T_2) \cdot \dot{N} = \\ &= (C_{vm} \cdot T_1 - C_{vm} \cdot T_2) \cdot \dot{N} = \\ &= C_{vm} \cdot (T_1 - T_2) \cdot \dot{N} \\ &= -C_{vm} \cdot (dT/dx)_k \cdot (L_{cp} \cdot 4/3) \cdot \dot{N}, \quad (10) \end{aligned}$$

из которого следует прямо пропорциональная зависимость $\dot{q}_x \sim C_{vm} \equiv C_v \cdot M$, (т.о. эта ошибочная зависимость является следствием упрощающих допущений (9_{1, 2})). Величину \dot{N} равную модулям двух встречных потоков молей выразим через концентрацию молей $N/2$, движущихся в положительном направлении оси X и через среднее значение $(U_x)_{cp}$ их тепловой скорости в этом направлении

$$\dot{N} = (N/2) \cdot (U_x)_{cp} = (N/2) \cdot U_a/2, \quad (11)$$

где: величины $N = P/(R_m \cdot T)$, $(U_x)_{cp} = u_m(T)/\pi^{0.5}$ можно брать при любой температуре из узкого диапазона от T_2 до T_1 (ошибка ничтожна при сильном неравенстве (8));

$U_a = 2 (U_x)_{cp} = 2 \cdot u_m(T)/\pi^{0.5}$ - среднее значение абсолютной скорости (модуля скорости) теплового движения молекул.

Используя (11), получим из (10):

$$\begin{aligned} \dot{q}_x &= -C_{vm} \cdot (dT/dx) \cdot (L_{cp} \cdot 4/3) \cdot \\ &= (N/2) \cdot (U_x)_{cp} = \\ &= -C_{vm} \cdot (L_{cp} \cdot 2/3) \cdot N \cdot (U_x)_{cp} \cdot (dT/dx)_k \\ &\text{или} \\ \dot{q}_x &= -(2/3) \cdot C_{vm} \cdot N \cdot (U_x)_{cp} \cdot \\ &= L_{cp} \cdot (dT/dx)_k = \\ &= -(2/3) \cdot C_v \cdot \rho \cdot (U_x)_{cp} \cdot L_{cp} \cdot (dT/dx)_k \quad (12) \end{aligned}$$

(где: $C_v \equiv C_{vm}/M$; $\rho = M \cdot N$ - плотность газа, $кг/м^3$) и

$$\begin{aligned} \dot{q}_x &= -C_v \cdot \rho \cdot U_a \cdot L_{cp} \cdot (dT/dx)_k / 3 \equiv \\ &\equiv -C_{vm} \cdot N \cdot U_a \cdot L_{cp} \cdot (dT/dx)_k / 3 \quad (13) \end{aligned}$$

Из сравнения (13) с (1) найдём выражение:

$$\begin{aligned} \lambda &= C_v \cdot \rho \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3 \equiv \\ &= C_{vm} \cdot N \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3, \quad (14) \end{aligned}$$

совпадающее с известным выражением в элементарной теории явлений переноса, дающей также широко известное выражение для коэффициента динамической вязкости

$$\eta = \rho \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3. \quad (15)$$

Из этих выражений следует равенство $\lambda / (\eta \cdot C_v) = 1$ сильно и, даже парадоксально, противоречащее экспериментальным данным.

1.1.3. В известной теории обычно отмечается аналогия явлений теплопроводности в неподвижном газе и вязкого трения (в ламинарных потоках) и аналогия в получении выражений (14) и (15). Не вдаваясь в подробности, отметим, что аналогия не справедлива во многих отношениях. В частности, с физической точки зрения (а не с формальной алгебраической), выражение (15) получено не в результате вычитания, а в результате сложения двух больших величин типа «силы удара» и типа «силы отдачи», действующих в одном направлении на боковую поверхность струйки ламинарного потока и создающих силу вязкого трения. Заметим, аналогично определяется и давление, оказываемое молекулами на стенку: как сумма двух сил (силы удара и силы отдачи). Поэтому выражение $\eta = \rho \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3$, в отличие от $\lambda = C_v \cdot \rho \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3$,

не содержит большой ошибки «малой разницы двух больших величин».

2. Уточним теорию теплопроводности, учитывая что энергия газа переносимая вдоль оси X есть, частично, энергия теплового движения молекул в этом же направлении, т.е. энергия типа « $m \cdot u_x^2/2$ », перенос которой, очевидно, должен отличаться от переноса всех других величин не зависящих от скорости u_x (например массы, энергий вращения и типа « $m \cdot u_y^2/2$ », « $m \cdot u_z^2/2$ »). Поэтому энергия моля потока E_{mp} должна отличаться количественно от энергии $E_v(T)$ именно энергией типа « $m \cdot u_x^2/2$ ». Для наглядности выделим энергию типа « $m \cdot u_x^2/2$ » в энергии $E_v(T)$ (моля в объёме V_m) и в энергии E_{mp} (моля потока)

$$E_v(T) \equiv [E_v(T) - E_{vx}(T)] + E_{vx}(T),$$

$$E_{mp} = [E_v(T) - E_{vx}(T)] + E_{mpx} \quad (16_1, 2),$$

где: $E_{vx}(T) = M \cdot (U_x^2)_{cp} / 2 = (R_m/2) \cdot T$ - часть энергии $E_v(T)$, определяемая движением молекул вдоль оси X ;

$[E_v(T) - E_{vx}(T)]$ - энергия всех других (не зависящих от u_x) видов теплового движения молекул моля в объёме (количество этого типа энергии принято таким же и в моле потока E_{mp} , см. первое слагаемое в правой части равенства (16₂));

E_{mpx} - часть энергии моля потока E_{mp} , определяемая движением молекул вдоль оси X (далее учтём, что её количество отличается от $E_{vx}(T)$, хотя это энергии одного типа).

2.1. Для определения энергии E_{mpx} обратимся к подробному статистическому описанию движения молекул вдоль оси X . При этом мы учтём две общие для всех газов особенности теплового движения молекул вдоль оси X , влияющие на перенос энергии типа « $m \cdot u_x^2/2$ », т.е. на величину E_{mpx} . Во-первых, это неравенство тепловых скоростей u_x , (что будем отмечать фактором неравных скоростей $u_x \neq Const$) и, во-вторых, это возможная асимметрия теплового движения молекул вдоль оси X , вызванная градиентом температуры (что будем отмечать величиной $\delta T \equiv (T_1 - T_2)/T \neq 0$, являющейся температурным фактором асимметрии теплового движения). При $u_x \neq Const$ в потоке молекул, движущихся из данной точки объёма в любом из двух на-

правлений оси X , имеются быстрые молекулы, которые относительно чаще (благодаря своим большим скоростям), чем их находится в исходной точке, пересекают плоскость перпендикулярную оси X , увеличивая тем самым энергию E_{mpx} в сравнении с $E_{vx}(T)$.

Таким образом, моля потока обогащён (по сравнению с молекул в объёме) энергичными молекулами, имеющими большие скорости u_x , это способствует увеличению энергии E_{mpx} в сравнении с $E_{vx}(T)$. При $\delta T \neq 0$ молекулы в каждой точке объёма подвергаются относительно сильным ударам молекул пришедших из «горячих слоев» и слабым ударам молекул пришедших из «холодных слоев», поэтому «вниз по T » движутся в среднем более энергичные молекулы, чем молекулы движущиеся «вверх по T ». Эти две особенности, видимо, увеличивают **результатирующий перенос** энергии «вниз по T » двумя встречными молями пересекающимися КП, в чём убедился ниже.

2.2. В первом приближении примем, что в точке объёма с произвольной температурой T справедливо широко известное максвелловское распределение молекул по скоростным группам, для которого выполняются соотношения:

$$dn/n = Mx(u) \cdot du \equiv \sqrt{1/\pi} \cdot \exp(-u^2) \cdot du, \\ 1 = \int_{-\infty}^{\infty} Mx(u) \cdot du \quad (17), \quad (18)$$

где: $u \equiv u_x / u_m = (-\infty \div +\infty)$ - безразмерная скорость вдоль оси X ;

dn - концентрация тех молекул, из общего их числа $n \equiv A_v \cdot N$ в единице объёма, которые относятся к одной скоростной группе, т.е. обладают практически одинаковыми скоростями, находящимися в узком скоростном интервале $[u \div u + du]$, ($du > 0$ □ ширина скоростного интервала, которая мала: $du/u < < 1$); $u_m = u_m(T)$ □ см. (3); произведение $Mx(u) \cdot du$ есть вероятность нахождения молекулы в узком скоростном интервале $[u \div u + du]$, а равенство (18) есть условие нормировки, указывающее, что суммарная вероятность нахождения молекулы во всём мыслимом скоростном интервале $u = (-\infty \div +\infty)$ равна 1, (интеграл представляет собой

площадь под кривой $Mx(u)$). Функция $Mx(u)$ найдена теоретически для простейшего равновесного состояния, когда всюду в объёме $P=Const, T=Const$, тепловое движение абсолютно хаотично, все направления движения молекул равноправны и поэтому она симметрична: $Mx(u) = Mx(-u)$. Зная $Mx(u)$, для молекул движущихся в положительном направлении оси X (для них $u=[0 \div +\infty)$), найдём величины: а) их концентрацию

$$n_x = \int_0^{+\infty} Mx(u) \cdot n \cdot du \equiv (n/2) \cdot \int_0^{+\infty} 2 \cdot Mx(u) \cdot du = (n/2) \cdot I_0 = n/2 ; \quad (19)$$

б) среднюю скорость движения в положительном направлении оси X

$$(U_x)_{cp} = \int_0^{+\infty} u_x \cdot Mx(u) \cdot n \cdot du / n_x = u_m \cdot \int_0^{+\infty} 2 \cdot u \cdot Mx(u) \cdot du = u_m \cdot I_1 = u_m / \pi^{0.5} ; \quad (20)$$

в) средний квадрат скорости движения в положительном направлении оси X

$$(U_x^2)_{cp} = \int_0^{+\infty} u_x^2 \cdot Mx(u) \cdot n \cdot du / n_x \equiv u_m^2 \cdot \int_0^{+\infty} 2 \cdot u^2 \cdot Mx(u) \cdot du = u_m^2 \cdot I_2 = u_m^2 / 2, \quad (21)$$

где: $I_0 = 1, I_1 = I_3 = 1/\pi^{0.5}, I_2 = 1/2$ интегралы типа

$$I_k = \int_0^{+\infty} 2 \cdot u^k \cdot Mx(u) \cdot du = \begin{cases} 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot |k-1| / 2^{k/2} & \text{— для } k = 0, 2, 4, \dots \\ [(k-1)/2]! \cdot \sqrt{1/\pi} & \text{— для } k = 1, 3, 5, \dots \end{cases} \quad (22)$$

Поскольку в этом простом случае тепловое движение молекул симметрично вдоль оси X , то плотность потока молекул в любом из двух её направлений одинакова (по модулю) и определяется произведением

$$\dot{n}_x = n_x \cdot (U_x)_{cp} = (n/2) \cdot u_m / \pi^{0.5} \sim 1/T^{0.5}. \quad (23)$$

Убедимся, что симметричное распределение не может быть справедливым при наличии градиента температуры, так как противоречит закону сохранения материи. Действительно, пусть соотношение (23) справедливо в любой точке, тогда для потока молекул движущихся от ВП и пересекающих КП «вниз по T » найдём $\dot{n}_{x1} \sim 1/T_1^{0.5}$, а для потока молекул движущихся от НП и пересекающих КП «вверх по T »

найдем $\dot{n}_{x2} \sim 1/T_2^{0.5}$ и, значит при неравенстве $T_1 > T_2$ получим неравенство $(\dot{n}_{x1} / \dot{n}_{x2}) = (T_2 / T_1)^{0.5} < 1$, но не равенство $(\dot{n}_{x1} / \dot{n}_{x2}) = 1$, требуемое законом сохранения материи. Таким образом, безразмерный градиент температуры $\delta T \equiv (T_1 - T_2) / T_k \neq 0$ «требуется» отказаться от симметричного максвелловского распределения, чтобы сохранить принятую ясную физическую картину движения молекул. Заметим в [1] (см. §89) для того, что бы не войти в противоречие с законом сохранения материи ведут расчёт потоков по параметрам на КП, причём, по максвелловскому распределению, что допустимо с математической точки зрения (это не приводит к большой числовой ошибке, так как все плоскости ВП, КП и НП близки, а асимметрия мала, так как $\delta T \ll 1$).

2.3. Учёт влияния асимметрии, перейдя от симметричной функции $Mx(u)$ к пока неизвестной асимметричной функции $Ma(u, \delta T)$, которая должна подчиняться условию нормировки $I = \int_{-\infty}^{+\infty} Ma(u, \delta T) \cdot du$, т.е. площадь под кривой $Ma(u, \delta T)$ должна быть равна площади под кривой $Mx(u)$, рис.1. Таких функций можно получить различными способами бесконечное множество. Мы получим эту функцию, в первом приближении, простейшим образом: путём сдвига функции $Mx(u)$ в положительном направлении оси аргумента u на градиент $\delta T \neq 0$. Такой сдвиг, конечно, не изменяет площадь под кривой (т.е. $\int_{-\infty}^{+\infty} Ma(u, \delta T) \cdot du = \int_{-\infty}^{+\infty} M(u) \cdot du = 1$) и приводит, согласно математике, к функции

$$Ma_1(u, \delta T) = Mx(u - \delta T) \equiv \sqrt{1/\pi} \cdot \exp(-(u - \delta T)^2) \equiv Mx(u) \cdot \exp(2 \cdot u \cdot \delta T - \delta T^2),$$

которую представим в упрощённом виде

$$Ma(u, \delta T) \approx Mx(u) \cdot \exp(2 \cdot u \cdot \delta T) \approx Mx(u) \cdot [1 + u \cdot 2 \cdot \delta T]$$

(где последнее равенство весьма не точно только для молекул с большими скоростями, влияние которых на перенос энергии мало, так как их количество ничтожно поскольку $Mx(u) \ll 1$) или в виде, более наглядно демонстрирующем асимметрию теплового движения

$$Ma_1(u, \delta T) = Mx(u) \cdot [1 \pm |u| \cdot 2 \cdot \delta T] \quad (24_1)$$

где правило знаков: « + » для $u > 0$ (т.е. для молекул движущихся «вниз по T») и « - » для $u < 0$ (т.е. для молекул движущихся «вверх по T»). Эта функция была использована нами в работе [6]. Здесь мы используем простую модификацию этой функции, введя безразмерный множитель $(1 \pm B)$ (который не изменит результат в чём убедимся далее)

$$Ma_2(u, \delta T) = Mx(u) \cdot [1 \pm |u| \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 \pm B), \quad (24_2)$$

где: $B = a l \cdot \delta T$ - безразмерный постоянный параметр; множитель $(1 \pm B)$ для всех молекул, движущихся «вниз по T», одинаков и равен $(1 + B) = Const$, а для всех молекул, движущихся «вверх по T», одинаков и равен $(1 - B) = Const$; $a l$ - размерный параметр, подлежащий определению из закона сохранения материи (из равенства встречных потоков молекул движущихся из ВП, из НП и пересекающих КП, см. далее 2.5).

Кратко отметим, что функция $Ma_2(u, \delta T)$ подчиняется условию нормировки так как, попросту говоря, изменение количества молекул вызванное коэффициентом $(1+B)$ компенсируется изменением вызванным коэффициентом $(1 - B)$. Важно, что функция $Ma_2(u, \delta T)$ даёт то же выражение для λ , что и $Ma_1(u, \delta T)$, но позволяет согласовать принятую физическую картину движения встречных молекул из ВП и НП с законом сохранения материи. В (17) симметричную функцию $Mx(u)$ заменим на $Ma_2(u, \delta T)$ и представим асимметричное распределение молекул по скоростным группам в виде

$$dn = n \cdot Ma_2(u, \delta T) \cdot du = n \cdot Mx(u) \cdot [1 \pm |u| \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 \pm B) \cdot du / m^3. \quad (25)$$

Умножим концентрацию молекул dn по (25) произвольной скоростной группы в произвольной рассматриваемой точке на их скорость $u_x \equiv u_m \cdot u \equiv \pm u_m \cdot |u|$, (правило знаков прежнее), найдём для этой скоростной группы молекул плотность их потока через площадку перпендикулярную оси X и находящуюся на расстоянии $L_{cp} \cdot 2/3$

$$d\dot{n} = u_x \cdot dn = \pm n \cdot u_m \cdot Mx(u) \cdot [|u| \pm u^2 \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 \pm B) \cdot du / (c) / m^2, \quad (26_1)$$

умножим поток молекул $d\dot{n}$ на кинетическую энергию типа « $m \cdot u_x^2 / 2 \equiv (m \cdot u_m^2 /$

$2) \cdot u^2$ », которой обладает одна молекула этой скоростной группы, найдём кинетическую энергию этого типа, которую переносит поток $d\dot{n}$

$$d\dot{e} = (m \cdot u_x^3 / 2) \cdot dn = \pm n \cdot (m \cdot u_m^3 / 2) \cdot Mx(u) \cdot [|u|^3 \pm |u|^4 \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 \pm B) \cdot du / (Bm) / m^2 \quad (26_2)$$

(заметим, с ростом скорости рассматриваемой группы молекул их энергия в потоке возрастает $\sim u_x^3$, т.е. гораздо быстрее чем возрастает их энергия в объёме, которая $\sim u_x^2$. Это есть свидетельство обогащения потока энергичными молекулами). Для всех скоростных групп молекул движущихся «вниз по T» просуммируем величины $d\dot{n}$ и $d\dot{e}$, путём интегрирования на интервале $u = [0 \div +\infty)$, найдём, соответственно, плотность потока всех молекул и плотность потока энергии типа « $m \cdot u_x^2 / 2$ » переносимой молекулами «вниз по T»

$$\dot{n}_d = (n/2) \cdot u_m \cdot [I_1 + I_2 \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 + B), \quad \dot{e}_d = (n/2) \cdot (m \cdot u_m^3 / 2) \cdot [I_3 + I_4 \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 + B) \quad (27_{1, 2})$$

аналогично (интегрируя на интервале $u = [-\infty \div 0)$), найдём эти величины для молекул движущихся «вверх по T»

$$\dot{n}_p = - (n/2) \cdot u_m \cdot [I_1 - I_2 \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 - B), \quad \dot{e}_p = - (n/2) \cdot (m \cdot u_m^3 / 2) \cdot [I_3 - I_4 \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 - B), \quad (28_{1, 2})$$

(где, как и ранее: $I_1 = I_3 = 1 / \pi^{0.5}$, $I_2 = 1/2$, $I_4 = 3/4$ - интегралы по (22)). Разделим поток энергии \dot{e}_d на поток молекул \dot{n}_d , получим энергию типа « $m \cdot u_x^2 / 2$ », которую переносит в среднем одна молекула, заменим массу молекулы m на массу моля M , найдём энергию этого типа, переносимую молем потока, движущегося «вниз по T»

$$E_{mpx} = (\dot{e}_d / \dot{n}_d) \cdot M / m = (M \cdot u_m^2 / 2) \cdot [I_3 + I_4 \cdot 2 \cdot \delta T] / [I_1 + I_2 \cdot 2 \cdot \delta T] \approx (T \cdot R_m) \cdot [1 + I_4 \cdot 2 \cdot \delta T / I_3 - I_2 \cdot 2 \cdot \delta T / I_1] = E_{mvx}(T) + T \cdot R_m / 2 + [I_4 / I_3 - I_2 / I_1] \cdot T \cdot R_m \cdot 2 \cdot \delta T = E_{mvx}(T) + T \cdot R_m / 2 + (1/4) \cdot T \cdot R_m \cdot \pi^{0.5} \cdot 2 \cdot \delta T \equiv E_{mvx}(T) + T \cdot R_m / 2 + T \cdot \delta T \cdot A_m, \quad (29_1)$$

аналогично найдём энергию переносимую молем потока, движущегося «вверх по T»

$$E_{mpx} = (\dot{e}_p / \dot{n}_p) \cdot M / m = E_{mvx}(T) + T \cdot R_m / 2 - T \cdot \delta T \cdot A_m, \quad (29_2)$$

где учтено:

$$I_3 = I_1 / \pi^{0.5}; I_4 - I_2 = 1/4; u_m^2 = 2 \cdot T \cdot R_m / M; E_{mvx}(T) = T \cdot R_m / 2; \delta T \ll 1; A_m \equiv R_m \cdot \pi^{0.5} / 2.$$

Отметим, параметр B сократился и не влияет (как и отмечалось ранее) на E_{mpx} . Как видно из (29_{1,2}) энергия E_{mpx} типа « $m \cdot u_x^2 / 2$ », переносимая молекул потока есть функция $E_{mpx}(T, \pm \delta T)$ и больше, чем энергия $E_{mvx}(T)$ этого типа, которой обладает моль в объёме, примерно, на величину $T \cdot R_m / 2$ (величина $T \cdot \delta T \cdot A_m \equiv T \cdot \delta T \cdot R_m \cdot \pi^{0.5} / 2$, выражающая влияние асимметрии, ничтожна при сильном неравенстве $\delta T \ll 1$). В (29₁) и (29₂) общая добавка к $E_{mvx}(T)$, равная $T \cdot R_m / 2$ есть одинаковый для молей обоих потоков эффект увеличения энергии, вызванный фактором неравных скоростей $u \neq Const$. Величина $T \cdot \delta T \cdot A_m \equiv T \cdot \delta T \cdot R_m \cdot \pi^{0.5} / 2$ в (29₁) и (29₂) представляет собой эффекты увеличения и уменьшения энергии молей потоков, движущихся «вниз по T » и «вверх по T », соответственно, вызванные температурным фактором асимметрии $\delta T \neq 0$. Важно, что все три эффекта, влияющие на перенос энергии, одинаковы для всех газов и определяются не индивидуальными сложными свойствами молекул, а максвелловским распределением (во всяком случае, при малом градиенте $\delta T \ll 1$ практически не искажающим это распределение). Их относительное влияние, тем больше, чем меньше теплоёмкость газа (чем меньше i), т.е. чем проще устроены молекулы, что объясняет отмеченное выше парадоксальное отличие известной теории от экспериментов: чем проще молекула, тем ошибка теории больше.

2.4. Найдём влияние обнаруженных эффектов на результирующий перенос энергии через КП двумя встречными потоками. Из (16₂) при E_{mpx} по (29₁) и по (29₂) найдём полную энергию, которую переносит моль потока движущийся из произвольной точки «вниз по T » и «вверх по T », соответственно

$$E_{mp} = E_{mv}(T) + T \cdot R_m / 2 + T \cdot \delta T \cdot A_m,$$

$$E_{mp} = E_{mv}(T) + T \cdot R_m / 2 - T \cdot \delta T \cdot A_m.$$

(30_{1,2})

Интересующие нас полные энергии E_{mp1} и E_{mp2} встречных молей потоков пересекающихся КП и движущихся из ВП и НП найдём из (30₁) при T_1 и из (30₂) при T_2 , соответственно

$$E_{mp1} = E_{mv}(T_1) + T_1 \cdot R_m / 2 + T_1 \cdot \delta T \cdot A_m \approx$$

$$E_{mv}(T_1) + T_1 \cdot R_m / 2 + (T_1 - T_2) \cdot A_m, \quad (31_1)$$

$$E_{mp2} = E_{mv}(T_2) + T_2 \cdot R_m / 2 - T_2 \cdot \delta T \cdot A_m \approx$$

$$E_{mv}(T_2) + T_2 \cdot R_m / 2 - (T_1 - T_2) \cdot A_m, \quad (31_2)$$

где учтено: $T_1 \cdot \delta T \cdot A_m \equiv A_m \cdot T_1 \cdot (T_1 - T_2) /$

$$T_k \approx A_m \cdot (T_1 - T_2); T_2 \cdot \delta T \cdot A_m \approx$$

$$A_m \cdot (T_1 - T_2).$$

Найденные выражения (31_{1, 2}) весьма точны, они учитывают даже ничтожно малые добавки типа $T \cdot \delta T \cdot A_m \approx A_m \cdot (T_1 - T_2)$ которые можно отбросить при $\delta T \ll 1$, если (!) определение энергий E_{mp1} и E_{mp2} является конечной целью. Но, нас интересует малая разность этих больших энергий (см.(5)), поэтому не будем отбрасывать ничтожные добавки, тем более, что они имеют разные алгебраические знаки и при вычитании должны сложиться (как и в приведённом выше примере, см.1.1.1). Найдём разность

$$E_{mp1} - E_{mp2} = [C_{vm} + R_m / 2 + 2 \cdot A_m] \cdot$$

$$(T_1 - T_2) \equiv [C_{vm} + R_m / 2 + R_m \cdot \sqrt{\pi}] \cdot$$

$$(T_1 - T_2) \quad (32)$$

где, как видим, разность энергий пропорциональна сумме

$$[C_{vm} + R_m / 2 + R_m \cdot \sqrt{\pi}] \quad (33)$$

(но не изохорной теплоёмкости как в известной теории). В (33) имеются две добавки к C_{vm} , причём добавка $R_m / 2$ вызвана фактором неравных скоростей $u_x \neq 0$, а вторая добавка $R_m \cdot \sqrt{\pi}$ вызвана температурным фактором асимметрии $\delta T \ll 1$. Вторая добавка оказалась неожиданно большой, она больше, чем первая в 3.5 раза и даже больше в 1.18 раза, чем мольная теплоёмкость одноатомного газа $3 \cdot R_m / 2$. Добавки к энергии вызванные ничтожной асимметрией теплового движения сложились и дали существенный вклад в

результатирующий перенос энергии молекулами. В известном теоретическом выражении (см.(14)) величину C_{vm} заменим на найденную нами сумму $[C_{vm} + R_m/2 + R_m \cdot \sqrt{\pi}]$, найдём уточненное выражение, учитывающее две общих для всех газов особенности теплового движения молекул,

$$\lambda = [C_{vm} + R_m/2 + R_m \cdot \sqrt{\pi}] \cdot N \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3. \quad (34)$$

Из (34) и $\eta = \rho \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3 \equiv M \cdot N \cdot U_a \cdot L_{cp} / 3$ получим вместо $\lambda / (\eta \cdot C_v) = 1$ уточнённое теоретическое выражение

$$\lambda / (\eta \cdot C_v) = 1 + (1/2 + \sqrt{\pi}) \cdot R_m / C_{vm} \approx 1 + 2.272 \cdot R_m / C_{vm} \approx 1 + 4.54 / (3+i), \quad (35)$$

согласно которому найдём числовые теоретические значения

$$\lambda / (\eta \cdot C_v) = 2.52, \approx 1.91 \text{ и } \approx 1.76 \quad (36_{1,2,3})$$

для одноатомных ($i = 0$), двухатомных ($i \approx 2$) и большинства многоатомных ($i \approx 3$) газов, соответственно. Сравним их с экспериментальными данными (при 0°C) из [1]

$$\lambda / (\eta \cdot C_v) = (2.47 \div 2.57) \approx 2.52 (\pm 2\%), \quad (37_1)$$

$$\lambda / (\eta \cdot C_v) = (1.79 \div 2.02) \approx 1.91 (\pm 6\%), \quad (37_2)$$

$$\lambda / (\eta \cdot C_v) = (1.41 \div 1.74) \approx 1.56 (\pm 12\%) \quad (37_3)$$

для одноатомных (He, Ne, Ar, Kr, Xe), двухатомных (H_2 , N_2 , O_2 , Cl_2 , CO , NO) и многоатомных (CO_2 , N_2O , NH_3 , CH_4 , C_2H_4) газов, соответственно. Как видим, парадокс отсутствует: отличие теории (36) от эксперимента (37) тем больше, чем сложнее молекулы газа. Малое расхождение теории с экспериментом для одноатомных газов находится на уровне экспериментальной ошибки. Если для сложных не одноатомных газов подставить в (35) точные экспериментальные значения величины R_m / C_{vm} (а не найденные по равенству $R_m / C_{vm} = 2/(3+i)$ при примерных значениях $i \approx 2, \approx 3$) следует ожидать лучшего совпадения теории с экспериментальными значениями величины $\lambda / (\eta \cdot C_v)$ индивидуальными для каждого газа. Таким образом, учёт двух физически очевидных и общих для всех газов особенностей теплового движения молекул вдоль градиента температуры проведённый на основе максвелловского

распределения позволил, в основном, согласовать теорию с экспериментами для различных газов. Это экспериментально подтверждает справедливость максвелловского распределения не только для одноатомных газов (так как экспериментально измеренная величины \dot{q}_x есть, фактически, величина $(E_{mp1} - E_{mp2})$ определённая высокоточным дифференциальным способом). Сложные особенности в строении и силовом взаимодействии реальных молекул, определяющие вид зависимостей $C_{vm}(T)$, $L_{cp}(T)$, влияют не столь значительно как обнаруженные нами эффекты одинаковые для всех газов. Заметим, найденное нами соотношение $\lambda / (\eta \cdot C_v) = 1 + (1/2 + \sqrt{\pi}) \cdot R_m / C_{vm} \approx 1 + 2.272 \cdot R_m / C_{vm}$ (см. (35)) практически совпадает с известным эмпирическим $\lambda / (\eta \cdot C_v) \approx 1 + (9/4) \cdot R / C_v = 1 + 2.25 \cdot R_m / C_{vm}$, не находившим физически ясного объяснения с 1913 г.

2.5. Для полноты картины покажем, что функция $Ma_2(u, \delta T) = Mx(u) \cdot [1 \pm |u| \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot (1 \pm B)$ позволяет согласовать принятую нами физическую картину теплового движения молекул с законом сохранения материи в форме (4). Из (27₁) при $T = T_1$ найдём поток молекул из ВП «вниз по Т»

$$\dot{n}_{d1} = (n_1/2) \cdot u_{m1} \cdot (I_1 + I_2 \cdot 2 \cdot \delta T) \cdot (1 + B), \quad (38)$$

где: $n_1 = A_v \cdot P / (R_m \cdot T_1)$; $u_{m1} = (2 \cdot R_m \cdot T_1)^{0.5}$. Из (27₂) при $T = T_2$ найдём модуль потока молекул из НП «вверх по Т»

$$\dot{n}_{d2} = (n_2/2) \cdot u_{m2} \cdot (I_1 - I_2 \cdot 2 \cdot \delta T) \cdot (1 - B) \quad (39)$$

где: $n_2 = A_v \cdot P / (R_m \cdot T_2)$; $u_{m2} = (2 \cdot R_m \cdot T_2)^{0.5}$. Согласно закону сохранения материи эти потоки должны быть равны. Приравняем их, учтём $B \equiv a l \cdot \delta T$ (см. (24)), проведём сокращение, найдём равенство $(T_1)^{-0.5} \cdot (I_1 + I_2 \cdot 2 \cdot \delta T + a l \cdot \delta T) = (T_2)^{-0.5} \cdot (I_1 - I_2 \cdot 2 \cdot \delta T - a l \cdot \delta T)$ откуда с учётом $(T_1/T_2)^{0.5} \approx (1 + \delta T)^{0.5} \approx 1 + \delta T/2$ нетрудно найти $a l = 1/4 - \sqrt{\pi}$. Таким образом, асимметричное распределение

$$\begin{aligned} dn &= n \cdot Ma_2(u, \delta T) \cdot du = \\ &= n \cdot Mx(u) \cdot [1 \pm |u| \cdot 2 \cdot \delta T] \cdot [1 \pm (1/4 - \sqrt{\pi}) \cdot \delta T] \cdot du \approx n \cdot Mx(u) \cdot \{ 1 \pm [|u| \cdot 2 + (1/4 - \sqrt{\pi})] \cdot \delta T \} \cdot du \end{aligned} \quad (40)$$

молекул по скоростным группа движения вдоль оси X (вдоль которой существует безразмерный градиент температуры $\delta T = - (dT/dx) \cdot L_{cp} \cdot (4/3) / T$) удовлетворяет и экспериментальным данным по теплопроводности при отсутствии влияния гравитации и закону сохранения материи в форме равенства встречных потоков молей через плоскость перпендикулярную оси X .

3. Применим уточнённые нами представления о переносе молекулами энергии для решения второй загадки отмеченной в **Ведении**, которой является уменьшение температуры неподвижного воздуха по высоте в тропосфере, трудно поддающееся объяснению тепловыми процессами. Ниже покажем, что это явление можно объяснить, полагая, что градиент гравитационного потенциала как и градиент температуры, вызывает асимметрию теплового движения молекул, незначительно нарушающую симметричное максвелловское распределение. Важно, что без нарушения симметричного максвелловского распределения гравитация не способна нарушить закон теплопроводности (что строго доказано только для газа в вакууме, [1]). Предварительно отметим некоторые замечательные свойства гравитации, которые были обнаружены квантовой механикой и общей теорией относительности (ОТО), созданными гораздо позже, чем был найден общий закон теплообмена.

3.1. Отметим некоторые «способности» гравитации. Эти способности весьма не обычны и разнообразны: она уменьшает частоту, поднимающегося кванта любого электромагнитного излучения (светового, теплового инфракрасного и др.), искривляет пространство (т.е. изменяет траекторию движения кванта, что более известно как искривление светового луча) и, даже, ... замедляет ход времени (внизу время течёт медленней).

Особо отметим следующее, согласно современным представлениям квант электромагнитного излучения (в частности теплового излучения) обладает энергией $\hbar \cdot \gamma$ и, значит массой $m_b = \hbar \cdot \gamma / C_c^2$, поэтому при подъёме (или при падении) на ма-

лую высоту dh его энергия уменьшается (или увеличивается) на $g \cdot m_b \cdot dh$ и, соответственно уменьшается (или увеличивается) его частота γ на $d\gamma = g \cdot m_b \cdot dh / \hbar = g \cdot \gamma \cdot dh / C_c^2$, что подтверждено экспериментами, с использованием лазеров, созданных гораздо позже теории теплообмена излучением (здесь $\hbar = 6.63/10^{34}$ - постоянная Планка, Дж·сек). Такие изменения энергии квантов в гравитационном поле должны приводить к нарушению основного правила при теплообмене излучением. Действительно, при равных температурах двух параллельных бесконечных одинаковых пластин, находящихся в вакууме на разных высотах, энергия, поступающая на нижнюю пластину с квантами, покинувшими верхнюю пластину, будет больше энергии, уносимой квантами покидающими её. Это означает, что от верхней пластины к нижней будет переходить тепло излучением без разности температур, что противоречит общему закону теплообмена.

Эти эффекты крайне малы в слабом гравитационном поле Земли потому, что масса кванта чрезвычайно мала, так как мала постоянная Планка. Ещё более очевидное нарушение, возникает благодаря мощному гравитационному полю «чёрной дыры», которая даже будучи относительно горячей, не отдаёт тепло, но получает его от относительно холодных тел (здесь тепло самопроизвольно поднимается «вверх по T »). В нашем случае теплового движения молекул, масса которых несоизмеримо больше массы квантов, эффект нарушения общего закона теплообмена гравитацией должен быть значительно больше. Это, видимо, и позволило обнаружить уменьшение температуры по высоте неподвижного воздуха в середине циркуляционной ячейки Ферелла. Возможно таким путём Вселенная избегает тепловой смерти, предсказанной знаменитым вторым началом формальной термодинамики?

3.2. Попытаемся учесть влияние возможной асимметрии теплового движения молекул вызванной гравитацией, для чего тождественными преобразованиями пред-

ставим температурный фактор асимметрии в двух формах $\delta T_a \equiv (T_1 - T_2) \cdot C_{vm} / (T_k \cdot C_{vm})$, $\delta T_b \equiv [(T_1 - T_2) \cdot R_m \cdot 3/2] / (T_k \cdot R_m \cdot 3/2)$, позволяющих провести анализ его влияния с энергетической точки зрения, (в числителях находятся или разность внутренних энергий двух молей или разность кинетических энергий поступательного теплового движения молекул этих молей, обусловленные разницей температур $(T_1 - T_2)$). В этих соотношениях числители заменим на разницу энергии молей $M \cdot g \cdot dh$ обусловленную гравитацией, получим два варианта гравитационного фактора асимметрии теплового движения

$$\delta G_a = M \cdot g \cdot dh / (T_k \cdot C_{mv}), \quad \delta G_b = M \cdot g \cdot dh / (T_k \cdot R_m \cdot 3/2). \quad (41_{1,2})$$

Для одноатомного газа внутренняя энергия моля $T \cdot C_{vm}$ есть кинетическая энергия поступательного теплового движения его молекул ($T \cdot C_{vm} = T \cdot R_m \cdot 3/2$), т.е. два варианта (41_{1,2}) эквивалентны, и могут быть представлены как среднее арифметическое

$$\delta G = M \cdot g \cdot dh / [T_k \cdot (C_{vm} + R_m \cdot 3/2) / 2] \equiv M \cdot g \cdot dh \cdot 2 / [T_k \cdot (C_{vm} + R_m \cdot 3/2)] \quad (42)$$

(это выражение примем справедливым и для не одноатомных газов). В (31_{1, 2}) к температурному фактору асимметрии $\delta T \neq 0$ добавим гравитационный фактор асимметрии $\delta G \neq 0$, получим

$$E_{mp1} = E_{mv}(T_1) + T_1 \cdot R_m / 2 + T_1 \cdot (\delta T + \delta G) \cdot A_m, \quad (43_1)$$

$$E_{mp2} = E_{mv}(T_2) + T_2 \cdot R_m / 2 - T_2 \cdot (\delta T + \delta G) \cdot A_m. \quad (43_2)$$

Вычтем E_{mp2} по (43₂) из E_{mp1} по (43₁), найдём результирующую энергию переносимую двумя встречными молями в вертикальном направлении

$$E_{mp1} - E_{mp2} = [C_{vm} + R_m / 2 + 2 \cdot A_m] \cdot (T_1 - T_2) + T_k \cdot \delta G \cdot 2 \cdot A_m. \quad (44)$$

Для простого адиабатного случая, когда $E_{mp1} - E_{mp2} = 0$, при δG по (42) найдём из (44):

$$(T_1 - T_2) = - T_k \cdot \delta G \cdot 2 \cdot A_m / [C_{vm} + R_m / 2 + 2 \cdot A_m] = - M \cdot g \cdot dh \cdot 2 \cdot 2 \cdot A_m / [C_{vm} (1 + 1.5 \cdot R_m / C_{vm}) \cdot (C_{vm} + R_m / 2 + 2 \cdot A_m)],$$

откуда определим градиент температуры по высоте, обусловленный исключительно влиянием гравитации (газ тепло изолирован и неподвижен)

$$dT/dh = (T_1 - T_2) / dh = - [M \cdot g / (2 \cdot C_{vm})] K_c(C_{mv}) \approx - 0.92 \cdot M \cdot g / (2 \cdot C_{vm}), \quad (45)$$

где функция $K_c(C_{vm}) = 4 \cdot \sqrt{\pi} / [(1 + 1.5 \cdot R_m / C_{vm}) \cdot (C_{vm} / R_m + 1/2 + \sqrt{\pi})]$ близка к единице: $K_c(C_{vm}) \approx 0.94, \approx 0.93$ и ≈ 0.9 для одноатомных, двухатомных и многоатомных газов, соответственно. В гравитационном поле Земли на небольших высотах ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$) для воздуха и ксенона $M = 0.029, = 0.132 \text{ кг/моль}; C_{vm} = 2.5 \cdot R_m, = 1.5 \cdot R_m; R_m \approx 8.31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$

найдем из (45), соответственно:

$$dT/dh = - [0.029 \cdot 9.81 / (2 \cdot 2.5 \cdot 8.31)] \cdot 0.93 \approx - 0.0064 \text{ К/м}, \quad (46)$$

$$dT/dh = - [0.132 \cdot 9.81 / (2 \cdot 1.5 \cdot 8.31)] \cdot 0.94 \approx - 0.049 \text{ К/м}. \quad (47)$$

Градиент по (46) мал и его трудно обнаружить в лабораторных условиях, но он хорошо согласуется с градиентом $(dT/dh)_{45} = - 0.0065 \text{ К/м}$ известным из стандартной атмосферы [3] для высот до 10 км на 45-й параллели северной широты, где отсутствует вертикальное перемещение больших масс.

Является ли случайным совпадение реально наблюдаемого градиента $(dT/dh)_{45}$ с найденным нами теоретическим градиентом по (46)? Возможно, совпадение случайно и такой градиент будет объяснён пока не известным поведением столь подвижного объекта как воздух в тропосфере. Наиболее надёжный ответ можно получить путём эксперимента на массивном газе, (для ксенона градиент по (47) значителен). Эксперимент (и не только на газах) важен, не зависимо от проведенного здесь анализа, так как возможно установит «рамки применимости» накладываемые гравитацией на второе начало формальной термодинамики, о которых упоминал создатель ОТО А.Эйнштейн, выражая своё отношение к формальной термодинамике.

Выводы

1. Известная теория теплопроводности газов противоречит экспериментальным данным парадоксально (тем сильнее, чем

проще устроены молекулы газа), что указывает на общие ошибки допускаемые теорией в отношении всех газов, не связанные с индивидуальными сложными свойствами молекул различных газов.

2. На основе максвелловского распределения учтены две общие для всех газов особенности теплового движения молекул (неравенство скоростей и асимметрия движения вызванная градиентом температуры), найдены уточнённые выражения энергий молекул потоков. Обнаружены три эффекта одинаковых для всех газов и влияющих на перенос энергии молекулами встречных потоков.

3. Асимметрия теплового движения увеличивает энергию молекулы движущегося «вниз по T» и уменьшает её у молекулы движущегося «вверх по T». Эти два эффекта оказывают большое влияние на результирующий перенос энергии, определяемой как «малая разность двух больших величин» (при вычитании эффекты складываются).

4. Для коэффициента теплопроводности найдена прямо пропорциональная зависимость $\lambda \sim [C_{mv} + R_m/2 + R_m \cdot \sqrt{\pi}]$, значительно отличающаяся от известной ($\lambda \sim C_{mv}$), и соотношение $\lambda / (\eta \cdot C_v) \approx 1 + (1/2 + \sqrt{\pi}) \cdot R_m / C_{mv}$, удовлетворительно согласующееся с экспериментальными данными без влияния гравитации.

5. Отмечено, что экспериментально известная асимметрия, вносимая гравитацией в движение электромагнитных квантов, нарушает известный закон теплообмена излучением. Учёт возможной асимметрии теплового движения молекул, вызванной гравитацией привёл к равенству $|dT/dh| \approx M \cdot g / (2 \cdot C_{mv})$ K/м, позволяющему оценить эффект уменьшения температуры по высоте h в неподвижном теплоизолированном газе (для неподвижного воздуха в тропосфере: $|dT/dh| \approx M \cdot g / (2 \cdot C_{mv}) \approx 0.029 \cdot 9.8 / [2(3+2) \cdot 8.3/2] \approx 0.0068$ K/м). Эффект противоречит известным законам

теплообмена и феноменологической термодинамики, но согласуется с данными стандартной атмосферы ($dT/dh = -0.0065$ K/м).

6. Предложены эксперименты, позволяющие определить в адиабатных условиях не посредственное влияние гравитации на распределение температуры по высоте в неподвижном тяжёлом газе и в других физических телах. Такие эксперименты имеют большое самостоятельное значение (не зависимо от проведённого здесь исследования). Они, возможно, «устранят» тепловую смерть Вселенной, предсказанную феноменологической термодинамикой и установят для второго начала термодинамики «рамки применимости», о которых упоминал создатель ОТО А.Эйнштейн, выражая своё отношение к формальной термодинамике: «... Это единственная общая физическая теория, и я убеждён, что в рамках применимости своих основных положений она никогда не будет опровергнута.» [2].

Список литературы

1. Сивухин Д.В. *Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика.* М.: «Наука», 1975 г., 552 стр.
2. Киттель Ч. *Статистическая термодинамика. Перевод с английского под редакцией С.П. Капицы.* М.: «Наука», 1977 г., 336 стр.
3. Монин А.С., Шишков Ю.А. *История климата.* Ленинград: Гидрометеиздат 1979 г., 408 стр.
13. Бялко А.В. *Наша планета- Земля.* М.: «Наука», 1983 г., 208 стр.
14. Енохович А.С. *Справочник по физике.* М.: «Просвещение», 1978 г., 416 стр.
15. Евдокимов В.Д., Веселов В.М., Залевский В.М., Серебров С.В. *Простые уточнения, согласующие теорию теплопроводности газов с известными экспериментальными данными.* Международная исследовательская организация «Cognitio», Москва 31/03/2016г., V111 Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки XXI века». Сборник статей, 3 Часть (статья на стр. 15--20).

УДК 538.945

ФАЗООБРАЗОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ Nb₃Sn В СВЕРХПРОВОДНИКАХ С ПОВЫШЕННОЙ ТОКОНЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Крылова М.В.¹Дергунова Е.А., к.т.н.^{1,2}, доцентАлиев Р.Т.¹ науч.сотрЗубок Е. А.¹Цаплева А.С.¹, науч.сотрАлексеев М.В.¹Абдюханов И.М к.т.н.¹

зам.ген.директора-директор отделения

Фигуровский Д.К. к.т.н.² заведующий
кафедрой

¹АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А.А.Бочвара», г. Москва, ул. Рогова, д.5а; ²МТИ(МИРЭА)

В работе представлены результаты исследования процесса фазообразования при многостадийной термообработке композиционных Nb₃Sn сверхпроводников, полученных методом внутреннего источника олова. Выявлена взаимосвязь структуры и состава сверхпроводящей фазы и токонесущей способности сверхпроводника.

Ключевые слова: сверхпроводники, термообработка, структура, состав, критический ток.

THE PHASE FORMATION OF Nb₃Sn INTERMETALLIC COMPOUNDS IN SUPERCONDUCTORS WITH INCREASED CURRENT- CARRYING CAPACITY

Krylova M.¹Dergunova E.^{1, 2}Aliiev R.¹Zubok E.¹Tsapleva A.^{1, 1}Alekseev M.¹Abdyukhanov I.¹Figurovskiy D.²

¹ AO JSC " High Technology Scientific Research Institute of Inorganic Materials,

² Moscow technological university MIREA

©Corresponding author : M . Krylova e-mail: mvkrylova@bochvar.ru

The results of the phase formation process in multistage heat treatment of composite Nb₃Sn superconductors produced by the internal tin source have been presented in this study. It was established the correlation between the structure and composition of the superconducting phase and the current-carrying capacity of the superconductor.

Keywords: superconductors, heat treatment, the structure, composition, the critical current

Введение

В настоящее время идут работы по крупным международным проектам с использованием низкотемпературных сверхпроводников на основе Nb₃Sn, такие как:

- модернизация Большого Адронного Коллайдера в ЦЕРНе (CERN's Large Hadron Collider) [1] с увеличением в 2 раза светимости пучка ускоряемых частиц, что значительно расширит исследовательские возможности крупнейшего в мире ускорительного устройства физики высоких энергий;

- создание демонстрационной термоядерной электростанции под условным названием «DEMO» (сокращение от Demonstrator).

Для создания магнитных систем этих устройств потребуются Nb₃Sn сверхпроводники с высокой токонесущей способностью. Одним из методов изготовления таких материалов является метод внутреннего источника олова. Конструкция таких проводников представляет собой сложный набор субэлементов, каждый из которых состоит из определенным образом расположенных в медной матрице ниобиевых волокон и центрального оловянного сердечника. Это значительно повышает содержание сверхпроводящей фазы и позволяет получить рекордные значения плотности критического тока на сечении без

меди (свыше 3000 А/мм² в 12 Тл, при 4,2К).

Известно, что плотность критического тока (J_c) Nb₃Sn сверхпроводников зависит не только от количества, но и от качества сверхпроводящей фазы, а именно от размера и формы зерна интерметаллида и близости его состава к стехиометрическому [2].

На процессы образования структуры соединения Nb₃Sn оказывают влияние особенности конструкции сверхпроводников, содержание олова, режимы термообработки, легирование материалов матрицы и волокон [3].

Многими исследователями было продемонстрировано, что к росту J_c приводит измельчение зерна [4, 5, 6]. В магнитном поле 4 Тл (при температуре 4,2 К) плотность критического тока достигает максимальной величины при размере зерна ~ 120 нм, а затем при увеличении размера зерен резко уменьшается. В условиях 12 Тл, 4,2 К необходимо стремиться к размеру зерна 30 нм для получения плотности критического тока на сверхпроводящий слой более 9 кА/мм².

Целью данной работы явилось исследование структуры и состава сверхпроводящей фазы Nb₃Sn сверхпроводников с внутренним источником олова, термообработанных по различным режимам.

В данной работе образцы Nb₃Sn сверхпроводников с внутренним источником олова были подвергнуты ступенчатым отжигам по режимам, отличающимся длительностью и температурой на каждой стадии.

Методами оптической, электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа изучено распределение олова в матрице, а также влияние режимов высокотемпературной стадии диффузионного отжига на морфологию зеренной структуры сверхпроводящей фазы Nb₃Sn.

Исследуемые образцы и методика эксперимента

В качестве исходных материалов использовались образцы Nb₃Sn сверхпроводников трех конструкций (таблица 1), изготовленных методом внутреннего источника олова.

Таблица 1

Характеристики исследуемых образцов Nb₃Sn сверхпроводников, полученных методом внутреннего источника олова

Тип конструкции	Диаметр проводника, мм	Диаметр субэлемента, мкм	Диаметр волокна, мкм	Коэффициент заполнения (КЗ) по меди, %
1	0,36 0,7	25 48	-	66
2	0,36 0,7	79 153	3,0 5,8	56
3	0,36 0,7	48 93	1,8 3,5	52

Первая конструкция представляет собой композиционную сборку, включающую в себя три ряда Cu-Sn-Nb субэлементов общим количеством 66 штук, в которых олово окружено ниобиевым кольцом, служащим не только исходным компонентом для образования сверхпроводящей фазы, но и барьером, защищающим медную стабилизацию от диффузии олова. Эти Cu-Sn-Nb субэлементы находятся между внутренним и внешним слоем медной стабилизации.

Вторая конструкция представляет собой сверхпроводящую сердцевину, состоящую из 7 субэлементов (диаметром около 150 мкм), заключенную в общем танталовом барьере и стабилизирующей медной оболочке. Каждый субэлемент включает в себя источник олова, окруженный медной матрицей с распределенными в ней сотнями Nb волокон, диаметр каждого из которых не превышает 6 мкм. Эта многоволоконная область разбита на 6 сегментов за счет использования в качестве разделителей медных прослоек.

Третья конструкция является модификацией *второй конструкции*, в которой применяется не 7, а 19 субэлементов меньшего размера (менее 100 мкм) аналогичного строения.

Образцы отжигали по трем режимам с одинаковыми низкотемпературными стадиями. Заключительная высокотемпературная стадия отжига отличалась температурой и временем выдержки: 665 °С/50ч,

690 °С/50ч, 665°С/100ч. Перечень образцов, подвергнутых отжигу и исследованных в работе, представлен в таблице 2.

Таблица 2

Перечень образцов Nb₃Sn сверхпроводников разных конструкций, подвергнутых различным режимам термообработки

Режим термообработки		
Режим ТО#1 (665°Сx50ч)	Режим ТО#2 (690°С x50ч)	Режим ТО#3 (665°С x100ч)
Конструкция №1 (Ø0,36 мм)	1 (Ø0,36 мм)	-
1 (Ø0,7 мм)	1 (Ø0,7 мм)	-
2 (Ø0,36 мм)	2 (Ø0,36 мм)	-
2 (Ø0,7 мм)	2 (Ø0,7 мм)	2 (Ø0,7 мм)
-	-	3 (Ø0,36 мм)
-	-	3 (Ø0,7 мм)

Металлографический анализ структуры поперечного сечения образцов проводили на оптическом микроскопе Leica DM IRM при увеличении 300 крат.

Исследование образцов сверхпроводников проводили на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss Nvision 40 с приставкой Oxford X-Max, на котором доступны увеличения до 900000. Изображение формировалось путем бомбардировки образцов электронами и дальнейшего анализа встроенными детекторами вторичных электронов inLens, Эвернхарта-Торнли. Для тонких исследований структуры субэлементов (при формировании Nb₃Sn слоя, при определении формы и размера зерна) выбирались увеличения от 3000 до 15000 крат.

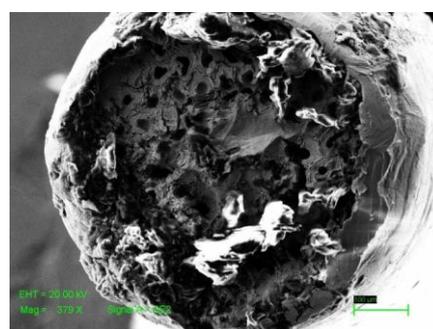
Микрорентгеноспектральный анализ для выявления распределения по олову, меди, ниобию, определения количества остаточного олова и состава слоев Nb₃Sn осуществлялся с помощью приставки Oxford X-Max.

Расчет контролируемых параметров микроструктуры прореагировавших Nb₃Sn волокон после диффузионной термообработки проводился посредством обработки цифровых изображений с высоким разрешением, полученных на растровом электронном микроскопе. Расчет среднего раз-

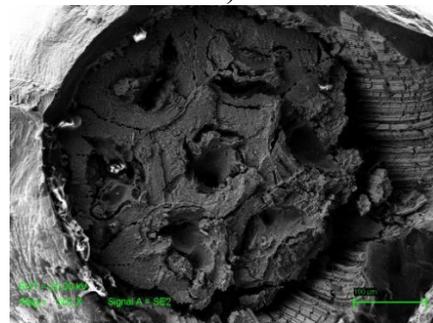
мера зерна и коэффициента столбчатости (т.е. соотношения его средних длины и ширины) осуществлялся при использовании метода секущих.

Экспериментальная часть

Фрактографический анализ излома образцов показал наличие пор на границе между барьером и крайним рядом субэлементов, между субэлементами, а также между сегментами в наиболее искаженной области ближе к танталовому барьеру. Отмечено наличие большого количества пор на месте источника олова в центре каждого субэлемента (рисунок 1а, 1б).



а)



б)

Рис. 1. Структура излома образцов Nb₃Sn сверхпроводников разных конструкций после диффузионного отжига по режиму №1: (а) - Излом сверхпроводника конструкции №1 (Ø0,7 мм) (б) - Излом сверхпроводника конструкции №2 Ø0,7 мм)

Анализ зеренной структуры показал, что все ниобиевые волокна размером порядка 6 мкм проработаны полностью как после режима диффузионного отжига №1, так и после №2. Медные прослойки между единичными волокнами в субэlementе толщиной вплоть до 0,4 мкм не растворяются и четко просматриваются (рисунок 2).

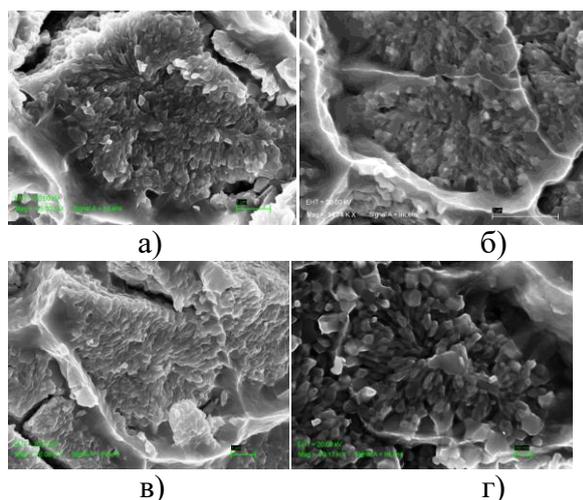
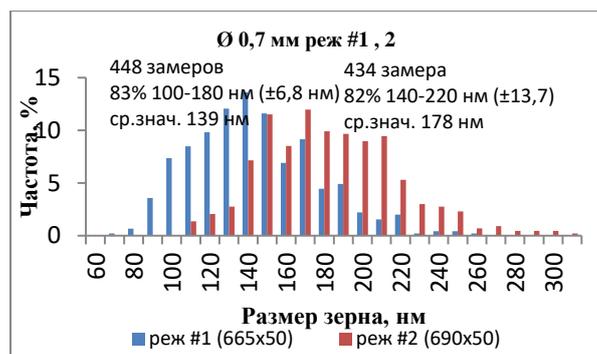


Рис. 2. Зеренная структура волокон образца конструкции №2 Nb_3Sn сверхпроводника после диффузионного отжига по режимам №1 и №2:

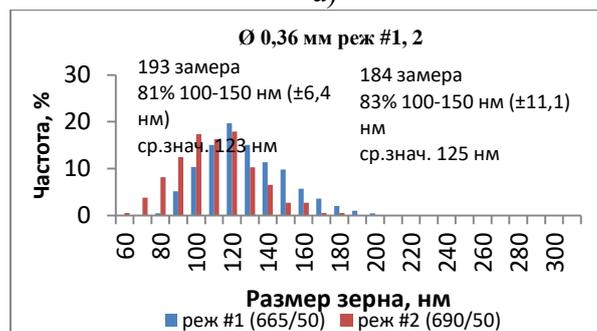
(а) - $\varnothing 0,7$ мм 1 режим, (б) - $\varnothing 0,36$ мм 1 режим, (в) - $\varnothing 0,7$ мм 2 режим, (г) - $\varnothing 0,36$ мм 2 режим

Подробный количественный анализ зеренной структуры образца конструкции №2 (рисунок 3) показал следующее: на диаметре 0,7 мм (рисунок 3а) наблюдается формирование более крупного зерна (ср. знач. 178 нм), по форме более близкого к равноосному (коэффициент столбчатости 1,32), после режима №1 термообработки по сравнению с режимом №2 (ср. знач. 139 нм; коэффициент столбчатости 1,42). На диаметре 0,36 мм средний размер зерна (рисунок 3б) и коэффициент столбчатости (рисунок 3в) находятся на одном уровне, как после 1, так и после 2 режима термообработки (средний размер зерна 123-125 нм; коэффициент столбчатости 1,12). При этом размер зерна и коэффициент столбчатости ниже на образцах диаметром 0,36 мм, что приводит к повышению токонесущей способности (таблица 3).

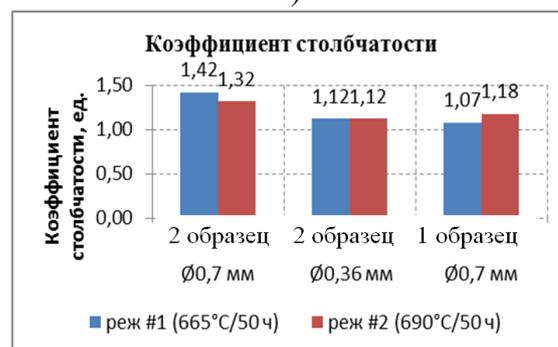
Таким образом, более высокая температура (690°C вместо 665°C) заключительной стадии диффузионного отжига способствует росту более крупного и равноосного зерна на волокнах порядка 6 мкм. На волокнах диаметром ~ 3 мкм влияние более высокой температуры отжига обнаружено не было.



а)



б)



в)

Рис. 3. Количественный анализ зеренной структуры Nb_3Sn фазы образцов конструкций №1, 2 после отжига по режимам 1, 2

При исследовании образца конструкции №1 диаметром 0,7 мм после термообработки методом оптической микроскопии на внутренней поверхности кольца каждого субэлемента был обнаружен слой толщиной 3-4 мкм, отличающийся по цвету от соседнего (рисунок 4). Фрактографический анализ показал, что этот слой в области, ближайшей к источнику олова, состоит из гораздо более крупных (на порядок) зерен Nb_3Sn . Его формирование, по-видимому, связано с особенностями процесса диффузионного роста фаз при термообработке, когда сначала образуется фаза Nb_6Sn_5 , а затем она преобразуется в крупные зерна

Nb_3Sn [7], что связано с конструкцией субэлемента (в виде трубки).

Таблица 3

Параметры микроструктуры образцов Nb_3Sn сверхпроводников, полученных методом внутреннего источника олова и их плотность критического тока J_c на сечение без меди (12 Тл, 4,2 К)

Конструкция образца	Режим отжига	Диаметр, мм	D волн., мкм	Средний размер зерна, нм	Коэффициент столбчатости, ед.	$J_{sp0}Cu$, А/мм ² (12 Тл, 4,2 К)
№2 #1	#1	0,7	5,8	139	1,42	1298
№2 #2	#2	0,7	5,8	178	1,32	1298
№2 #2	#2	0,36	2,99	125	1,12	1466

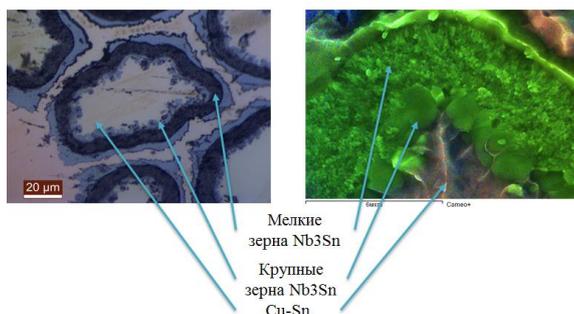
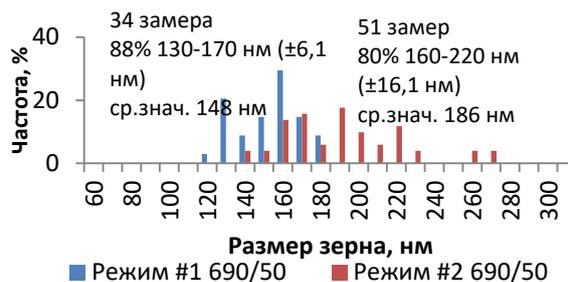


Рис. 4. Зеренная структура Nb_3Sn фазы образца конструкции №1 после диффузионного отжига

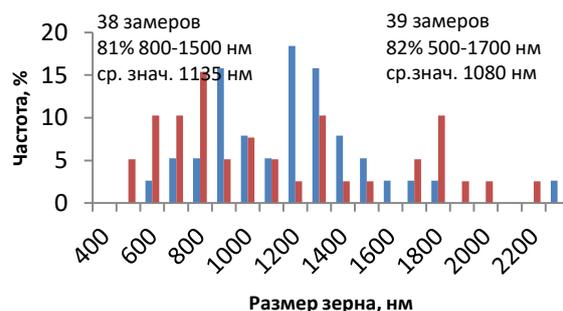
Количественный анализ полученной структуры позволил выявить влияние более высокой температуры диффузионного отжига (690°C) на объемное соотношение крупных и мелких зерен (рисунок 5) при относительно небольшом увеличении размера мелких зерен. Уменьшение доли крупных зерен с 37 до 20 %, по-видимому, является причиной повышения плотности критического тока на сечение без меди (12 Тл, 4,2 К) на 13 % - с 594 А/мм² до 669 А/мм².

Анализ количества остаточного олова (рисунок 6) показал, что его величина изменяется колебался от 10 до 14%. В целом, во всех конструкциях олово по сечению субэлемента распределено равномерно, градиент его концентрации на месте источника олова не превышал 0,5%.

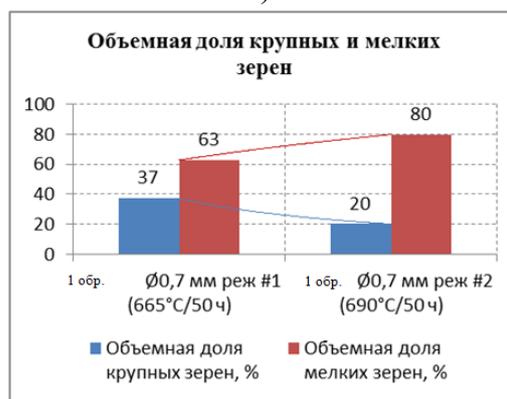
Мелкие зерна реж #1, 2



а) Крупные зерна реж #1, 2



б)



в)

Рис. 5. Количественный анализ зеренной структуры Nb_3Sn фазы образца конструкции №1 после отжига по режимам 1, 2

Стехиометрическое соотношение является важной характеристикой Nb_3Sn сверхпроводников, влияющей на критическую температуру и верхнее критическое поле, которые приближаются к необходимому максимуму в интервале значений данного соотношения 75,5/24, 5÷75/25 [8]. На полученных образцах после диффузионных отжигов по режимам 1, 2, 3 соотношение Nb/Sn (ат.%) в слое варьировалось от 77,8/22,2 до 76,8/23,2 (таблица 4).

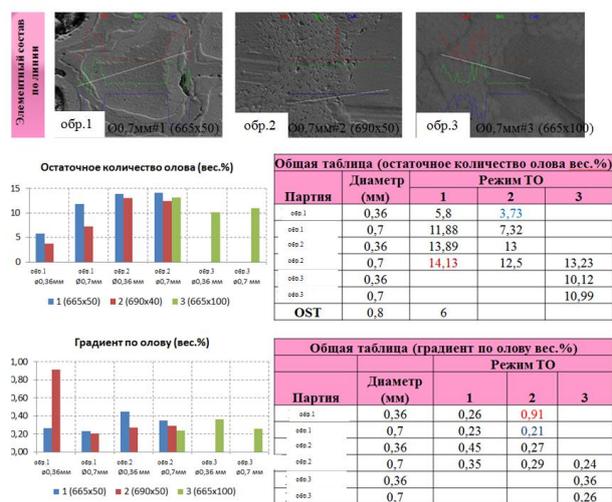


Рис. 6. Уровень и градиент содержания остаточного олова исследуемых образцов Nb_3Sn сверхпроводников разных конструкций, полученных методом внутреннего источника олова после режимов отжига 1, 2, 3

вывод, что ниобиевое кольцо толщиной 8 мкм на образце конструкции №1 после диффузионного отжига по режимам 1 и 2 полностью превращается в интерметаллическое соединение Nb_3Sn (рисунок 7).

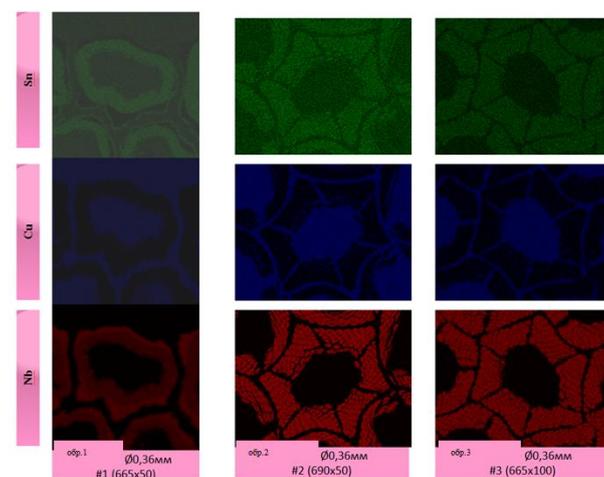


Рис. 7. Карты распределения по элементам исследуемых образцов Nb_3Sn сверхпроводников разных конструкций после отжига по режимам 1, 2 и 3

Таблица 4
Стехиометрическое соотношение Nb/Sn (ат.%) в слое исследуемых образцов Nb_3Sn сверхпроводников разных конструкций после отжигов по режимам 1, 2 и 3

Образец	Диаметр (мм)	Nb/Sn (ат.%)		
		Режим ТО #1 (665 ⁰ C x50ч)	Режим ТО #2 (690 ⁰ C x40ч)	Режим ТО #3 (665 ⁰ C x100ч)
1	0,36	77,6/22,4	77,0/23,0	
1	0,7	76,8/23,2	77,3/22,7	
2	0,36	77,4/22,6	77,4/22,6	
2	0,7	77,8/22,2	77,4/22,6	77,6/22,4
3	0,36			77,4/22,6
3	0,7			76,9/23,1

Получены карты распределения по элементам: олово, медь, ниобий. Выявлено, что олово равномерно распределено в сердцевине субэлемента, а также в межволоконной зоне. Более яркие области волоконной зоны по олову дают основание говорить о проработке ниобия после диффузионного отжига. Также можно сделать вывод о равномерной диффузии меди в центр каждого субэлемента. Исследования образца конструкции №1 по картам распределения элементов позволяют сделать

Заключение

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1) Исследовано распределение олова в матрице, а также влияние режимов высокотемпературной стадии диффузионного отжига на морфологию зеренной структуры сверхпроводящей фазы Nb_3Sn методами оптической, электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа.

2) Выявлено, что диффузионный отжиг по режимам 1 (665⁰C/50ч) и 2 (690/50) позволяет полностью превратить Nb волокно размером вплоть до 6 мкм в сверхпроводящую фазу Nb_3Sn .

3) Обнаружено, что повышение температуры на заключительной стадии диффузионного отжига приводит к формированию более крупных равноосных зерен Nb_3Sn на волокнах размером ~6 мкм, в то время как на волокнах меньшего размера ~3 мкм такого влияния не отмечено.

4) Показано, что повышение температуры на последней стадии диффузионного отжига Nb_3Sn сверхпроводников способствует снижению доли крупных зерен на 17% и приводит к повышению критиче-

ской плотности тока на сечении без меди (12 Тл, 4,2 К) на 13%.

5) Методом МРС - анализа образцов Nb₃Sn сверхпроводников после диффузионного отжига установлено, что в полученных проводниках содержится значительное количество остаточного олова (10-14 масс.%), что позволяет оптимизировать новые конструкции за счет повышения коэффициента заполнения по ниобию.

6) Показано, что стехиометрическое соотношение компонентов (Nb/Sn ат.%) в сверхпроводящем слое варьируется от 77,8/22,2 до 76,8/23,2.

Список литературы

1. A. Ballarino, L. Bottura *Targets for R&D on Nb₃Sn Conductor for High Energy Physics: IEEE Transactions on Applied superconductivity*, vol. 25, no. 3, – June 2015
2. А. Кемпбелл, Дж. Иветс. *Критические токи в сверхпроводниках. Перевод с английского А.И. Русинова. Под редакцией д-ра физ.-мат. Наук В.В. Шмидта. Издательство «МИР», 1975*

3. Ю.В. Ефимов, Ю. П. Пауфлер, Б.П. Михайлов/ *Макро- и микроструктура сверхпроводящих сплавов (с атласом микроструктур)/Отв.ред. Е.М. Савицкий/Изд. «Наука»/Москва/1984*

4. *Металловедение и технология сверхпроводящих материалов./Под ред. Фонера С., Шварца Б./США, 1981: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1987. 560 с.*

5. *Iternally oxidized Nb₃Sn strands with fine grain size and high critical current density/Xingchen Xu, Michael D. Sumption, Xuan Peng/Advanced Materials 2015, 27, 1346-1350*

6. D.R. Dietderich, A. Codeke, *Cryogenics 2008, 48, 331*

7. C Scheuerlein, M Di Michiel, L Thilly, F Buta, X Peng, E Gregory, J A Parrell, I Pong, B Bordini, M Cantoni/*Phase transformations during the reaction heat treatment of Nb₃Sn superconductors/9th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 09)/ Journal of Physics: Conference Series 234 (2010) 022032*

8. R. Flukiger, D. Uglietti, C. Senatore, F. Buta *“Microstructure, composition and critical current density of superconducting Nb₃Sn wires” Cryogenics 48 (2008) p293-308*

УДК 531.383

ОСНОВНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА

Деменков Н.П., к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматического управления»;
 Чан Динь Минь, аспирант кафедры «Системы автоматического управления»

Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана, 107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

© Автор для переписки: Деменков Н.П. e-mail: dnp@bmstu.ru

Работа посвящена исследованию конструктивных и технологических погрешностей, возникающих при изготовлении волновых твердотельных гироскопов с целью выбора наиболее адекватных моделей и методов для дальнейшего исследования точностных характеристик. Рассмотрены погрешности, вызванные вибрациями основания, неоднородностью распределения массы резонатора, его раз-

нодобротностью и дефектами систем возбуждения. Сделан вывод о перспективности использования нечеткого подхода для формирования моделей погрешностей.

Ключевые слова: волновой твердотельный гироскоп, полусферический и цилиндрический резонатор, гармоника, технологические и конструктивные погрешности

MAIN ERRORS OF THE WAVE SOLID-STATE GYROSCOPE

Demenkov N.P.;
 Trần Đình Minh

Bauman Moscow State Technical University, Department of Control System

© Corresponding author: Demenkov N.P. e-mail: dnp@bmstu.ru

The work is devoted to a research of the constructive and technological errors arising at production of wave solid-state gyroscopes for the purpose of the choice of the most adequate models and methods for a further research of precision characteristics. The errors caused by vibrations of the basis, heterogeneity of distribution of mass of the resonator, its different good quality

and defects of systems of excitement are considered. The conclusion is drawn on prospects of use of fuzzy approach for formation of models of errors.

Keywords: wave solid-state gyroscope, hemispherical and cylindrical resonator, accordions, technological and constructive errors

Волновой твердотельный гироскоп (ВТГ) является одним из наиболее перспективных гироскопических приборов, предназначенных для определения угла поворота и угловой скорости вращения объекта в инерциальных системах навигации [1-3].

Принцип действия ВТГ основан на инертных свойствах стоячих упругих волн, возбужденных в осесимметричных оболочках. ЧЭ прибора является кварцевый резонатор - тонкая полусферическая оболочка, изготовленная из плавленного кварцевого стекла и закрепленная на цилиндрическом стержне в области полюса. Высокие точностные характеристики ВТГ во многом зависят от балансировки ЧЭ по 1-4 гармоникам распределения массовых погрешностей, вызванных несовершенством технологии изготовления ЧЭ и анизотропией физико-механических свойств его материала.

Основными причинами погрешности ВТГ являются технологические дефекты резонатора. Целью работы является исследование источников погрешностей резонатора ВТГ.

Можно выделить следующие типы погрешностей резонатора ВТГ.

1. Погрешности, вызванные неоднородностью распределения массы резонатора

Простейшей моделью ВТГ является кольцевая модель:

$$\ddot{\omega}'' - \ddot{\omega} + k^2(\omega^{VI} + 2\omega^{IV} + \omega'') = 0; \quad k^2 = \frac{EI}{\rho SR^4},$$

где $\omega = \omega(\varphi, t)$ - нормальное перемещение частиц кольца в зависимости от окружного угла φ и времени (точкой обозначена производная по времени, а штрихом - по окружному углу); ρ - плотность материала кольца; S - площадь поперечного сечения; E - модуль Юнга; I - момент инерции поперечного сечения относительно оси изгиба; R - радиус недеформируемого кольца. Практически важным является случай возбуждения колебаний по второй форме, когда стоячая волна

описывается в виде: $\omega(\varphi, t) = A \cos 2(\varphi - \varphi_0) \cos \omega_0 t$, где A - амплитуда; φ - угол ориентации волны, а $\omega_0 = 6k/\sqrt{5}$ - собственная частота колебаний.

Если плотность материала зависит от окружного угла, т.е. $\rho = \rho(\varphi)$, уравнение движения свободного резонатора с переменной плотностью записывается в виде:

$$\left[\frac{(\rho \ddot{\omega})'}{\rho} \right]' - \ddot{\omega} + \frac{EI}{\rho SR^4} (\omega^{VI} + 2\omega^{IV} + \omega'') - \frac{EI \rho'}{\rho^2 SR^4} (\omega^V + 2\omega''' + \omega') = 0.$$

Если плотность представить в виде: $\rho = \rho_0(1 + \varepsilon_k \cos k(\varphi - \theta_k))$, где $\rho_0 = const$, а ε_k и θ_k определяют величину и ориентацию дефекта плотности по k -й гармонике, то расщепление частоты по четвертой гармонике:

$$\Delta_4 = \omega_2 - \omega_1 \approx \frac{1}{2} \varepsilon_4 \omega_0. \quad (1)$$

В этом случае скорость прецессии стоячей волны относительно резонатора определяется выражением (для $t \ll 1$)

$$\dot{\vartheta} = -\frac{1}{8} t (\Delta_4 \omega)^2 \sin 8\varphi_0, \quad (2)$$

где ϑ - угол ориентации стоячей волны и является скоростью ухода ВТГ вследствие расщепления Δ_4 собственной частоты из-за неоднородности распределения массы резонатора. Из (2) следует, что для компенсации скорости ухода ВТГ необходимо проводить балансировку резонатора по четвертой гармонике дефекта с целью уменьшения величины Δ_4 .

В квадратичном приближении расщепление частоты, вызванное четвертой гармоникой дефекта, пропорционально величине дефекта, а первой, второй и третьей гармониками - квадратам величин соответствующих дефектов. Поэтому при балансировке резонатора основное внимание следует уделять четвертой гармонике дефекта, поскольку она вызывает расщепление частоты на порядок больше, чем остальные гармоники.

2. Погрешности, вызываемые вибрациями основания

При наличии первой, второй и третьей гармоник распределения массы резонатора по окружному углу волновая картина имеет паразитную составляющую, которая искажает полезный сигнал. Это объясняется тем, что помимо основной формы колебаний в резонаторе возбуждается ряд побочных

форм, вызывающих погрешность прибора.

При продольной вибрации резонатор перемещается вдоль оси симметрии по закону:

$z = z_0 \cos \lambda t$, где z_0 и λ — амплитуда и частота вибрации соответственно.

Неоднородность распределения массы представим в виде

$$\rho = \rho_0 [1 + \varepsilon_1 \cos(\varphi - \theta_1) + \varepsilon_2 \cos 2\varphi - \theta_2 + \varepsilon_3 \cos 3\varphi - \theta_3].$$

В резонансном случае ($\lambda = \omega_0$) угол ориентации стоячей волны определится выражением: $tg 2\vartheta = tg 2\theta_2$, т.е. стоячая волна «привязывается» к ориентации второй гармоники дефекта. Воздействие продольной вибрации эквивалентно действию некоторого позиционного возбуждения вдоль оси дефекта по второй гармонике.

В случае поперечной вибрации резонатор движется следующим образом:

$$x = x_0 \cos \lambda t, \quad y = y_0 \cos \lambda t.$$

В резонансном случае угол ϑ ориентации пучности стоячей волны определяется формулой:

$$tg \vartheta = \frac{(A+B+C)\varepsilon_1 \sin \theta_1 + (A-B+C)\varepsilon_3 \sin 3\theta_3}{(A+B+C)\varepsilon_1 \cos \theta_1 + (A-B+C)\varepsilon_3 \cos 3\theta_3},$$

где A, B, C — коэффициенты.

В случае наличия дефекта плотности по первой и третьей гармоникам ориентация стоячей волны определяется углами θ_1 и θ_3 , т.е. поперечная вибрация привязывает стоячую волну к первой и к третьей гармоникам дефекта массы.

3. Погрешности, вызываемые разнородностью резонатора

Наличие диссипации энергии в резонаторе ВТГ приводит к затуханию амплитуды колебаний при условии однородности диссипативных свойств по окружному углу. Если добротность резонатора зависит от окружного угла, то появляется скорость ухода стоячей волны. Для описания затухающих колебаний упругих тел используется модель Кельвина – Фойгта: $\sigma = E(\varepsilon + \xi \dot{\varepsilon})$, где σ — тензор напряжений; ε — тензор деформации; ξ — величина, характеризующая время затухания неупругих релаксаций.

Если ξ — постоянная, то колебания резонатора затухают по экспоненциальному закону, при этом свойства колебаний не изменяются. Зависимость величины ξ от окружного угла приводит к тому, что постоянная времени (добротность) зависит от ориента-

ции волновой картины. Это явление называется разнородностью резонатора по окружному углу.

Представим неоднородность величины $\xi(\theta)$ рядом Фурье

$$\xi(\varphi) = \xi_0 [1 + \sum_k \xi_k \cos(\varphi - \theta_k)], \quad (3)$$

где ξ_0 — номинальное значение; ξ_k, θ_k — величины и ориентации относительных дефектов соответственно.

Наиболее существенное влияние на динамику резонатора оказывает четвертая гармоника дефекта в разложении (3). Скорость прецессии (ухода) стоячей волны:

$$\dot{\vartheta} = -K\Omega + \frac{1}{4} \omega_0^2 \xi_0 \xi_4 \sin 4(\vartheta - \theta_4),$$

где ξ_0 — масштабный коэффициент ВТГ, Ω — входная угловая скорость.

Если входная угловая скорость Ω удовлетворяет условию: $|\Omega| < \Omega^* = \frac{1}{4} \omega_0^2 \xi_0 \xi_4$, то интегрирующий эффект гироскопа отсутствует.

Если выполнено условие: $|\Omega| > \Omega^*$, то интегрирующий эффект сохраняется с некоторой систематической погрешностью. Область от 0 до Ω^* — зона «захвата» стоячей волны.

Наличие четвертой гармоники дефекта диссипации приводит к появлению в резонаторе системы двух осей, развернутых на 45° , называемых собственными осями вязкости. Постоянные времени колебаний вдоль каждой из этих осей достигают наименьшего и наибольшего значений. Вызванный разнородностью дрейф волновой картины, как правило, компенсируется алгоритмически.

Компенсация этого вида ухода осложняется тем, что добротность зависит от многих параметров: от изменения внутреннего трения в проводящем покрытии, наносимом на резонатор, от давления остаточного газа в приборе, может измениться при случайном попадании на поверхность микрочастиц и т.п.

4. Погрешности, связанные с дефектами систем возбуждения резонатора

Резонатор имеет скорость ухода, если система его возбуждения неидеальна из-за нестабильности напряжения питания или некруглости кольцевого электрода.

Если амплитуда напряжения питания

кольцевого электрода имеет четвертую гармонику по окружному углу: $V = (V_0 + v \cos 4\varphi) \cos \lambda t$, где λ - частота напряжения питания кольцевого электрода, v - величина дефектов, причем $v \ll V_0$. Тогда скорость ухода стоячей волны: $\dot{\vartheta} = -K\Omega - \frac{1}{40} \frac{\varepsilon_0 V_0 v L}{\omega_0 \rho S d_0^3} \sin 4\vartheta$, где K - коэффициент прецессии; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - диэлектрическая постоянная; L - высота электрода; d_0 — зазор между электродом и резонатором. Размер области захвата, в которой отсутствует интегрирующий эффект:

$$\Omega^* = \frac{1}{16} \frac{\varepsilon_0 V_0 v L}{\omega_0 \rho S d_0^3} \text{ или через добротность } Q:$$

$$\Omega^* = \frac{5}{16} \frac{\omega_0 v}{Q V_0}.$$

Если величина зазора между кольцевым электродом и резонатором имеет четвертую гармонику по окружному углу: $d = d_0 + e \cos 4\varphi + \omega(\varphi, t)$, где e — эксцентриситет, то скорость ухода стоячей волны: $\dot{\vartheta} = -K\Omega + \frac{3}{40} \frac{\varepsilon_0 V_0^2 e L}{\omega_0 \rho d_0^4 S} \sin 4\vartheta$, а область захвата:

$$\Omega^* = \frac{15}{16} \frac{\omega_0 e}{Q d_0}.$$

Заключение

Погрешности ВТГ обусловлены суммарным воздействием технологических дефектов изготовления, неоднородностью плотности его материала, различными возмущениями, вызванными побочными вибрациями и другими неконтролируемыми факторами. Наиболее существенное влияние оказывает

четвертая гармоника разложения Фурье неоднородностей таких параметров, как плотность, модуль Юнга, толщина оболочки. Для описания компонентов неопределенности используются детерминированные или вероятностные модели. Однако, например, дефект диссипации является нестабильной величиной, поэтому традиционные модели являются достаточно сложными и не всегда адекватным. Предпочтительно использовать нечеткие модели в описании неопределенности функционирования ВТГ, что является более простым в сравнении с традиционным подходом и дает более адекватные оценки в расчете параметров и компенсация погрешностей ВТГ.

Список литературы

1. Матвеев В.А., Липатников В.И., Алехин А.В.. Проектирование волнового твердотельного гироскопа. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.
2. Басараб М.А., Кравченко В.Ф., Матвеев В.А.. Математическое моделирование физических процессов в гироскопии. - М.: Радиотехника, 2005.
3. Денисов Р.А., Обухов В.И. Исследование влияния геометрических параметров чувствительного элемента твердотельного волнового гироскопа на его масштабный коэффициент. - Нижний Новгород. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2015, №1, с.263-268.

УДК: 921.327.534

УЛУЧШЕНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ РАЗРЯДНЫХ ЛАМП

Микаева С.А. д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и механики

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Микаева С.А. e-mail: mikaeva@npo.lit.ru

Работа посвящена улучшению ультрафиолетовых разрядных ламп низкого давления. В работе представлены результаты исследований параметров ультрафиолетовых ламп малой мощности, изготовленных с использованием стекла, пропускающего коротковолновое ультрафиолетовое излучение. Показано применение улучшенной технологии производства эритемных ламп в трубках, пропускающих ультрафиолетовое излучение области УФС.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, эритемные лампы, ультрафиолетовые лампы, трубки колбы, результаты исследований, стекло, люминофор, слой, облученность, мощность.

THE IMPROVEMENT OF THE ULTRAVIOLET DISCHARGE LAMPS

Mikaeva S.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute.

@ Corresponding author e-mail: e-mail mikaeva@npol.it.ru

The work is devoted to improvement of the UV-discharge lamps of low pressure. The paper presents the results of research of parameters of a UV lamp of low power, fabricated using glass that transmits short-wave ultraviolet radiation. Illustrates the application of improved production technology of erythemat lamps in the tubes, a UV region of UFS.

Key words: ultraviolet radiation, erythemat lamps, ultraviolet lamps, tubes, flasks, studies, glass, phosphor layer, the irradiance, power.

Актуальность улучшения источников излучения фотобиологического действия и совершенства технологии производства в последнее время возрастает, так как одной из важнейших правительственных программ является программа развития сельского хозяйства, а именно, животноводческой отрасли, в которой указанные источники применяются для профилактического облучения животных.

Длительное время для ультрафиолетового облучения животных использовались эритемные лампы типа ЛЭ15, ЛЭ30 с колбой из увиолевого эритемного стекла марки СЛ97-3 и эритемным люминофором Э-2. Данные лампы имели примерно равные потоки ультрафиолетового (УФ) излучения в области А, В и С: УФА (380—320 нм) и УФВ (320—275 нм). Излучение в области УФС (275—180 нм) было на порядок ниже. Эффективный поток определялся по функции относительной эритемной эффективности согласно руководству РТМ.3—381—73 с единицей измерения 1 Эр, равной 1 Вт и длине волны 297 нм. В результате исследований зарубежных учёных функция относительной эритемной эффективности была пересмотрена. В 2000 г. принята новая функция относительной эритемной эффективности, описанная в стандарте (ГОСТ Р МЭК 60335-2-27—2000) и имеющая существенные отличия от ранее используемой функции. Новая функция относительной эритемной эффективности принимает максимальные значения в коротковолновом диапазоне от 200 до 297 нм, т.е. в области УФС.

Для создания более эффективных, улучшенных эритемных ламп с учётом новых представлений были проведены исследования с партиями разрядных ламп низкого давления мощностью 15 Вт в трубках диаметром 26 мм (Т8) и 13 Вт в трубках диаметром 16 мм (Т5) из стекла марки РН160 фирмы «Philips» (коэффициент пропускания в области УФС более 80 %), покрытых эритемным люминофором Э-2. Партии ламп были изготовлены на опытном производстве ОАО «Лисма - Всесоюзный научно исследовательский институт источников света (ВНИИИС)» г. Саранск (Мордовия) [1, 4, 5].

Партии ламп различались удельной нагрузкой нанесённого люминофорного слоя: для ламп 15 Вт – 1,15 и 3,33 мг/см², для ламп 13 Вт – 2,03 и 1,40 мг/см². Удельная нагрузка люминофорного слоя определялась по образцам трубок с люминофором седиментационным методом. Лампы мощностью 15 Вт были изготовлены при давлении наполняющего инертного газа (аргона) 332,5 и 532 Па.

Средние значения облучённости в областях УФА, УФВ и УФС от изготовленных ламп, создаваемые на расстоянии 1 м, были измерены с помощью УФ-радиометра ТКА-АВС (основная относительная погрешность прибора 17 %). Относительные случайные погрешности, вызванные разбросом параметров при производстве ламп, составляли при мощности излучения $P > 0,95$ для облучённости в области УФА – $\pm 2,44$ %; УФВ – $\pm 3,42$ %; УФС – $\pm 8,95$ %.

Энергетический поток в области УФВ рассчитывался по результатам спектральных измерений на установке с монохроматором дифракционным МДР-23 и фотоприёмником ФЭУ-100. Энергетический поток в области УФС оценивался из соотношения потоков и облучённости в области УФВ и УФС. Для ламп с удельной нагрузкой слоя люминофора 3,33 мг/см² отношение потоков в области УФВ и УФС ($\Phi_{\text{УФВ}} : \Phi_{\text{УФС}}$) составляют 1 : 0,05, а для ламп с удельной нагрузкой слоя люминофора 1,15 мг/см² – 1 : 0,77.

Были получены зависимости облучённости от времени горения в процентах для различных значений удельной нагрузки люминофора при давлении инертного газа 532 Па. При производстве ламп типа ЛЭ15 и ЛЭ30 в

ТУ16-586,247—74 указывается допустимый спад облучённости после 100 ч горения в пределах 25 %. Для опытных партий ламп спад облучённости не превышал допустимого значения.

Установлено, что излучение линии 253,7 нм в различной степени задерживается люминофорным слоем в зависимости от удельной нагрузки и после 100 ч горения обеспечивает выход энергетического потока в области УФС при удельной нагрузке 1,15 мг/см² около 28 %, а при удельной нагрузке 3,33 мг/см² около 2,3% от общего потока лампы. В абсолютных единицах значение энергетического потока в области УФС для ламп с удельной нагрузкой люминофора 3,33 мг/см² не превышает 0,05 Вт, что меньше допустимого значения (0,15 бакт), соответствующего для линии 253,7 нм значению 0,15 Вт, которое указано в технических условиях ТУ16-586,247—74. При этом все лампы имели мощность ниже предельно допустимой 16,25 Вт, облученность не ниже 78,5 мВт/м² (соответствующей для люминофора Э-2 допустимой эритемной облученности 28 мэр/м²) и в целом соответствовали ТУ16-586,247—74.

Таким образом, эритемные лампы мощностью 15 Вт с люминофором Э-2 в трубке диаметром 26 мм из стекла марки РН160 с удельной нагрузкой слоя люминофора 3,33 мг/м² могут быть сертифицированы и использоваться вместо ЛЭ 15.

В работах [2, 3, 6, 7] экспериментально установлено, что оптимальное соотношение эритемного и бактерицидного потоков при профилактическом ультрафиолетовом облучении животных для энергетических потоков люминофора Э-2 (область УФВ) и линии 253,7 нм (область УФС) равно 1: 0,39. Такое соотношение можно получить при удельной нагрузке слоя люминофора примерно равной 2,3 мг/см². Эффективный поток, вычисленный по функции относительной эритемной эффективности, утвержденной ГОСТ Р МЭК 60335-2-27—2000, для ламп мощностью 15 Вт с удельной нагрузкой слоя люминофора 2,3 мг/см² будет иметь значение 0,84 Вт, в то время как эффективный поток для ламп с удельной нагрузкой слоя люминофора 3,33 мг/см² (с уменьшенной составляющей УФС) состав-

ляет 0,47 Вт, что составляет, соответственно, 5,6 и 3,1% мощности эффективного потока от подводимой мощности.

Таким образом, увеличивая составляющую излучения области УФС, можно решить проблему увеличения эритемной эффективности источников ультрафиолетового излучения без повышения их мощности.

Аналогичные исследования проведены для ламп в трубках Т5 мощностью 13 Вт. Средние значения облучённостей областей УФА, УФВ и УФС лампами мощностью 13 и 15 Вт, создаваемые на расстоянии 1 м, после 100 ч горения.

Переход от эритемных ламп с трубками Т8 к лампам с трубками Т5 при примерно равной эффективной отдаче в рассматриваемом диапазоне удельных нагрузок люминофорного слоя позволяет обеспечить до 30 % экономии таких материалов как стекло, люминофор, ртуть, вольфрам, молибден, алюминий, фторполимер. Кроме того, экономия обеспечивается за счёт использованием облучателей с низкой материалоемкостью.

Применение улучшенной технологии производства эритемных ламп в трубках, пропускающих ультрафиолетовое излучение области УФС, обеспечит переход к меньшим мощностям ламп и позволит повысить эффективность облучательных установок на их основе и применения в различных отраслях хозяйства.

Список литературы

1. Коваленко О.Ю., Дадонов В.Ф. Новые возможности повышения эффективности эритемных ламп // *Светотехника*. 2008. № 2. С.43.
2. Овчукова, С.А., Животисцев Е.Н., Коваленко О.Ю. Ультрафиолетовое облучение молодняка крупного рогатого скота эритемно-бактерицидными лампами // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1999. № 8. С.7.
3. Алферова Л.К., Овчукова С.А. Способы увеличения функциональной эффективности ультрафиолетовых облучательных установок // *Светотехника*. 2000. № 1. С.15.
4. Амеликина С.А., Железникова О.Е., Микаева С.А. Разработка экспериментальной исследовательской установки со светодиодными источниками света // *Справочник. Инженерный журнал*. 2016. №11. С.57-60.

5. Микаева С.А., Микаева А.С., Аирияттов А.А., Вишневский С.А. Разработка световых приборов с изменяемым спектром излучения// Автоматизация. Современные технологии. 2016. №11. С.43-48.

6. Микаева С.А., Микаева А.С. Отражающие покрытия// Стекло и Керамика. 2016. №.8. С. 38-39.

7. Амелкина С.А., Железникова О.Е., Микаева С.А. Экспериментальная исследовательская установка со светодиодными источниками света// Автоматизация. Современные технологии. 2015. №2. С. 37-40.

УДК 536.24.083; 621.45.038; 621.452.3

РАЗРАБОТКА СОПЛОВОЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Викулин А.В., к.т.н., доцент, профессор
кафедры ТППДЛА;
Земляная В.А., старший преподаватель
кафедры ТППДЛА

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)
г.Москва, 125993, Россия

@Автор для переписки: Земляная В.А.,
chesnovava@mail.ru

Разработана методика оценки влияния геометрических размеров турбулизаторов потока воздуха на относительную глубину охлаждения и тепловое состояние лопатки турбины. Предложена перспективная система охлаждения с трехсекционной вихревой матрицей и двумя рядами наклонных перемычек для сопловых лопаток, которая позволяет повысить интенсификацию теплообмена и увеличить температуру газа перед турбиной.

Ключевые слова: газовая турбина, охлаждаемая лопатка, щелевой канал, интенсификаторы теплообмена, вихревая матрица, наклонные перемычки.

DEVELOPMENT OF NOZZLE BLADES OF THE HIGH- PRESSURE TURBINE WITH THE

PERSPECTIVE COOLING SYSTEM FOR THE PURPOSE OF INCREASING RESOURCE AND RELIABILITY OF THE GAS TURBINE ENGINE

Vikulin A.V.;
Zemlyanaya V.A.

Moscow Aviation Institute (National Research University) Moscow, 125993, Russia

@ Corresponding author: Zemlyanaya V.A.,
chesnovava@mail.ru

The technique of assessment of the influence of the geometrical dimensions of the air flow turbulators on the relative depth of cooling and thermal state of the turbine blade is developed. The perspective cooling system with the three-section vortex matrix and two rows of the transition strips for nozzle blades which allows to raise the intensification of heat exchange and to increase the turbine inlet gas temperature is offered.

Key words: gas turbine, cooling blade, slot channel, heat exchange intensifiers, vortex matrix, transition strips.

Совершенствование систем охлаждения лопаток газовых турбин является одной из основных задач, возникающих при освоении высокотемпературного цикла газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ) различного назначения. Решение ее связано с поиском, разработками и исследованиями новых систем интенсификации теплообмена, обеспечивающих заданный уровень температуры охлаждаемых лопаток.

Для оценки эффективности системы охлаждения теплонапряженных деталей, на-

пример лопаток газовой турбины, наиболее часто используется величина, называемая относительной глубиной охлаждения, представляющая собой отношение:

$$\Theta = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_{\Gamma}}{\alpha_{\text{В}}} + \frac{\alpha_{\Gamma} \cdot \delta_{\text{Л}}}{\lambda_{\text{Л}}}} \cdot \frac{T_{\Gamma} - T_{\text{В}}}{T_{\Gamma} - T_{\text{ВХ}}}$$

где T_{Γ} – температура газа на входе в лопатку; $T_{\text{ВХ}}$ – температура воздуха на входе в лопатку; $T_{\text{В}}$ – местная температура воздуха; α_{Γ} – коэффициент теплоотдачи от газа к лопатке; $\alpha_{\text{В}}$ – коэффициент теплоотдачи от лопатки к воздуху;

Относительная глубина охлаждения Θ является многопараметрической функцией, зависящей от газодинамических, теплофизических и геометрических параметров [1]. Коэффициент теплоотдачи от газа к лопатке α_{Γ} определяется геометрией профиля и условиями его внешнего обтекания, а коэффициент теплоотдачи от лопатки к воздуху $\alpha_{\text{В}}$ зависит от расхода и теплофизических свойств воздуха, а также от геометрии каналов охлаждения и от способа интенсификации теплообмена.

Другими факторами, оказывающими влияние на относительную глубину охлаждения Θ , являются теплофизические свойства газа и охлаждающего воздуха. С понижением температуры воздуха уменьшается его теплопроводность и теплоемкость, что в целом приводит к убыванию величины глубины охлаждения, несмотря на снижение коэффициента динамической вязкости и соответствующее увеличение числа Re . Аналогичное явление уменьшения глубины охлаждения возникает при увеличении температуры газа.

Проведенный анализ показывает [2], что факторами, оказывающими влияние на выбор геометрии интенсификаторов теплообмена в зоне выходной кромки, являются: коэффициент формы k_F , характеризующий отношение полной поверхности теплообмена к поверхности гладкого канала (рис. 1); гидравлический диаметр канала; толщина стенок лопатки $\delta_{\text{Л}}$ (с ее уменьшением понижается значение комплекса $\alpha_{\Gamma} \cdot \delta_{\text{Л}} / \lambda_{\text{Л}}$, следствием чего является убывание температуры на внешней поверхности лопатки при постоянных значе-

ниях α_{Γ} и $\alpha_{\text{В}}$); число Рейнольдса Re , определяющее интенсивность теплообмена к воздуху; расход воздуха.

С целью интенсификации теплообмена в зоне выходных кромок охлаждаемых лопаток газовых турбин наибольшее распространение получили цилиндрические перемычки (штырьки), системы компланарных каналов (вихревые матрицы) и многорядные системы прерывистых наклонных ребер различной геометрической конфигурации (рис. 1).

Количество воздуха, предназначенной для охлаждения лопаток турбин, является нормативной величиной, задаваемой на этапе конструкторско-технологической обработки опытного изделия. Поэтому в процессе создания систем охлаждения высокотемпературных газовых турбин перспективных ГТД и ГТУ необходимо расширять диапазон регулирования пропускной способности каналов в случае использования различных систем турбулизации потока воздуха. Для обеспечения пропускной способности конструкции целесообразно увеличить конфузорность канала [3], т. е. изменить относительную площадь его проходного сечения и следующие геометрические характеристики всей системы охлаждения: число ребер турбулизаторов потока воздуха n , расстояние между ребрами δ , толщину ребра $\delta_{\text{р}}$, длину ребра l (рис. 2), шаг ребер t , зазор между ребром и торцевой стенкой Δ , угол наклона ребра β к направлению потока воздуха (рис. 3).

Анализ показал, что вышеперечисленные системы с цилиндрическими перемычками, вихревой матрицей, поперечными ребрами, а также их комбинации позволяют значительно расширить диапазон регулирования площади проходного сечения.

На основании вышеизложенного разработана методика оценки теплового состояния теплонапряженных деталей газовых турбин (рис. 4), которая позволяет проанализировать влияние геометрических параметров системы интенсификации теплообмена на ее тепловые характеристики [4].

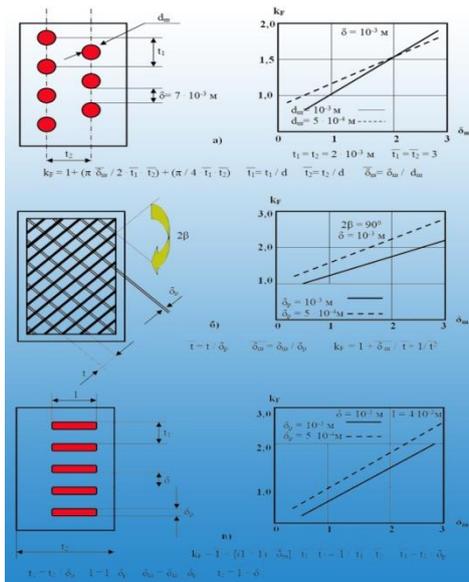


Рис. 1. Зависимость коэффициента формы k_F от толщины щели δ_w для трех типов обрешетки в зоне выходной кромки

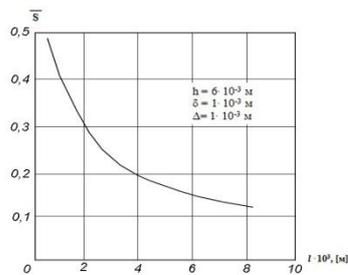


Рис. 2. Изменение относительной площади проходного сечения щелевого канала в зависимости от длины ребра

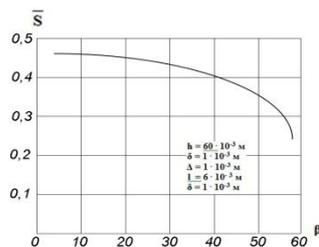


Рис. 3. Изменение относительной площади проходного сечения щелевого канала в зависимости от угла наклона ребер к направлению потока воздуха

С целью увеличения ресурса и надежности работы ГТД на основании результатов теоретического анализа проведена отработка конструкции сопловой лопатки турбины высокого давления (ТВД). Охлаждаемая сопловая лопатка ТВД в базовом исполнении представляет собой цельнолитую оболочку, на участке выходной кромки которой установлена в шахматном порядке

восьмирядная система штырьков. В модификации базового варианта лопатки проведена замена цилиндрических перемычек на «широкую» вихревую матрицу и два ряда наклонных перемычек. Предлагается использовать также систему охлаждения в виде трехсекционной вихревой матрицы и двух рядов наклонных перемычек [5]. Конструкция и геометрические характеристики базового, модифицированного и перспективного вариантов сопловой лопатки ТВД представлены на рис. 5.

На основании разработанной методики проведена оценка теплового состояния каналов со штырьками, вихревой матрицей, трехсекционной вихревой матрицей и наклонными перемычками с учетом влияния их геометрических характеристик. На заключительном этапе были построены зависимости изменения полной интенсификации теплообмена по высоте щелевого канала \bar{h}_K для базовой лопатки (со штырьками $\bar{\alpha}_{\Sigma_{III}}$), ее модификации (с матрицей $\bar{\alpha}_{\Sigma_M}$ и наклонными перемычками $\bar{\alpha}_{\Sigma_{II}}$) и перспективной конструкции (с трехсекционной матрицей $\bar{\alpha}_{\Sigma_{M3}}$ и двумя рядами наклонных перемычек $\bar{\alpha}_{\Sigma_{ПЗ}}$) (рис. 6).

Значения общих коэффициентов увеличения теплообмена возрастают с ростом высоты щелевого канала при фиксированных числах Re. Однако полная интенсификация теплообмена для лопатки с перспективной конструкцией системы охлаждения выше в 2,89 раза для области наклонных перемычек и в 2,25-2,38 раза для области трехсекционной вихревой матрицы по сравнению со штырьковым исполнением внутренней полости базового варианта, а по сравнению с модификацией базовой лопатки соответственно в 2,36 раз и 1,08...1,33 раза. Таким образом, предлагается к использованию перспективная система охлаждения для сопловых лопаток газовых турбин, которая позволяет повысить интенсификацию теплообмена, что приводит к увеличению температуры газа перед турбиной, повышению надежности и ресурса работы двигателя за счет снижения тепловой нагрузки деталей

1. Определение гидравлического диаметра:

$$d_h = \frac{4 \cdot b_c \cdot h_c}{2 \cdot (b_c + h_c)}$$

где h_c – высота щелевого канала;
 b_c – ширина каналов, для вихревой матрицы и системы перемычек
2. Определение относительной величины гидравлического диаметра:

$$\bar{d}_h = \frac{d_{h(m)}}{d_{h(m)}}$$
3. Определение площади «живого» сечения каналов:

$$F = h_c \cdot b_c \cdot n$$

где n – количество ребер в секциях вихревой матрицы и в рядах наклонных перемычек
4. Определение относительной величины площади «живого» сечения каналов:

$$\bar{F} = \frac{F_{(m)}}{F_m}$$
5. Определение шага перемычек:

$$t = b_c + b_p$$

где b_p – толщина ребер для вихревой матрицы и системы перемычек
6. Определение коэффициента формы с учетом оребрения для вихревой матрицы:

$$k_j = \frac{(t - b_p + 2 \cdot h_c + \frac{b_p \cdot (t - b_p)}{t})}{t}$$
7. Определение коэффициента формы с учетом оребрения для перемычек:

$$k_j = \frac{t - b_p + h_c}{t}$$
8. Определение относительной величины коэффициента формы:

$$\bar{k}_{j(n)} = \frac{k_{j(m)}}{k_{j(m)}}$$
9. Определение критерия Нуссельта:

$$Nu = k_j \cdot \frac{d_h}{\lambda_a}$$

где λ_a – коэффициент теплопроводности воздуха
10. Определение критерия Рейнольдса:

$$Re = \frac{G_a \cdot d_h}{F \cdot \mu_a}$$

где G_a – физический расход воздуха
 μ_a – коэффициент динамической вязкости воздуха
11. Определение критерия Нуссельта для гладкого канала:

$$Nu_0 = 0,02 Re^{0,8} \left(\frac{T_{cm}}{T_a} \right)^{-0,55}$$

где T_{cm} – температура стенки
 T_a – местная температура воздуха
12. Определение относительного критерия Нуссельта с учетом коэффициента формы:

$$\bar{Nu}_{kj} = \frac{Nu}{Nu_0} \cdot k_j$$
13. Определение коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{q_{(нор)}}{T_{cm} - T_a}$$

где $q_{(нор)}$ – тепловой поток на наружной поверхности спинки (корыта)
14. Определение относительной величины коэффициента теплоотдачи:

$$\bar{\alpha}_{0(2)} = \frac{\alpha_{0(m)}}{\alpha_{0m}}$$
15. Определение комплекса $\bar{\alpha} \cdot \bar{k}_j$
16. Определение суммарного коэффициента теплоотдачи:

$$\bar{\alpha}_{\Sigma(2)} = \bar{\alpha}_{0(2)} \cdot \bar{k}_{F(2)} \cdot \frac{\bar{Nu}_{M(n)}}{\bar{Nu}_{ш}}$$
17. Определение полного коэффициента теплоотдачи:

$$\bar{\alpha}_{\Sigma(н,м)} = k_{F(н,м)} \cdot \bar{Nu}_{M(н,м)} \cdot \left(\frac{h_{KM(н,м)} \cdot h}{F_{M(н,м)}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_{KM(н,м)}}{d_{ГM(н,м)}} \right)^{0,2}$$

Рис.4. Методика оценки теплового состояния лопатки газовой турбины с учетом влияния геометрических факторов турбулизаторов на теплогидравлические характеристики

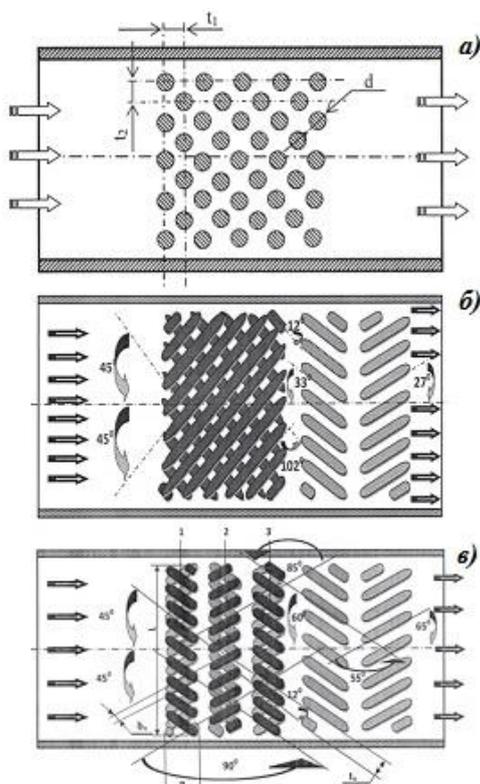


Рис.5. Конструкции базового (а), модифицированного (б) и перспективного (в) вариантов сопловой лопатки ТВД

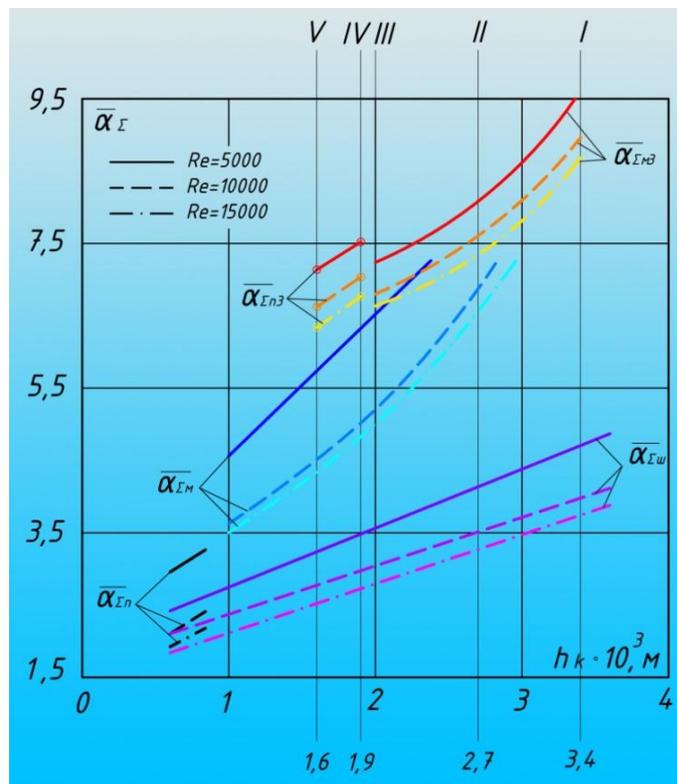


Рис. 6. Зависимости изменения полной интенсификации теплообмена по высоте щелевого канала

Список литературы

1. Викулин А.В., Ярославцев Н.Л., Земляная В.А. Исследование теплообмена в системах охлаждения теплонапряженных конструкций // *Теплоэнергетика*. № 1. 2017. – С. 39-44.
2. Попов В.Г., Викулин А.В., Чеснова В.А. Исследование гидравлического сопротивления целевого канала с прерывистыми перемычками в системах охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. т. 15, № 4(4). 2013. – С. 819-824.
3. Попов В. Г., Викулин А. В., Чеснова В. А., Маркелов М. С. Анализ возможности расширения диапазона регулирования пропускной способностью каналов сложной конфигурации теплонапряженных конструкций // *Авиационная промышленность*. № 2. 2013. – С. 25-28.
4. Чеснова В. А., Попов В. Г., Викулин А. В. Совершенствование конструкции охлаждаемых лопаток высокотемпературных газовых турбин с целью повышения надежности и ресурса работы современных авиационных ГТД и энергетических ГТУ // *Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А.Соловьева*. № 2(23). 2012. – С. 7-11.
5. Викулин А.В., Ярославцев Н.Л., Земляная В.А. Технология теплового проектирования и диагностики теплонапряженных деталей высокотемпературных газовых турбин ГТД и ГТУ. / *Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Московский технологический университет, Физико-технологический институт*. 2016. – С. 230-233.

УДК 629.7.454.2

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАНЕТ

Захаров Ю.В.¹, д. т. н., профессор
 Михайлов Д.Н.², заместитель генерального конструктора по испытаниям

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета, д.78, проспект Вернадского, Москва, 119454, Россия, тел.: +7(499) 215-65-65

²ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» д. 24, ул. Ленинградская, г. Химки, Московская область, 141400, Россия, тел.: +7(495) 573-56-75

© Автор для переписки: Захаров Ю.В. e-mail: jvzakharov@gmail.com

Работа посвящена технологии разработки биотехнической системы (БТС) космического назначения для научных исследований планет. В статье рассматриваются основные этапы полета ракетно-космической техники (РКТ) и мобильной робототехнической системы (РТС), состав БТС, РТС и проблемы разработки РТС.

Ключевые слова: этап полета; биотехническая система, ракетно-космическая техника; робототехническая система; планета; воздействующие факторы.

PECULIARITIES OF TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT OF BIOTECHNICAL SYSTEM FOR SCIENTIFIC RESEARCHES OF PLANETS

Zakharov Y. V.¹,
 Mikhaylov D.N.²

¹Institute of Physics and Technology of Moscow Technological University, 78 Vernadsky str., Moscow, 119454, Russia, tel.: +7(499) 215-65-65

²Lavochkin Association (Science and Production Association "NPO im. S.A. Lavochkina"), 24 Leningradskaya str., Khimki, Moscow Region, 141400, Russia, tel.: +7(495) 573-56-75

© Corresponding author: Y. V. Zakharov. e-mail: Rogov_AY@mgupi.ru

The work is devoted to the technology of developing a biotechnical system (BTS) for space applications for the research of planets. The article deals with the main stages of the flight of rocket and space technology (RKT) and the mo-

bile robotic technical system (RTS), the composition of the BTS, the RTS and the development problems of the RTS.

Keywords: mission phase; biotechnical system; the spacecrafts and rockets; robotic technical system; planet; acting factors.

Технология разработки биотехнической системы (БТС) является основной составной частью жизненного цикла комплекса ракетно-космической техники и автоматизированной биотехнической системы космического назначения для научных исследований планет.

Биотехническая система космического назначения включает в себя коллектив операторов наземного центра управления, ретрансляторы, мобильную робототехническую систему (автоматизированную или с экипажем и системой жизнеобеспечения), функционирующую на поверхности планеты.

Основные научные задачи БТС: топография, геология, география, метеорологические исследования, химический состав и структура грунта, геохимия и др.

Автоматизированная мобильная робототехническая система для научных исследований планет включает в себя: систему передвижения-шасси (СП); бортовой комплекс управления (БКУ); телеметрическую систему (ТС); систему электроснабжения (СЭС); систему терморегулирования (СТР); систему навигации (СН); систему технического зрения (СТЗ); манипулятор; комплекс научной аппаратуры (КНА).

При транспортировке БТС на поверхность планеты с помощью ракетно-космической техники проходит следующие основные этапы: активный полет с работающими двигательными установками (ДУ) в атмосфере Земли; околоземный полет при движении по орбитам искусственных спутников Земли; перелет на другую планету; вход в атмосферу планеты; парашютирование; посадка и функционирование на поверхности планеты.

На этапах полета на автоматизированную мобильную робототехническую систему действуют естественные и искусственные факторы и нагрузки: вибрационные и акустические нагрузки, линейные

перегрузки, естественные и искусственные радиационные пояса Земли, галактические и солнечные космические лучи, тепловое излучение Солнца, метеориты, космический вакуум, электромагнитное излучение, невесомость, космический мусор, аэродинамические факторы.

Естественные факторы включают в себя: климатические, биологические, определяемые электромагнитными полями, радиационные, факторы космического пространства (ФКП).

Искусственные факторы включают в себя механические, термические и специальные среды.

На орбиты высотой $800 \div 1\,000$ км приходится максимум количественной плотности объектов искусственного происхождения, то есть они являются самыми засоренными и характеризуются наиболее высокими вероятностями столкновений. По оценкам различных источников можно утверждать, что практически каждый год можно ожидать столкновения таких объектов с мелкими частицами размером до 3 мм и с более крупными частицами космического мусора с размером 5 мм.

Анализ условий функционирования космического аппарата с робототехнической системой показывает, что количество внешних факторов и нагрузок, действующих на различных этапах эксплуатации, очень велико.

Для обеспечения требуемой надежности необходимы теоретические и экспериментальные исследования комбинированного воздействия факторов космического пространства (ФКП) и нагрузок на системы РТС на этапах функционирования при экспериментальной отработке объектов РКТ.

Воспроизведение всей гаммы факторов и действующих нагрузок на испытательных стендах и комплексах представляет сложную техническую задачу, поэтому для большинства объектов РКТ и РТС предусматривают комплексные проверки на этапах летных испытаний по завершению наземной экспериментальной отработки объектов РКТ. Однако РТС для исследования планет представляют собой уникальный объект, как правило, не имеют этапа летных испытаний и, следовательно, для под-

тверждения надежности функционирования необходимо уделить особое внимание разработке испытательных стендов, позволяющих на этапе наземной экспериментальной отработки моделировать комбинированные воздействия факторов как космического пространства, так и существующих на исследуемых планетах.

Необходимость проведения экспериментальных исследований на этапе наземной экспериментальной отработки (НЭО) РТС требует создания новых стендов, которые позволят моделировать динамические процессы подсистем при посадке и функционировании на поверхности планеты.

Основными факторами, определяющими возможность использования планетоходов, являются физические, климатические условия на поверхности планеты, а также строение, рельеф и физико-механические свойства грунта. Опыт разработки планетоходов показывает, что для их создания необходимо комплексное решение взаимосвязанных проблем механики, управления и экспериментальной отработки. Можно выделить относительно малоисследованные с теоретической и практической точек зрения проблемы разработки планетоходов с элементами искусственного интеллекта:

1. Разработка и классификация математических моделей окружающей среды, грунта и требований к их функциональным возможностям.

2. Систематизация и математическое описание режимов движения и операций в неопределенной среде. Обоснование и выбор рациональных компоновок шасси и рабочих органов на основе компромисса между функциональными, прочностными, жесткостными, динамическими и энергетическими характеристиками с учетом допустимой сложности системы управления.

3. Разработка принципов и алгоритмов локационного, силомоментного и тактильного «очувствления» планетоходов. Разработка алгоритмов ориентации по совокупности данных сенсоров ближнего действия, включая аппроксимацию границ препятствий и классификацию ситуаций.

4. Построение алгоритмов декомпози-

ции и динамической компенсации, позволяющих приблизить поведение планетохода как управляемой механической системы (с учетом обратных связей) к аппроксимационной модели. Обучение на пробных движениях для достижения достаточной степени адекватности приближения. Разработка новых алгоритмов управления приводами шасси, позволяющих получить гарантированное количество процессов в условиях априорной неопределенности математического описания окружающей среды и динамики планетохода.

5. Разработка принципов и алгоритмов интеллектуального управления в условиях неопределенности на основе концепции многоуровневого иерархического управления.

6. Подготовка коллектива операторов для эксплуатации мобильной робототехнической системы на поверхности планеты.

7. Моделирование виртуальных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации планетохода, с целью выбора оптимальных способов маневрирования.

8. Обеспечение надежности, качества, безопасности, живучести БТС при наземных исследованиях.

9. Комплексные испытания подсистем РТС и биотехнической системы при моделировании планетных условий.

10. Экстраполяция экспериментальных данных к эксплуатации БТС на планете.

Проблема разработки мобильной робототехнической системы с элементами искусственного интеллекта и биотехнической системы является комплексной и требует согласованного синтеза подсистем и алгоритмов управления на всех стадиях разработки.

Список литературы

1. *Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки объектов ракетно-космической техники / А.Г. Галеев, Ю.В. Захаров и др. – М.: Изд-во МАИ, 2014. – 328 с.*
2. *Галеев А.Г., Захаров Ю.В., Михайлов Д.Н. и др. Этапы полета, факторы и нагрузки, действующие на ракетно-космическую технику при научных исследованиях планет. Международный научный журнал «Альтернатив-*

ная энергетика и экология», 2016 №9-10, с.46-57.

3. Баженов В.И., Осин М.И., Захаров Ю.В. Моделирование основных характеристик и процессов функционирования космических ап-

паратив. М.: Машиностроение, 1985, 240 с.

4. Планетоходы/А.Л. Кемурджиан и др., Под. ред. А.Л. Кемурджиана.- М.: Машиностроение, 1993.-400 с.

УДК 538.95, 532.783

АКУСТИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПОРИСТЫХ ПЛЕНОК, ЗАПОЛНЕННЫХ ЖИДКИМ КРИСТАЛЛОМ

Пасечник С.В.^{1,2}, д.ф.-м.н., профессор
Шмелева Д.В.², к.ф.-м.н., доцент
Максимочкин Г.И.², д.ф.-м.н., с.н.с.
Филиппов В.К.¹, студент

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²Проблемная лаборатория Московского технологического университета

© Автор для переписки: Шмелева Д.В. e-mail: shmeliova@mail.ru

Работа посвящена экспериментальному исследованию температурных зависимостей акустических и оптических характеристик пористых полимерных пленок, заполненных жидким кристаллом (ЖК), перспективных для практических приложений в фотонике и ТГц технике [1,2]. Установлены эффекты изменения времени акустической релаксации и времени флуктуаций директора ЖК при температурах, соответствующих фазовым переходам в ЖК, размещенных в порах пленки. Полученные результаты представляют интерес в связи с разработкой акустически управляемых ЖК устройств фотоники.

Ключевые слова: пористые пленки, жидкие кристаллы, время акустической релаксации, время флуктуаций директора, фазовые переходы, фотоника, ТГц техника

ACOUSTIC AND OPTICAL PROPERTIES OF POLYMER POROUS FILMS FILLED WITH A LIQUID CRYSTAL

Pasechnik S.V.¹,
Shmeliova D.V.²,

Maksimochkin G.I.²,
Filippov V.K.¹

¹Physico-Technological Institute of Moscow Technological University

²The problem laboratory of the Moscow Technological University

© Corresponding author e-mail: Shmeliova D.V. shmeliova@mail.ru

The work is devoted to an experimental study of the temperature dependences of the acoustic and optical characteristics of porous polymer films filled with a liquid crystal, perspective for practical applications in photonics and THz technique [1,2]. The effects of a change in the acoustic relaxation time and the time of fluctuations of the LC director at temperatures corresponding to phase transitions in LC, filled in the pores of the film, are established. The obtained results are of interest in connection with the development of acoustically controlled LC devices for photonics.

Key word: porous films, liquid crystals, acoustic relaxation time, director fluctuations time, phase transitions, photonics, THz technique

Объекты исследования – одинарные и многослойные (до 128 слоев) пленки (рис. 1а), полиэтилентерефталата (ПЕТ) толщиной 23 мкм, с цилиндрическими порами диаметром 0.1-5.0 мкм, заполненные жидким кристаллом (5СВ, 8СВ).

Акустическое исследование проводили методом длинных когерентных импульсов с использованием раздельно совмещенного электроакустического преобразователя (рис. 1б, в) с использованием автоподстройки размерных резонансных состояний в системе линия задержки (ЛЗ) – образец, при которых в образце поддерживается режим стоячих ультразвуковых волн.

Эксперименты проводились при медленном охлаждении со скоростью порядка 0.6 К/час, достаточном для определения, на основе акустических и оптических данных,

времени (τ_a) акустической релаксации и времени (τ) флуктуаций директора в ЖК в порах полимерных пленок при фазовом переходе из изотропной (I) фазы в нематическую (N) фазу. Кроме функций акустического контроля, в режиме стоячей волны могут проявляться эффекты смещения дисперсных элементов, например зародышей нематической фазы или микродисперсных фаз иной природы в области пучностей колебаний, с образованием периодических структур как это показано на рис 1г.

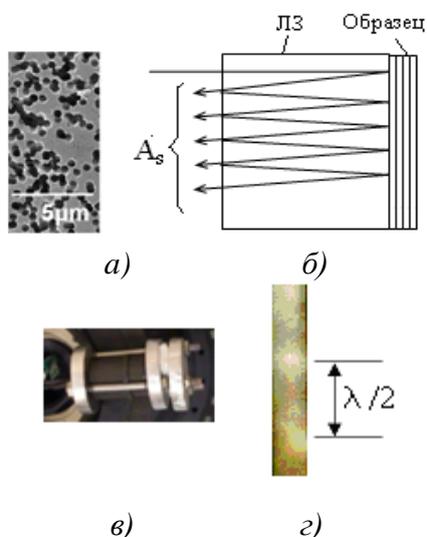


Рис.1. Микрофотография пористой пленки PET (а); геометрия акустического эксперимента (б); внешний вид акустической ячейки с исследуемым образцом (в); пример смещения частиц крахмала в воде в поле стоячей ультразвуковой волны (г).

Экспериментально определены в системе 5СВ-РЕТ температурные зависимости коэффициента поглощения ультразвука (α) в диапазоне частот (f) 0.3...4.0 МГц и температур (T) 307.6...309 К. Типичная частотная зависимость (α), для $T=307.6$ К, показана на рис. 2а, наряду с кривой, соответствующей процессу с одним временем релаксации:

$$\alpha / f^2 = \frac{A}{1 - (f / f_c)^2} + B \quad (1)$$

где A , B и $f_c = 1/(2\pi\tau_c)$ эмпирические параметры модели, τ_c - время акустической релаксации, которое может отражать, например, релаксацию параметра порядка ЖК

в порах пленки. Обнаружено увеличение τ_c в области фазового перехода нематик-изотропная жидкость (I-N), сопровождающееся уменьшением релаксационной силы A (рис. 2б).

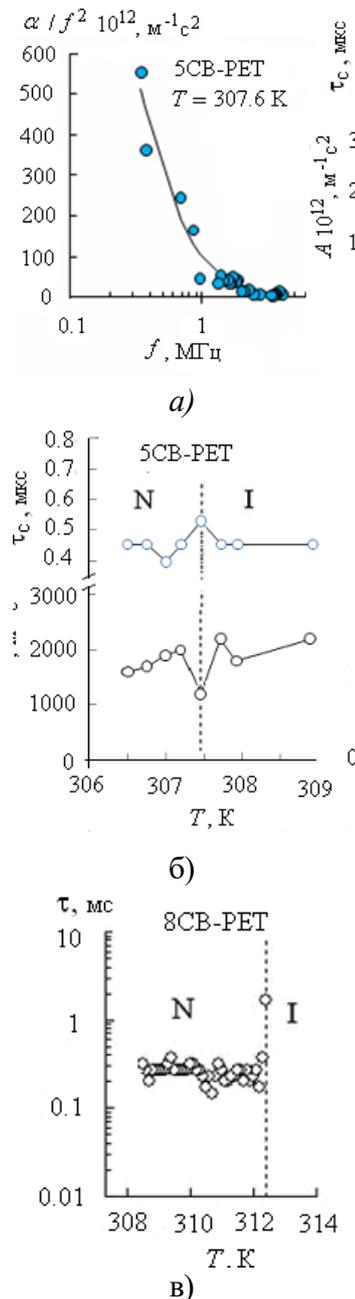


Рис. 2. Характерные экспериментальные результаты: частотная зависимость α / f^2 в 5СВ-РЕТ (а); температурные зависимости акустических параметров τ_c и A в модели с одним временем релаксации (сплошная линия на рис. 2а, (б); температурная зависимость времени τ флуктуаций директора в 8СВ-РЕТ по данным динамического рассеяния света (в).

Ранее такое поведение наблюдалось в объемных образцах ЖК, однако температура, соответствующая указанным особенностям, на 0.5 К меньше температуры T_{LN} объемного образца ЖК, что можно объяснить эффектом пространственного ограничения, проявляющимся и при измерениях времени флуктуаций ориентации директора методом динамического рассеяния (рис. 2в).

Работа выполнена в рамках базовой части Госзадания Минобрнауки РФ № 3.9585.2017/БЧ на выполнение проекта по теме «Механооптические и акустооптические исследования композиционных ЖК сред».

Список литературы

1. Pasechnik S, Shmeliova D, Chopik A, Semerenko D., Charlamov S., Dubtsov A. *Electrically controlled porous polymer films filled with liquid crystals: new possibilities for photonics and THz applications // Proc. Intern. Conf. Days on Diffraction 2016 pp. 314 – 318.*
4. 2. Chopik A. Pasechnik S., Semerenko D., Shmeliova D., Dubtsov A., Srivastava AK, Chigrinov V. *Electro-optical effects in porous PET films filled with liquid crystal: New possibilities for fiber optics and THz applications // Opt Lett. 2014; Vol. 39(6), pp. 1453-1456. .*

УДК 620.179.14

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СТАЛЕЙ

Филинов В.В., д.т.н., профессор;
Кунин Н.Т., студент-магистр

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@ Автор для переписки: Кунин Н.Т. e-mail:
kuninnt@gmail.com

Рассмотрены перспективы использования метода контроля напряженного состояния изделий из высокопрочных сталей, основанного на регистрации сигналов магнитных шумов перемагничивания. Приводятся результаты усовершенствования информационно-измерительной системы для контроля физико-механических свойств изделий в машиностроительной, авиационной и нефте-газовой промышленности.

Ключевые слова: магнитные шумы перемагничивания, эффект Баркгаузена, информационно-измерительная система для контроля механических напряжений, остаточные напряжения в сталях, неразрушающий контроль.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION INFORMATION-MEASURING SYSTEM IN TECHNOLOGIES OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF FERROMAGNETIC STEEL PRODUCTS

Filinov V.V.;
Kunin N.T.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@ Corresponding author: Kunin N.T. e-mail:
kuninnt@gmail.com

Prospects for using the method for controlling the stress state of articles made of high-strength steels based on the recording of magnetic reversal magnetic reversal signals are considered. The results of the improvement of the information-measuring system for monitoring the physical and mechanical properties of products in the engineering, aviation and oil-gas industries are given.

Key words: magnetic reversal magnetism, Barkhausen effect, information-measuring system for controlling mechanical stresses, residual stresses in steels, non-destructive testing.

Создание и освоение ресурсосберегающих технологий с улучшением качества продукции определяют устойчивый инте-

рес к проблеме управления остаточными напряжениями (ОН), значительно влияющими на физико-механические характеристики сталей, обеспечивающих технологические и эксплуатационные свойства металлоизделий.

Одной из ключевых задач является обеспечение неразрушающего контроля (НК) уровня напряженного состояния как на этапе разработки и исследования технологии, так и в процессе производства и эксплуатации таких изделий.

Магнитные свойства сталей исследуются для разработки эффективных методов контроля и диагностики их физико-механических характеристик, во многом определяющих надежность, сроки эксплуатации и остаточный ресурс работы ответственных узлов, деталей, изделий в различных отраслях промышленности.

Наиболее целесообразное решение этой задачи связано с развитием новых методов НК, таких как метод эффекта Баркгаузена (магнитных шумов (МШ)), разработкой и внедрением в производство которого авторы занимаются продолжительное время.

За указанный период разработаны:

- теоретические основы инженерного расчета сигналов МШ, учитывающих влияние микро- и макронапряжений на формирование их энергетических и эмиссионных характеристик [1];

- принципы построения алгоритмов и средств НК, учитывающих особенности информативных параметров МШ и позволяющих повысить достоверность и чувствительность контроля микро- и макронапряжений [1, 5];

- приборы и их модификации типа «АФС», «ПИОН» [1, 2], «МІР» [1, 3], информационно-измерительные системы «СМАК» [3, 4], «МШ-1» [3, 4], «МШ-3» [7];

- основные принципы построения методик и средств неразрушающего контроля напряжений в металлоизделиях успешно используемых в:

- технологии производства и в эксплуатации торсионных валов системы подрессоривания гусеничных машин, работающих в условиях циклического и повторно-статического нагружения [1, 5, 6];

- технологии производства подшипников ответственного назначения при оценке склонности к овализации подшипниковых колец, вызванной остаточными напряжениями [1, 6];

- технологии производства артиллерийских боеприпасов при оценке технологических ОН и прогнозировании зон изделий, склонных к разрушению [1, 5, 6];

- технологии оценки ОН и усталостных повреждений при циклическом характере нагружения узлов авиационной техники в эксплуатации и ремонте [1, 6];

- технологии диагностики напряженного состояния трубопроводов, оценки механических напряжений и прочностных свойств их металлов в нефти-газовой промышленности [1, 8].

Энергетические и эмиссионные характеристики МШ определяются перестройкой магнитной текстуры ферромагнетика скачками Баркгаузена доменных границ при его циклическом перемагничивании [1]. Из энергетических характеристик сигналов МШ обычно регистрируют значение среднеквадратического напряжения $U_{\text{МШ}}$ за полупериод перемагничивания $T_n/2$ или за интервал стробирования длительностью τ . Из эмиссионных характеристик сигналов МШ – количество импульсов МШ $N_{\text{МШ}}$, амплитуда которых превышает заданный порог дискриминации, за полупериод перемагничивания или за интервал стробирования τ . Изменяя положение интервала стробирования τ на полупериоде перемагничивания $T_n/2$ (восходящей или нисходящей ветви петли гистерезиса ферромагнетика) регистрируют распределение текущих характеристик сигналов МШ по полю перемагничивания $H - U(H)$ и $N(H)$ [1]. Анализ последних позволяет перейти к построению алгоритмов и методик контроля с большей чувствительностью к контролируемому параметру. Это требует разработки новых технических и программных решений для обработки сигналов МШ.

Для контроля механических напряжений на плоскости был разработан магнитошумовой прибор МШ-3М (рис. 1) с 3-х координатным сканером-приставкой (рис. 2)

[5, 7], управляемые с персонального компьютера. Главной составляющей магнитошумового прибора МШ-3М является цифровой сигнальный процессор ric32MZ2048ECH100 с встроенным АЦП, необходимым для обработки сигналов МШ. К основным задачам процессора относятся первичная инициализация переменных, настройка АЦП и ЦАП, настройка нитрфейсов UART и I2C для общения с интерфейсным модулем и материнской платой.



Рис. 1. Внешний вид прибора МШ-3М



Рис. 2. Общий вид сканера

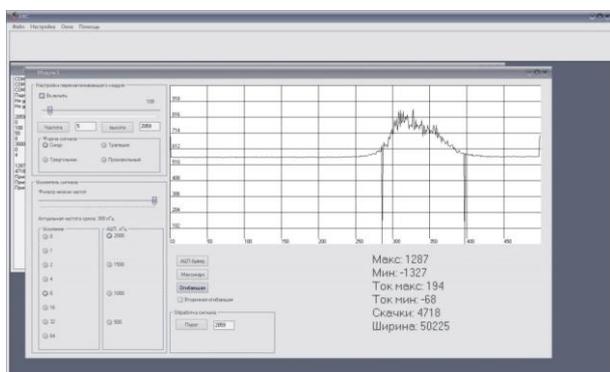


Рис. 3. Главное окно программы для ПК

Для работы с ПК была написана программа (рис. 3), обеспечивающая захват и отображение регистрируемой измерительным блоком информации, для последую-

щего сохранения и обработки в таких программах, как MatLab 2009.

3-х координатный сканер (рис. 2), согласно заданной пользователем программе движения, перемещает каретку сканера с первичным преобразователем в декартовой системе координат по поверхности контролируемого изделия, где в заданных координатах обеспечивается контроль плосконапряженного состояния изделия с последующей передачей обработанных результатов на ПК. Собранные и обработанные данные сохраняются на твердом носителе. По окончании контроля выбранной области создается карта с указанием областей повышенной напряженности.

Прибор МШ-3М и сканер обеспечили возможность сканировать поверхность трубопровода с заданным шагом и одновременно менять направление перемагничивания относительно осей главных механических напряжений.

В информационно-измерительной системе МШ-3М реализованы режимы измерения:

А) параметров петли гистерезиса, контролируемого изделия:

- Коэрцитивная сила H_C – как значение тока I_C в катушке перемагничивания в момент равенства напряжения на ней нулевому значению;

- Остаточная индукция B_S – как значение напряжения U_R на катушке перемагничивания в момент равенства тока катушки $I_I=0$;

- Индукция насыщения B_R – как значение напряжения U_N на катушке перемагничивания.

Б) энергетических параметров МШ: значение средневыпрямленного напряжения МШ $e(t)$ за один период T_{Π} или n циклов перемагничивания:

$$E_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{\Pi}} \int_0^{T_{\Pi}} e(t) dt; \quad (1)$$

значение текущего средневыпрямленного напряжения МШ $e(t)$ в интервале стробирования τ за один или n циклов перемагничивания:

$$E(t_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau} \int_{t_j - \frac{\tau}{2}}^{t_j + \frac{\tau}{2}} e(t) dt. \quad (2)$$

В результате усовершенствования магнито-шумовых систем повысилась чувствительность к контролю приложенных механических напряжений и достоверность оценки макронапряжений с отстройкой от влияния микронапряжений, а также появилась возможность учитывать влияние флуктуаций структурно-фазового состояния металла при оценке механических напряжений. Использование информационно-измерительной системы МШ-3М расширяет возможности магнитных методов исследования физико-механических свойств металлов из ферромагнитных материалов за счет усреднения магнитных параметров в поверхностных и глубинных слоях. Программное обеспечение МШ-3М позволяет также совместить использование для исследовательских целей параметров магнитных шумов и петли гистерезиса ферромагнетика, например B_S , B_R , H_C . Существенно расширяют возможности МШ-3М применение сканирующего устройства при исследовании плосконапряженного состояния изделия.

Список литературы

1. Филинов В.В. Методы и приборы контроля механических напряжений на основе использования магнитно-акустических шумов. – М.: Машиностроение, 2001, 154 с.
2. Филинов В.В., Соколик А.И., Шатерников В.Е., Штин А.А. Магнитный структуроскоп, основанный на эффекте Баркгаузена / Дефектоскопия, №12, 1985, с. 21 – 25.
3. Филинов В.В., Филинова А.В. Модернизация магнитошумового прибора, предназначенного для контроля механических напряжений / Приборы №11, 2010, с. 33-39.
4. Филинов В.В., Аракелов П.Г., Дидин Г.А. Информационная система для магнитошумового контроля механических напряжений / Приборы №11, 2010, с. 32-36.
5. Филинов В.В., Аракелов П.Г. Разработка новых информативных параметров при контроле напряженного состояния ферромагнитных материалов на основе регистрации магнитных шумов перемагничивания / Контроль. Диагностика. №5, 2013, с.28-31.
6. Филинов В.В., Шатерников В.Е., Аракелов П.Г. Контроль технологических напряжений методом магнитных шумов / Дефектоскопия, №12, 2014, с.58-71.
7. Филинов В.В., Аракелов П.Г., Третьяк Е.В., Головченко Д.А. Универсальная информационно измерительная система для исследования магнитных свойств ферромагнитных сталей / Российский технологический журнал ТОМ 4 № 5 (14), 2016 с.38-45.
8. Филинов В.В., Аракелов П.Г., Кузнецов А.Н., Аракелов П.Г. Контроль напряженного состояния трубопроводов по магнитным параметрам металла / Дефектоскопия, №1, 2017 с.41-50.

УДК 621.891.22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, НАПЛАВЛЕННЫХ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ

Бирюков В.П.¹, к.т.н., доцент
 Татаркин Д.Ю.², начальник сектора
 Хриптович Е.В.² инженер

Фишков А.А.¹ научный сотрудник

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, 101990, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью Научно-техническое объединение «ИРЭ - Полюс», г. Фрязино, Московской области, 141190, Россия

© Автор для переписки: Бирюков В.П. e-mail:laser-52@yandex.ru

В работе представлены результаты металлографических исследований и лабораторных испытаний на абразивное изнашивание порошковых покрытий на никелевой основе. Показано, что прочность сцепления на сдвиг составляет 400 – 480 МПа, износостойкость покрытий выше, чем стали 40X в нормализованном и улучшенном состоянии в 10 и 4,6 раза соответственно.

Ключевые слова: лазерная наплавка, микротвердость, износостойкость

DEFINITION OF WEAR RESISTANCE AND ADHESION OF COATINGS, DEPOSITED WITH A LASER BEAM

Biryukov V. P.¹;
Tatarkin D. Yu.²;
Hreptovich E. V.²;
Fishkov A. A.¹

¹ Federal budget-funded research Institute for machine science named after A. A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 101990, Russia

² limited liability company Scientific-technical Association "IRE - Polus", Fryazino, Moscow region 141190, Russia

© Corresponding author e-mail: e-mail: laser-52@yandex.ru

The paper presents the results of metallographic researches and laboratory tests of abrasive wear of powder coatings on a Nickel basis. It is shown that the adhesion strength shear is 400 – 480 MPa, the wear resistance of the coatings is higher than 40X steel in the normalized and improved in 10 and 4.6 times, respectively.

Key words: laser cladding, microhardness, wear resistance

Для экспериментов использовали универсальное оборудование ООО НТО «ИРЭ-Полус» содержащее волоконный лазер ЛС – 5, робот КУКА, оптическую головку фирмы PRECITEC, технологический стол. В качестве наплавочных материалов были выбраны порошки на никелевой основе фирмы Хёгенас, Швеция и ОАО «ПОЛЕМА», г. Тула. Размер частиц порошка составлял 40 – 150 мкм. Мощ-

ность излучения варьировалась в пределах 1800 – 4800 Вт. Скорость перемещения оптической головки составляла 0,5 – 2 м/с в поперечном направлении и 1-15 мм/с, в продольном направлении. Лазерную наплавку предварительно насыпанного порошка с толщиной слоя 3 – 10 мм производили на стальные плиты с размерами 140 x 140 x 20 мм. Образцы вырезали электроискровым методом размерами 15 x 50 x 20 мм.

Металлографические исследования выполняли на микротвердомере ПМТ-3, металлографическом микроскопе Альтами МЕТ-1С. Испытание на абразивное изнашивание проводили на машине трения БХ-4 по модернизированной в ИМАШ РАН схеме Бриннеля – Хаворта [1].

Испытания образцов на прочность сцепления покрытия с основой проводились на машине фирмы «Инстрон» модель 1115 в соответствии с РМ250-87 «Определение прочности сцепления газотермического покрытия с основным металлом. Методические рекомендации», доработанными нами с учетом специфики лазерной наплавки [2].

Отличие данной методики испытаний в том, что плоский образец из исследуемого материала, с наплавленным на него покрытием с твердостью HRC 38 – 42, симметрично с двух сторон механически обрабатывался до ширины наплавленного слоя в направлении сжатия равной 2 мм. Затем образец устанавливался в приспособлении и продавливался через матрицу. При этом под действием касательных напряжений происходил сдвиг наплавленного слоя. Прочность сцепления наплавленного слоя с основой соответствует напряжению сдвига.

Образец изготавливали из исследуемого основного металла в виде пластины толщиной 10 мм, шириной и длиной 25 мм. Высота наплавленного слоя составляла 1,5 - 3 мм. В результате проведенных испытаний получены значения прочности сцепления покрытий в пределах 400 - 480 МПа в зависимости от режима обработки. Для сравнения прочность сцепления покрытий при высокоскоростном напылении не превышает 80 МПа.

Для отработки технологических режимов применяли порошок фирмы Хёгенас (заявленная твердость HRC 58) с различной толщиной насыпанного слоя 3,5 - 10 мм. Получены наплавленные слои толщиной 3 - 9 мм и шириной 20 - 80 мм за один проход руки робота. На рис. 1 представлен микрошлиф единичной наплавленной дорожки. При варьировании мощностью излучения, скоростью перемещения и диаметром лазерного луча на поверхности порошка выявлены закономерности изменения микротвердости в наплавленном слое.

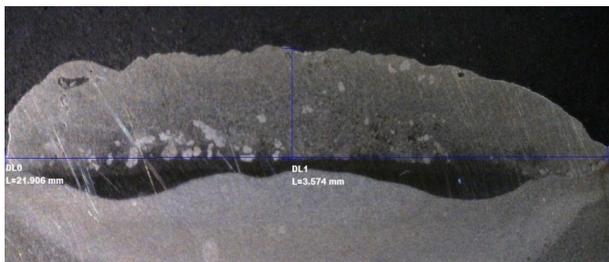


Рис. 1. Микрошлиф наплавленной единичной дорожки за один проход, $\times 7$

При изменении режимов наплавки микротвердость в наплавленном слое изменяется в широких пределах 6120 – 12000 МПа. При высокой плотности энергии лазерного луча часть легирующих элементов и углерода выгорает и микротвердость в наплавленном слое понижается, появляются дефекты в виде пор. При низких значениях плотности энергии лазерного излучения происходит не полное сплавление порошкового материала и снижается микротвердость.

При испытаниях на абразивное изнашивание по схеме Бринелля-Хаворта к вращающемуся резиновому диску прижимался плоский образец с наплавленным покрытием. В зону трения подавался кварцевый песок с размером частиц 200 – 600 мкм. Продолжительность испытаний составляла 10 минут. По результатам испытаний трех образцов определялась средняя величина потери массы наплавленного покрытия на каждом режиме обработки. На рис.2 представлена зависимость абразивного износа от твердости наплавленного слоя и образца стали 40Х. Из приведенных

данных следует, что наплавленные слои с твердостью HRC 58 – 61 (порошки фирмы Хёгенас-1 и ОАО «ПОЛЕМА» -2) по износостойкости в 10 раз выше, чем нормализованная сталь 40Х (HB180) и в 4,6 раза выше, чем улучшенная сталь 40Х (HB 250 – 270).

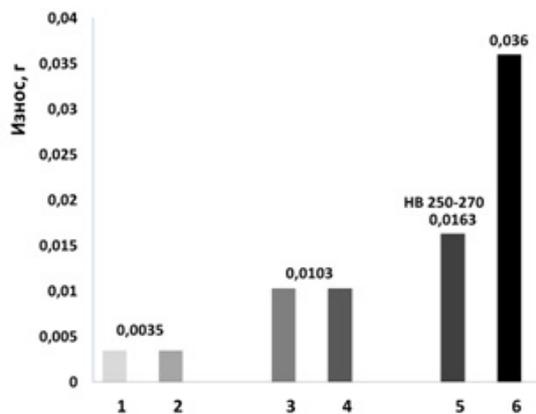


Рис. 2. Зависимость абразивного износа от твердости наплавленного слоя порошковыми материалами и образца стали 40Х: 1 – Хёгенас, HRC 58 – 61; 2 - ОАО «ПОЛЕМА», HRC 58 – 61; 3 – Хёгенас, HRC 38 – 42; 4 - ОАО «ПОЛЕМА», HRC 38 – 42; 5 - сталь 40Х, HB250-270; 6 – сталь 40Х, HB 180

Выводы:

1. Разработана технология лазерной наплавки порошковых материалов на основе никеля с шириной наплавленного слоя 20 – 80 мм и высотой валика 3 – 9 мм за один проход руки робота.

2. Проведенные испытания на абразивное изнашивание по схеме Бринелля-Хаворта показали повышение износостойкости наплавленных покрытий в 10 раз по сравнению с нормализованной сталью 40Х.

3. Прочность сцепления покрытия порошком на основе никеля с твердостью HRC 38 – 42, используемого в качестве подслоя составила 400 – 480 МПа.

Список литературы

1. Хрущов М.М., Бабичев М.М. Абразивное изнашивание. М.: Наука. 1970. 256 с.
2. Бирюков В.П. Определение механических и трибологических свойств деталей машин при лазерной наплавке / Труды ГОСНИТИ. Т. 117, 2014. С. 196-200.

УДК 621.891.22

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА РАЗМЕРЫ НАПЛАВЛЕННЫХ ВАЛИКОВ

Бирюков В.П., к.т.н., доцент
Фишков А.А. научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, 101990, Россия

© Автор для переписки: Бирюков В.П. e-mail: laser-52@yandex.ru

В работе рассмотрен процесс лазерной наплавки порошка ФБХ6-2 с добавками нано порошка оксида меди на образцы из стали 20. При проведении полного факторного эксперимента построены поверхности определяющие зависимость ширины и высоты наплавленных валиков от режимов обработки. Отклонение расчетных значений геометрических параметров наплавленных слоев от экспериментальных значений не превышает 3%.

Ключевые слова: лазерная наплавка, микротвердость, геометрические параметры валиков

INFLUENCE OF THE MODES OF LASER TREATMENT ON THE SIZE OF THE WELD ROLLERS

Biryukov V. P. ;
Fishkov A. A.

Federal budget-funded research Institute for machine science named after A. A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 101990, Russia

© Corresponding author e-mail: laser-52@yandex.ru

The paper discusses the process of laser powder surfacing ФБХ6-2 with additives nano copper oxide powder on samples of steel 20. When conducting a full factorial experiment, the surfaces defining the dependence of the width and height of weld rollers from the processing modes. The deviation of the calculated values of the geometric parameters of deposited layers from the experimental values does not exceed 3%.

Key words: laser cladding, hardness, geometrical parameters of rollers

В экспериментах использовалась лазер-

ная установка «Комета - М»[1]. Для наплавки выбран порошок на основе железа ФБХ6-2. Образцы изготавливали из стали 20 с размерами 15 x 20 x 80 мм. Присадочный порошковый материал наносился на образцы в виде обмазки в состоянии поставки и с добавлением порошка нано оксида меди 3 – 9% [2]. Толщина слоя составляла 0,9-1,0 мм. Испытания на задиростойкость проводили на машине трения МТУ-01.

В качестве варьируемых факторов при планировании экспериментов [3] были выбраны мощность излучения W, Вт, скорость обработки V, мм/с, и диаметр пучка d, мм. Отклики эксперимента высота валика H, мм, ширина B, мм и глубина ЗТВ Z, мм. В качестве дополнительного дискретного фактора рассматривалось сканирование луча с частотой f=220 Гц. Наплавка производилась при максимальных и минимальных уровнях факторов, которые обозначены соответственно z+ и z-. По результатам предварительных экспериментов выбирались верхний и нижний уровни факторов, при которых визуально отмечалось устойчивое формирование наплавленных слоев.

С целью учета дискретного фактора сканирования эксперименты производились в две серии – со сканированием и без него. Уровни факторов, значения центра плана z₀ и диапазона варьирования λ, а также зависимости кодированных переменных от натуральных приведены в табл. 1

Таблица 1

Уровни факторов эксперимента

Фактор	z+	z-	z ₀	λ	Зависимость
W, Вт	1000	700	850	150	$x_i = (W - 850) / 150$
V, мм/с	9	5	7	2	$x_i = 0,5(V - 7)$
d, мм	3	2	2,5	0,5	$x_i = (d - 2,5) / 0,5$
f, Гц	220	0	–	–	–

Согласно рекомендациям [3] в качестве математической модели принят алгебраический линейным полином вида:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_k x_k + b_{1,2} x_1 x_2 \dots + b_{(k-1,k)} x_{(k-1)} x_k \quad (1)$$

где x_i – уровни факторов эксперимента,
 b_i – линейные коэффициенты регрессии.

Получены результирующие математические модели вида:

$$H, B, Z = f(W, V, d, f) \quad (2)$$

Приготовление образцов производилось на оборудовании «Полилаб». Измерения геометрии наплавленных валиков выполнялось на микроскопе Альтами МЕТ 1С. Замеры производились в трех точках (три реза) с целью исключения случайной погрешности.

Полученные математические модели были проверены на адекватность по критериям Стьюдента и Фишера.

Анализ полученных уравнений показывает что, зависимость между мощностью излучения и высотой валика прямая, между скоростью и высотой – обратная. С увеличением мощности излучения без сканирования высота валика растет быстрее, чем со сканированием, что объясняется большей площадью распределения тепловой энергии лазера при высокочастотном колебании луча. Ширина валика находится в прямо пропорциональной зависимости от мощности излучения, и обратной от скорости его перемещения. Диаметр пучка без сканирования оказывает минимальное влияние на ширину валика. Сканирование приводит к росту ширины с одновременным уменьшением высоты валика и повышает производительность наплавки в 1,3-1,9 раза.

Анализ уравнений для глубины ЗТВ показывает, что наибольшее влияние на глубину ЗТВ оказывает мощность излучения W . Увеличение скорости V приводит к уменьшению глубины ЗТВ, что объясняется меньшей мгновенной энергией, поглощенной наплавленным материалом в единицу времени.

Построены сравнительные поверхности определяющие зависимость между откликами и факторами эксперимента для функций B и $B_{\text{скан}} = f(W, V)$ при $d=2$ мм и представлены на рис.1 а и б соответственно.

Согласно полученным данным характер линейной зависимости, полученной при расчетах тот же, что и для экспериментальных значений, однако расчетная

функция растет несколько быстрее. Максимальное отклонение расчетных данных от экспериментальных значений составило 3%.

Наплавленный слой, толщиной 0,8 мм имеет высокую твердость порядка 762-806 HV, под ним располагается ЗТВ с твердостью 540-720 HV, толщина этого слоя 0,8 мм, ниже следуют зоны троостита и сорбита. Основной металл – сорбитообразный перлит и феррит, твердость 190 - 210 HV. Наличие зоны оплавления основы на глубину 50 – 100 мкм, свидетельствует о высокой прочности сцепления между покрытием и основным металлом. Введение в состав шихты нано порошка оксида меди при оптимальном процентном содержании приводит к повышению задиристости покрытия в 1,5 – 2 раза при ступенчатом изменении скорости скольжения 0,2 – 1,2 м/с и нагрузки в пределах 0,5 – 4 МПа.

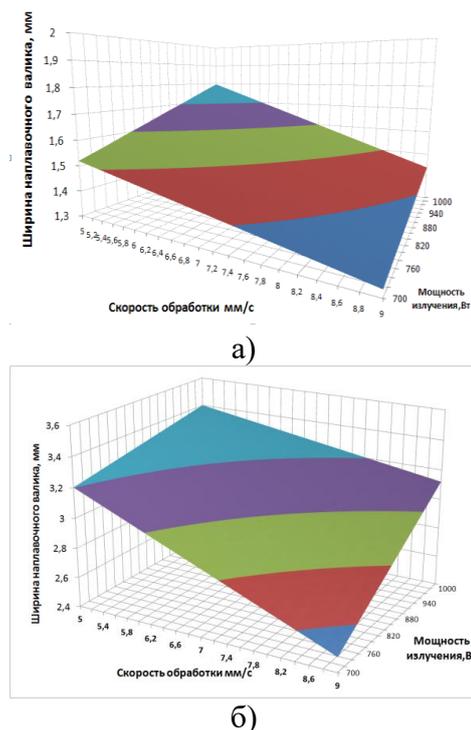


Рисунок 1. Зависимость ширины валика от мощности излучения и скорости обработки: а) –наплавка расфокусированным лучом; б) –наплавка сканирующим лучом

Выводы. На основании экспериментальных данных получены уравнения регрессии и построены математические модели влияния мощности излучения, скорости обработки, диаметра пучка на геометриче-

ские параметры наплавленных слоев. Расчетные значения параметров наплавленных слоев отличаются от экспериментальных значений на 3%.

Установлено, что при высокочастотном сканировании луча производительность процесса наплавки в 1,3 – 1,9 раза выше, чем без сканирования луча. Введение nano порошка оксида меди в состав шихты на основе порошка ФБХ6-2 повышает задиростойкость наплавленных покрытий в 1,5-2 раза.

Список литературы

1. Бирюков В.П., Дозоров А.В. Лазерные системы для упрочнения, наплавки деталей и точного раскроя листового материала / Проблемы машиностроения и надежности машин. № 1, 2006. - С. 60-66.
2. Бирюков В.П. Состав шихты для илликерных покрытий / Патент на изобретение №2607278, МПК С23С 4/06. – 2017.
3. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М: Наука. 1980. 226 с.

УДК 621.891

ТРИБОЛОГИЯ КОНТАКТА ПОЛИМЕРМАТРИЧНОГО КОМПОЗИТА С ЖЁСТКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Данилов В.Д.¹, к.т.н., с.н.с.
Олифинов Л.К.², инженер

¹Институт машиноведения им.
А.А.Благонравова РАН, Москва, 101990 Россия

²Научно-исследовательский технологический
университет МИСиС, Москва, 119049 Россия

© Автор для переписки: Данилов В.Д. e-mail:
danilovvd@mail.ru

Исследованы трибологические и механические свойства новых полимерных композиционных материалов с наноструктурными нанонаполнителями для применения в экстремальных условиях функционирования.

Ключевые слова: полимерматричные композиты, наноструктурные наполнители, полипропилен, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, трибологические и механические свойства.

TRIBOLOGY OF POLYMER MATRIX COMPOSITE CONTACT WITH SOLID SURFACE

Danilov V.D.¹,
Olifirov L.K.²

¹Blagonravov Institute of Machines Science of Russian Academy of Sciences, Malyy Kharitonievskiy per. 4, Moscow, 101990 Russia

²State Technological University Moscow Institute of Steel and Alloys Leninskioe pr. 4, Moscow, 119049 Russia

The investigations of tribological and mechanical properties of novel polymercomposites materials with nanostructured filling agents for extreme service conditions are represented.

Key words: polymercomposites, nanostructured filling, polypropylene, super-high-molecular polyethylene, tribological and mechanical properties.

Современное развитие техники не возможно без прогресса в области разработки новых полимерматричных композитов (ПК), без которых не может обойтись ни одна промышленная область. ПК широко используются в качестве конструкционных и триботехнических материалов, заменяя традиционные черные металлы и цветные сплавы. Им отводится важная роль в снижении материалоёмкости машин и механизмов, в повышении их надежности и долговечности.

Невысокая стоимость и коммерческая доступность термопластичных полимеров и ультрадисперсных порошковых наполнителей, возможность использования традиционных технологий и оборудования для получения ПК обеспечивают высокую эффективность и экономичность их производства и внедрение этих материалов в машиностроение [1].

Объектом настоящих исследований являются двухкомпонентные системы фторпласт Ф-4МБ/полиимид ПИ с широким диапазоном концентраций. Результаты механических испытаний на сжатие представлены на рис.1. Можно видеть, что с увеличением содержания ПИ в интервале 0-50 масс. доля, % предел текучести материала возрастает с 13 до 22 МПа, и далее, при содержании ПИ более 50 масс. доля, %, снижается с 22 до 17 МПа (рис. 1, а). Последнее связано с ослаблением структуры и возникновением внутренних дефектов структуры композита, как следствие контактирования частиц ПИ в материале.

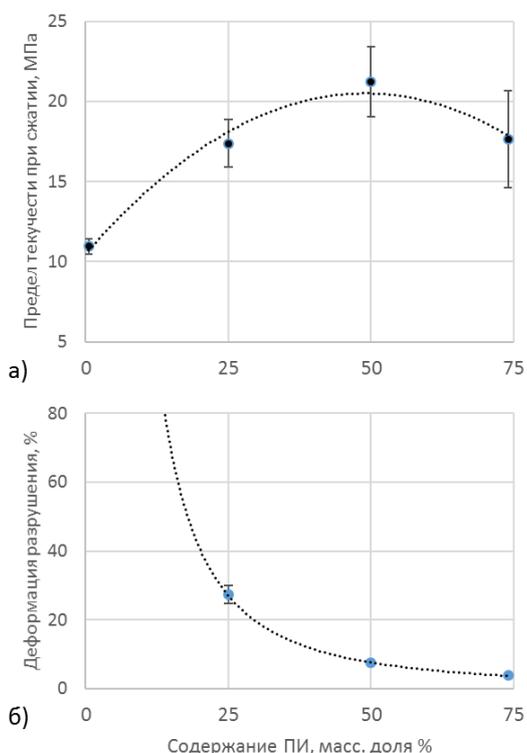


Рис 1 – Результаты механических испытаний на сжатие композиций Ф4МБ/ПИ: прочность на сжатие (а), деформация разрушения (б)

Более заметным является изменение характера пластичности композиции Ф4МБ/ПИ (рис. 1, б). Ненаполненный фторпласт является вязким материалом и поэтому при сжатии расплющивается, не достигая разрушения при установленном экспериментом интервале деформации сжатия. С введением ПИ пластичность материала Ф4МБ/ПИ снижается, что особенно прояв-

ляется при содержании ПИ выше 25 масс. доля, %. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что при разработке антифрикционных композиций не использовать высокие степени наполнения, поскольку в этом случае в значительной степени утрачиваются демпфирующие характеристики матрицы Ф-4МБ.

Результаты испытаний на трение и износ (нормальная нагрузка 20 Н, скорость скольжения – 2,62 м/с цилиндра относительно плоского образца) композиционных материалов на основе Ф4МБ приведены на рисунке 2.

Исследования двухкомпонентной системы Ф4МБ/ПИ в диапазоне концентраций от 0 до 75 масс. доля, % ПИ показало, что действие одиночной добавки ПИ на трение практически нейтрально (составы № 2-4). Износ материала снижается в 2 раза при наполнении 50 масс. доля, % ПИ и более. Также, с увеличением содержания ПИ отмечается рост твердости и упругого модуля, но, вместе с тем, высокие степени наполнения ПИ приводят к охрупчиванию материала. Поэтому для сохранения пластичности и ударостойкости фторопласта было решено исследовать подробнее область наполнения от 0 до 25 масс. доля, %, где тестировались многокомпонентные композиции, содержащие полиимид (ПИ), технический углерод (ТУ) и квазикристаллы (КК) Al-Cu-Fe (составы № 6, 7). ПИ выступал в качестве полимерного микроразмерного наполнителя, ТУ и КК_{Al-Cu-Fe} выступали в качестве наноразмерных добавок. Каждый из этих типов наполнителей имеет свои преимущества и недостатки. Например, введение наноразмерных наполнителей позволяет значительно повысить износостойкость композитов при малых степенях наполнения (1-2 масс. доля, %). Вместе с тем, наночастицы могут быть малоэффективны в случае, если величина средней шероховатости ответной детали превышает размер наночастиц. В то же время, микроразмерные добавки могут действовать эффективнее наноразмерных частиц в условиях повышенных деформаций.

Микроразмерный ПИ обладает способностью самосмазыванию, а также высокой термической и химической стабильностью. Наноразмерный ТУ обладает высокой по-

верхностной активностью, что способствует усилению взаимодействия между компонентами и улучшению антифрикционных характеристик композита. Проведённые испытания показали, что трение и износ систем Ф-4МБ/ПИ/ТУ и Ф-4МБ/ТУ оказываются сравнимыми, хотя твёрдость и упругий модуль для трёхкомпонентной композиции повысились. Квазикристаллические (КК) порошки $Al_{65}Cu_{23}Fe_{12}$, сочетая в себе высокую твёрдость и низкий коэффициент трения, являются перспективными наполнителями для создания новых антифрикционных полимерматричных композитов. Однако, исследования двухкомпонентной системы Ф-4МБ/КК $_{Al-Cu-Fe}$ (состав № 5) показали слабую эффективность одиночной добавки КК $_{Al-Cu-Fe}$ по снижению износа, что может быть обусловлено низкой поверхностной активностью КК $_{Al-Cu-Fe}$.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод, что оптимальное соотношение компонентов у образца Ф-4МБ/ПИ/ТУ/КК $_{Al-Cu-Fe}$: его износостойкость повысилась практически на два порядка при сохранении низкого коэффициента трения.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-

технологического комплекса России на 2014—2020 гг" Проект RFMEFI57815X0108.

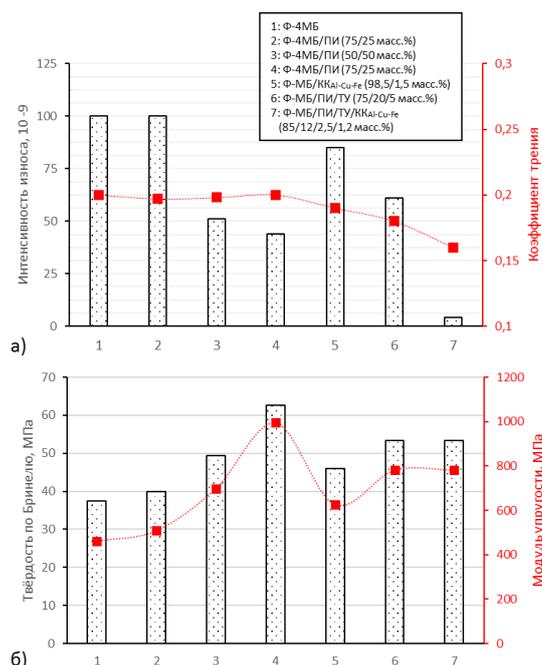


Рис. 2 – Результаты трибологических испытаний композиций на основе Ф-4МБ/ПИ: интенсивность износа и потери на трение (а), твёрдость и модуль упругости (б)

Список литературы

1. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы С.-П.: «Профессия», 2006, с.624.

УДК 621.1

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ Г. МОСКВЫ

Замятин А. В., к.т.н., доцент;
Гордеева Г.В., старший преподаватель

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Замятин А.В. e-mail: anton1tin@rambler.ru

Рассмотрены особенности эксплуатации и мониторинга трубопроводов магистральных тепловых сетей г. Москвы. Приведены структуры тепловых сетей, особенности применяемых и внедряемых материалов трубопроводов, а также методы их контроля. Рассмотрены комплексная методика контроля трубопроводов на "источнике" тепловой сети, а также разработанная и внедренная система оперативно дистанционного контроля СОДК на магистральных сетях теплоснабжающей компании.

Ключевые слова: магистральные тепловые сети, дефекты трубопроводов, тепловая аэрозьемка, акустическая эмиссия, магнитная дефектоскопия.

COMPLEX METHOD OF MONITORING THE CONDITION OF THE PIPELINES OF THERMAL NETWORKS OF

MOSCOW

Zamjatin A. V.
Gordeeva G. V.

Moscow technological university. Physico-
technological institute

© Corresponding author e-mail:: an-
ton1tin@rambler.ru

Features of operation and monitoring of pipelines of the main heating networks of Moscow are reviewed. The structures of heat networks, the features of the materials used and introduced, and the methods for their control are given. The complex methodology of pipelines monitoring at the "source" of the heat network, as well as the developed and implemented system of operatively remote control of the PODC on the main networks of the heat supply company are considered.

Key words: main heat networks, pipeline defects, thermal aerial survey, acoustic emission, magnetic flaw detection.

Магистральные тепловые сети (далее МТС) являются составной частью системы централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения (ГВС) и предназначены для транспортирования и распределения потребляемой тепловой.

В целом, тепловая сеть - это система покрытых теплоизоляцией трубопроводов централизованного теплоснабжения, по которым теплота переносится теплоносителем от источника к потребителям (рисунок 1). В трубопроводах постоянно поддерживается давление, обеспечивающее избежание выкипания теплоносителя: так, при температуре теплоносителя 150°C поддерживается давление около 0,5 МПа.

Существует несколько разновидностей тепловых сетей в зависимости от их назначения:

- магистральные - от источника теплоты до предприятий и населенных мест;
- распределительные - от магистральных тепловых сетей до ответвлений к зданиям;
- ответвления - трубопроводы к отдельным зданиям (до обреза фундамента или стены здания).

Тепловая сеть, основанная на централизованной схеме снабжения, по своей структуре подразделяется на два уровня:

магистральную и квартальную (микрорайонную). Первая состоит из элементов, соединяющих источники тепла с местными (районными) пунктами его распределения среди конечных потребителей.

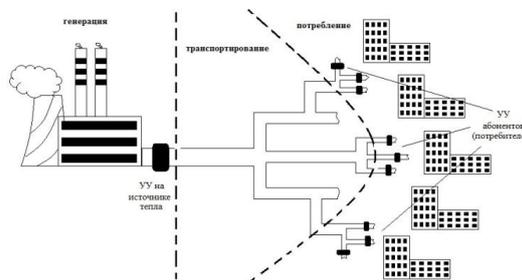


Рис. 1 - Упрощенная схема распределения тепловой сети в городе

Ежегодно специалистами генерирующей компании ПАО "Мосэнерго" и теплоснабжающей компании ПАО "МОЭК" проводятся выборочные проверки технического состояния трубопроводов на наличие или отсутствие в них видимых или скрытых дефектов: трещин, полостей, коррозии и т.п. Результаты анализов возникающих инцидентов остро поставили вопрос о необходимости разработки и внедрения корректировок методик контроля, учитывающего особенности тепловой сети.

Согласно разработанной программе контроля проводится комплекс работ по обследованию ряда участков сетевых трубопроводов с применением следующих видов диагностирования: визуальный осмотр трубопровода; ультразвуковая толщинометрия; комплексное сканирование системой Wavemaker G3; комплексное сканирование системой акустикоэмиссионного метода; стилоскопирование участков трубопроводов.

Примененная система Wavemaker G3 предназначена для быстрого контроля длинных трубы диаметром от 50 до 1800 мм в трудных для доступа с помощью других приборов местах. При работе системы WAVEMAKER используются кольца с преобразователями для передачи УЗ волн, направленных в обе стороны вдоль трубы, на расстояние до 100 метров в одном направлении.

Далее, за пределами территории обслуживания и контроля тепловой сети на "ис-

точнике" мониторинг состояния трубопроводов ведется транспортирующей тепло-снабжающей компанией ПАО "МОЭК". В последнее время всё большее распространение в городской тепловой сети получили трубопроводы с пенополиуретановой изоляцией (или сокращенно - с ППУ-изоляцией). Изначальный предполагаемый положительный эффект от внедрения труб ППУ заключался в снижение количества аварийных остановов, однако, первые результаты были омрачены сохранением динамики аварийности. Исследования, проведенные по результатам аварий на тепловой сети показали, что методы мониторинга, применяемые для трубопроводов старого образца, не обеспечивает достаточного контроля тепловых сетей, так как проводится только в период ремонтных работ. В связи с этим была налицо необходимость разработки нового метода контроля, учитывающего именно условия эксплуатации без вывода участков тепловой сети в ремонт:

- значительные значения давления и особенно температуры теплоносителя, протекающего по магистральной тепловой сети (МТС);

- подземное залегание МТС и их труднодоступность;

- малые сроки, отводимые на ремонтные работы и работы по обслуживанию.

- масштабность разброса МТС по городу;

Среди причин аварийных ситуаций лидирующее место занимают дефекты самих трубопроводов, такие как повреждение изоляции, разрывы, трещины, коррозия, свищи. Эти дефекты обусловлены влиянием внешних факторов: коррозия, свищи, трещины, разрывы, наросты и т.п. Таким образом, структурные измерения трубопроводов являются причиной возникновения некоторых дефектов. С целью обнаружения этих изменений и уже проявившихся дефектов на стальных трубопроводах проводился мониторинг, включающий в себя:

- тепловую аэросъемку
- акустическую эмиссию
- магнитную дефектоскопию

Температурная аномалия может быть найдена путем решения стационарного уравнения теплопроводности Фурье. При наличии в теплотрассе прямой и обратной труб следует ожидать только один температурный максимум, т. е. в температурном поле поверхности эти трубы не разделяются. Анализ влияния утечки горячей воды на температуру поверхности показывает, что намокание изоляции должно приводить к значительному повышению (на 1,5...2 °С) аномалии температуры поверхности, которое может быть надежно зарегистрировано. При появлении утечки горячей воды на глубине 1 м температурная аномалия на поверхности достигает половины ее возможного максимального значения через 6 дней и 0,9 максимального значения - через 20 дней. Поэтому тепловая аэросъемка может обнаруживать утечки из теплотрасс, «возраст» которых составляет от нескольких дней до двух-трех недель и более в зависимости от глубины залегания труб. Съемка должна выполняться в условиях отсутствия прямой солнечной засветки (в пасмурную погоду или в ночное время суток) не ранее чем через 10 дней после выхода системы теплоснабжения на номинальный режим при отсутствии снежного покрова (или на 2 - 3 суток после выпадения осадков с толщиной снежного покрова не более 5 см). Оптимальная высота полета 350 - 400 м (при использовании тепловизора «Малахит»).

Ещё одним методом является акустическая эмиссия. Метод основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и разрушения (роста трещин) контролируемых объектов. Он позволяет формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект. Другим источником акустической эмиссии является истечение рабочего тела (жидкости или газа) через сквозные отверстия. Метод АЭ может быть использован при изготовлении объектов, в процессе приемочных испытаний, при периодических технических обследованиях, в процессе эксплуатации в целях обнаружения, определения координат

нат и слежения (мониторинга) за источниками АЭ, связанными с несплошностями на поверхности или в объеме стенки объекта контроля, сварного соединения и изготовленных частей и компонентов. Все индикации должны быть при наличии технической возможности оценены другими методами НК. АЭ-метод может быть использован также для оценки скорости развития дефекта в целях заблаговременного прекращения испытаний и предотвращения разрушения изделия.

Давление теплоносителя необходимо повысить не менее, чем на 10 % от эксплуатационного значения и затем в течение 10 мин произвести запись сигналов. При одном подъеме давления можно продиагностировать около 1000 м трубопровода.

В условиях действующих тепловых сетей метод имеет ограниченную область применения и не дает однозначных результатов, его эффективность можно условно оценить, как среднюю.

Ключевым же методом исследования трубопроводов является всем известная магнитная дефектоскопия. Магнитный контроль используется для обнаружения дефектов в объектах с самыми различными размерами и формами. При контроле данным методом применяют стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы. Подробное описание самого метода магнитного контроля изложено в диссертационной работе, сейчас же отмечу, что главным его недостатком для систем теплоснабжения является необходимость останова магистрали, вызывающего прекращение теплоснабжения. Также этот метод непригоден для современных типов трубопроводов.

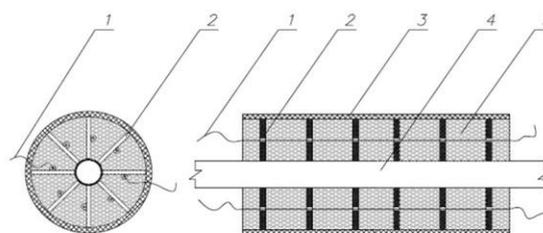
Именно из-за перечисленных недостатков описанных выше методов мониторинга МТС был разработан новый метод контроля, в итоге сформировавшийся в единую систему оперативно-диспетчерского контроля. Эта система позволяет контролировать состояние трубопровода, оперативно сигнализировать о появившейся неисправности и точно указать место любого дефекта. Наличие системы ОДК значительно экономит денежные средства и сокращает

время, затрачиваемое на обслуживание трубопровода.

Положительный эффект системы ОДК проявляется в снижении эксплуатационных затрат и определении мест повреждений без нарушения режима работы тепловой сети.

Возможности системы ОДК позволяют: проверить качество монтажных работ, осуществлять эксплуатацию трубопровода, обнаруживаемые дефекты, повреждение металлической трубы, повреждение полиэтиленовой оболочки, обрыв сигнальных проводников, замыкание сигнальных проводников на металлическую трубу, плохое соединение сигнальных проводов на стыках.

На рисунке 2 представлен принцип действия СОДК, которая, представляет собой специальный комплекс приборов и вспомогательного оборудования, с помощью которого осуществляется контроль состояния трубопровода. Исключение какого-либо элемента из состава системы нарушает ее целостность и нормативную функциональность.



*Рис. 2 - Принцип действия СОДК:
1 – сигнальный проводник, 2 – опорный центратор, 3 – полиэтиленовая оболочка, 4 – металлическая труба, 5 – пенополиуретановая изоляция*

Все трубопроводы и фасонные изделия (тройники, отводы, задвижки, неподвижные опоры, компенсаторы) должны быть оснащены сигнальными проводниками. С помощью сигнальных проводов (по ним передается сигнал — ток или высокочастотный импульс) определяется состояние трубопровода. Сигнальные проводники фиксируются в пластмассовых держателях проводов либо в центраторах полиэтилен-

новой оболочки, которые, в свою очередь, прикреплены к металлической трубе.

Монтируемые провода абсолютно одинаковые, однако по назначению подразделяются на основной и транзитный провода.

Основной провод — это сигнальный проводник, заходящий при монтаже тепло-трассы во все ее ответвления. Этот провод является главным для определения состояния трубопровода, так как повторяет его контур.

Транзитный провод — это сигнальный проводник, который не заходит ни в одно ответвление тепло-трассы, а проходит по кратчайшему пути между начальной и конечной точкой трубопровода и в основном служит для образования сигнальной петли.

Детекторы повреждений предназначены для контроля состояния трубопроводов в ППУ - изоляции. Детектор не является измерительным прибором — это своеобразный сигнализатор текущего состояния трубопровода.

Прибор позволяет определить наличие следующих дефектов: намокание изоляции; обрыв сигнальных проводов; замыкание сигнального провода с металлической трубой.

Детектор измеряет электрическое сопротивление слоя ППУ - изоляции (Rиз.) между установленными на заводе медными проводами и стальной трубой. В случае если значение сопротивления станет ниже порогового сопротивления, то детектором выдается сигнал неисправности — загорается светодиод желтого цвета рядом с надписью "намокание".

Пороговое сопротивление устанавливается изготовителем при сборке прибора и должно находиться в пределах от 1 кОм до 5 кОм. Выбор указанного диапазона, в котором должно находиться пороговое сопротивление, объясняется тем, что при данных значениях сопротивления изоляции, в трубе однозначно существует дефект, который легко можно локализовать.

Одновременно с измерением электрического сопротивления изоляции детектор измеряет сопротивление медных проводников (Rпр.). В случае обрыва сигнальной петли проводников или плохого контакта в местах их соединения (спайки) детектором

выдается сигнал неисправности (при $R_{пр.} > 200 \text{ Ом}$) — загорается светодиод красного цвета рядом с надписью "обрыв".

Одновременно с появлением какого-либо дефекта ("обрыв" или "намокание") детектор выдает звуковой сигнал о повреждении трубопровода. Сигнал предусмотрен для каждого канала отдельно и его можно отключить одним нажатием на соответствующую кнопку. Только многоуровневые детекторы имеют общее управление звуковой индикацией.

В случае, когда на трубопроводе идентифицируемые детектором повреждения отсутствуют, прибор выдает световой сигнал зеленого цвета рядом с надписью "норма".

Для оценки работоспособности системы ОДК проверяется целостность сигнальных проводников и измеряется сопротивление ППУ-изоляции, которое далее сравнивается с эталонным значением.

После укладки труб в траншею и сварки металлического трубопровода необходимо произвести соединение сигнальных проводников на каждом стыке. Перед соединением проводников необходимо обязательно на каждом стыке производить проверку работоспособности системы контроля — измерять сопротивление изоляции и сопротивления сигнальных проводников.

Оценка работоспособности производится путем сравнения измеренных значений сопротивления изоляции и сопротивления сигнальных проводников с нормативными значениями.

Сопротивление изоляции, смонтированной СОДК, не должно быть менее 1 МОм. Это должно соблюдаться при длине трубопровода равной 300 метрам.

Список литературы

1. СП 41-105 2002 "Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с промышленной теплоизоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке"
2. Рыжкин В.Я. (посмертно с участием В.Я. Гирифельда, С.В. Цанева, И.Н. Тамбиевой, Л.А. Рихтера, Е.И. Гаврилова и др.) Тепловые электрические станции: Учебник для тепло-энерг. спец. вузов. — М.-Л.: Энергия, 1987 г.
3. СП 36.13330.2012 Магистральные трубо-

проводы. Актуализированная редакция СНиП
2.05.06-85*

4. Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов

О.И. и др. *Неразрушающие методы контроля
сварных соединений* — М.: "Машинострое-
ние", 1976 г.

УДК 675.92.027.62

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ВТУЛОК МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Лившиц В.Б.¹, к.т.н., доцент
Кушнир А.П.², к.т.н., доцент
Мамедова И.Ю.¹, к.т.н., зав. кафед-
рой

¹Физико-технологический институт Москов-
ского технологического университета;

²Институт информационных технологий Мо-
сковского технологического университета

® Автор для переписки: Кушнир А.П. e-mail:
gurinmura@yandex.ru

Работа посвящена исследованию влияния низкого давле-
ния на гидроплотность, механические свойства, износо-
стойкость при эксплуатационных испытаниях и струк-
туру отливок из медных сплавов. Приведены результаты
экспериментальных исследований.

Ключевые слова: литье, медный сплав, герметичность,
давление, микроструктура, кристаллизация, износо-
стойкость

FEATURES OF MANUFACTURING OF ANTIFRICTION BUSHINGS BY CASTING UNDER LOW PRESSURE

Livshits V.B.¹
Kushnir A.P.²
Mamedova I.U.¹

¹Moscow technological university. Physico-
technological institute;

²Moscow technological university. Institute of in-
formation technology

® Corresponding author e-mail:
gurinmura@yahoo.com

The work is devoted to study of the influence of low pressure
on leakage, mechanical properties, wear resistance during
field tests and the structure of castings made of copper alloys.
The results of experimental studies.

Key words: casting, copper alloy, tightness, pressure, micro-
structure, crystallization, abrasion resistance

Целью настоящей работы было исследо-
вание влияния низкого давления на гид-
роплотность, механические свойства, изно-
состойкость при эксплуатационных ис-
пытаниях и структуру отливок из медных
сплавов.

Экспериментальная часть. Исследо-
вались сплавы на медной основе: латунь
ЛК80-3, бронзы БрОЦС 6-6-3, Бр ОС 10-10
и Бр ОЦС 5-5-5. Указанные сплавы вы-
плавляли в индукционной печи с графито-
вым тиглем. При плавке латуни ЛК80-3 в
качестве защитного покрова использовали
древесный уголь. Для придания шлаку сы-
пучести добавляли криолит 0,1% по массе.
Раскисление проводили фосфористой ме-
дью. Сплав нагревали до 1000...1050°C и
перед разливкой вводили цинк и олово.
Затем сплавы нагревали до 1150°C, рафи-
нировали хлористым марганцем и разли-
вали в формы при 1200°C. Эксперименты
проводились на установке литья под низ-
ким давлением, позволяющей проводить
литье деталей при значениях низкого дав-
ления до 1,2 бар [1...4].

В сухой песчаной форме, кокиле и ме-
таллической форме, установленной на ма-
шине литья под низким давлением при из-
готовлении той же отливки, сплав залива-
ли в кокиль, нагретым до 150...200°C. В
тигле литейной установки избыточное ра-
бочее давление составляло 1,2 бар. По-
средством контролирующих и регули-

рующих систем установки получали постоянные условия для исследований температуры металла, температуры форм и скорости литья. Были проведены исследования механических свойств отливок, изготовленных в металлической и в песчаной формах, а также эксплуатационные испытания на гидроплотность и износостойкость.

Изготовленные образцы подвергали гидростатическому взвешиванию. Измерения гидроплотности проводили на отливках, и образцах, вырезанных из втулки диаметром 70 мм, которую разрезали на образцы для механических испытаний и определения гидроплотности. Макро- и микроструктуру исследовали металлографическим микроанализом. В ряде случаев для определения величины зерна сложнолегированных бронз испытания проводились на отлитых прутках. С целью оценки эксплуатационных свойств проводились сравнительные испытания втулок на износ.

Обсуждение полученных результатов.

Технологический процесс литья под низким давлением способствует повышению плотности отливок из сплавов с широким интервалом кристаллизации путем улучшения междендритного и внутридендритного питания, как результат действия избыточного давления [8]. Применение водоохлаждаемых металлических форм стимулировало формирование мелкокристаллической структуры и повышение плотности отливок по причине сужения твердожидкой зоны в затвердевающей отливке. Особенно это относится к оловянной бронзе, обладающей очень широким интервалом кристаллизации. Неоднородная двухфазная структура оловянной бронзы является антифрикционной и обеспечивает небольшой коэффициент трения. Установлено, что при литье в тонкостенный водоохлаждаемый кокиль отливки из высокооловянной бронзы обладают мелкозернистой структурой, а из низкооловянной бронзы — столбчатой структурой.

Механические свойства отливок из бронзы ОЦС6-6-3, изготовленных литьем под низким давлением, значительно превосходят требования ГОСТ по механическим свойствам при других способах литья. Сравнивая показатели временного со-

противление при разрыве (σ_b) при разных методах литья, видно, что его показатель намного выше, чем у других специальных методов литья. Если σ_b у отливок литья в песчаные формы равно 21 кг/мм^2 , литья в кокиль — 25 кг/мм^2 , методом центробежного литья 26 кг/мм^2 , то σ_b отливок, залитых литьем под низким давлением, составляет 29 кг/мм^2 . Это означает, что масса деталей, полученных литьем под низким давлением, может быть уменьшена при сохранении их прочности.

Сравнительные испытания втулок на износ показали практически одинаковые коэффициенты трения скольжения материала отливок, полученных в песчаной форме и литьем под низким давлением в металлической водоохлаждаемой форме. Было отмечено, что износ примерно также одинаковый, с небольшим увеличением для отливок, изготовленных в металлической форме, причем с увеличением нагрузки разница в износе уменьшается до минимальных значений.

Исследуемая микроструктура сплава Бр.ОС10-10 показала, что свинец находится в очень мелкодисперсной форме и равномерно распределен в сплаве, чем и объясняются хорошие антифрикционные свойства. Мелкодисперсная форма свинца объясняется большой скоростью охлаждения, обеспечивающей получение мелкозернистой структуры данного сплава.

Эксплуатационные испытания бронзовых втулок из сплава БрОЦС 5-5-5 показали увеличение срока службы в среднем на 11% по сравнению с втулками, отлитыми в песчаные формы. Отливки из бронзы Бр.ОС10-10, залитые в песчаные формы, показали следующие свойства: временное сопротивление при разрыве σ_b — 12 МПа, пластичность — 9%, твердость — 40 НВ, против σ_b — 17 МПа, пластичность — 8%, твердость — 47 НВ, залитых в металлическую форму. При эксплуатации в производственных условиях втулки, изготовленные литьем под низким давлением, показали стойкость, в 1,5 раза большую, по сравнению с показателями втулок, отлитых в песчаные формы. Испытания в цеховых и лабораторных условиях литых прутков из сурьянофосфористой бронзы

Бр.СуФ 6-1 показали сильное измельчение зерна в отливках, изготовленных литьём под низким давлением в разъемном водоохлаждаемом кокиле. Заметно повысилась плотность отливок из этого сплава, залитого под низким давлением, по сравнению с литьем по выплавляемым моделям и кокильным литьём.

Проведенные исследования по микроанализу показали, что поры, являющиеся мельчайшими нарушениями сплошности металла и вызывающие при испытаниях появление гидротечи, располагаются преимущественно внутри или вблизи эвтектоида, который залегает по границам зерен α -твердого раствора. В структуре отливок, изготовленных в песчаных и металлических формах свободной заливкой, эта составляющая непрерывна. В отливках, полученных литьем под низким давлением в металлической водоохлаждаемой форме, эвтектоид располагается в виде изолированных включений, образовавшиеся микропустоты разобщены и, следовательно, не будут вызывать гидротечи.

Было отмечено, что для повышения гидроплотности отливок, несомненно, большую роль играли не только повышенная плотность, мелкозернистая структура отливок и равномерное распределение структурных составляющих, но и улучшенные условия питания при литье под низким давлением, так как повышенное давление способствует уменьшению количества и размеров пор. Именно указанными факторами можно было объяснить тот факт, что отливки, получаемые в песчаных формах, не всегда выдерживали давление 70 МПа, тогда как отливки, изготовленные литьем под низким давлением в водоохлаждаемых кокилях, выдерживали давление 350 МПа при минимальной толщине стен-

ки отливок 9 мм.

Список литературы

1. Гини Э.Ч. Зарубин А. М., Рыбкин В. А.. *Технология литейного производств. Специальные виды литья*. - М.: Академия, 2008. - 352 с.
2. Дрюкова А.Э. и др. *Технология обработки материалов (Изготовление художественных изделий из древесины и металлов): учебник / А.Э. Дрюкова, О.А. Казачкова, Л.А. Комиссарова, В.Б. Лившиц, А.П. Кушнир, А.Г. Навроцкий*. Saarbrücken / Германия: LAP Lampert Academic Publishing, 2017. – 264 с.
3. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Специальные технологии художественной обработки материалов. (Специальные виды литья и отделка художественных изделий): Учебное пособие для вузов*. М.: ОНТОПРИНТ, 2016. – 262 с.
4. Кушнир А.П., Лившиц В.Б., Кобзев Д.С. *Специальные виды литья художественных изделий*. Saarbrücken / Германия: LAP Lampert Academic Publishing, 2015. – 305 с.
5. Лившиц В.Б. *Технология литья художественных изделий*. – М.: Ленанд, 2014. - 272 с.
6. Лившиц В.Б. *Художественное литье. Технология, материалы, практика*. М.: РИПОЛ Классик, 2004. - 192 с.
7. Лившиц В.Б. *Художественное литье. Ювелирные и декоративные изделия*. М.: АСТ, 2009. – 224 с.
8. Лившиц В.Б., Кушнир А.П. *К вопросу измерения скорости охлаждения стали при ее кристаллизации под давлением прессования*. Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2015. № 11. С. 47-49.
9. Лившиц В.Б., Кушнир А.П., Кобзев Д.С. *Изготовление пустотелых художественных отливок с использованием жидкой формочной смеси. Дизайн. Теория и практика*. 2014. № 18. С. 62-73.
10. Лившиц В.Б., Навроцкий А.Г., Казачкова О.А. *Ковка и литье (изготовление ювелирных и декоративных изделий)*. - М.: Астрель, 2011. – 488 с.

УДК 629.3

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРАВНОВЕШИВАНИЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Маков П.В., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Маков П.В. e-mail: avtomak1@yandex.ru

Рассмотрены устройства для уравнивания двигателей внутреннего сгорания по патентам Ланчестера и Mitsubishi и выявлены недостатки рассмотренных устройств. Предложено мероприятие по улучшению устройства Mitsubishi на примере двигателя ЗМЗ-4062.10

Ключевые слова: ДВС, уравнивание, вибрация, шум

THE RELEVANCE OF THE USE OF AUTOMATIC MANAGEMENT SYSTEM OF THE EQUILIBRATION INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Makov P.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Makov P.V. e-mail: avtomak1@yandex.ru

Considered the device for balancing internal combustion engines patent of Lanchester and Mitsubishi and shortcomings of the considered devices. Proposed event to improve device Mitsubishi on the example of the engine ZMZ-4062.10

Keywords: internal combustion engines, balancing, vibration, noise

Одной из причин вибрации и шума в автомобиле являются колебания силового агрегата, установленного на упругих опорах, которые могут быть вызваны двумя причинами, связанными с работой двига-

теля: неуравновешенностью второй гармоники сил инерции движущихся масс кривошипно-шатунного механизма и реактивного момента (в ответ на непостоянство крутящего момента двигателя). С этой целью используют устройства уравнивания. Самыми распространёнными являются устройства по патенту Ланчестера (рис.1) и по патенту Mitsubishi (рис.2). Первое позволяет уравнивать только силы инерции, а второе, как силы инерции, так и реактивный момент двигателя (реакция на непостоянство крутящего момента).

Недостатком первого устройства является невозможность уравнивания реактивного момента, а недостатком второго – полное уравнивание реактивного момента происходит только на одной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Для анализа устройства Mitsubishi, в качестве примера для математического моделирования был рассмотрен рядный бензиновый четырёхцилиндровый двигатель с распределённым впрыском топлива ЗМЗ-4062.10. При использовании устройства Mitsubishi на этом двигателе, полное уравнивание реактивного момента достигается только на одной частоте – 4360 мин.⁻¹

Это объясняется тем, что реактивный момент слабо зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя, тогда как уравнивающий момент прямо пропорционален квадрату этой частоты; кроме того, реактивный момент при увеличении частоты вращения коленчатого вала сначала увеличивает своё значение, затем уменьшает, а уравнивающие моменты, только увеличивают.

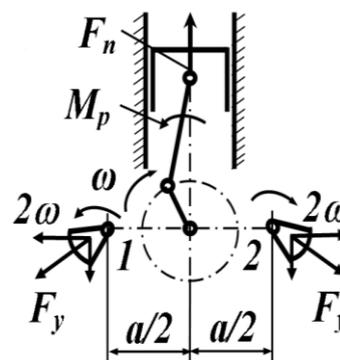


Рис.1. Устройство Ланчестера

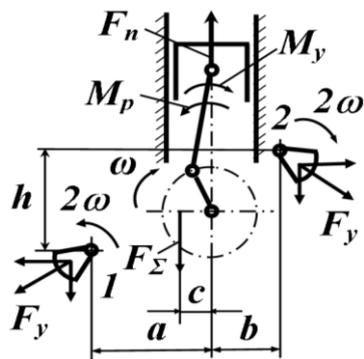


Рис.2. Устройство Mitsubishi

Поэтому устройство Mitsubishi не может создать уравнивающий момент, которые по своему значению с противоположным знаком точно повторял бы реактивный момент.

Данное заключение приводит к выводу, что для полного уравнивания реактивного момента необходимо совершенствовать устройство Mitsubishi.

Для того чтобы добиться полного уравнивания реактивного момента второго порядка во всём рабочем диапазоне частот вращения двигателя, необходимо изменять расстояния c и h (рис.2) в зависимости от частоты вращения n коленчатого вала двигателя путём перемещения валов 1 и 2, принудительно регулируя, таким образом, значение уравнивающего момента. Тогда эффективность уравнивания реактивного момента будет равна 100% не на одной частоте, а во всём рабочем диапазоне двигателя.

Для этого разработана принципиальная схема управления перемещением валов 1 и 2 показанная на рис.3. В состав схемы входят уравнивающие валы 1 и 2, блок управления 3, датчик частоты вращения коленчатого вала 4, датчики положения уравнивающих валов 5 и 6 и механизмы изменения положения уравнивающих валов 7 и 8. Блок управления на основе сигналов полученных от датчиков по заложенной в его памяти программе вычисляет величину изменения расстояний c и h и, на основании этого значения, формирует сигналы управления механизму изменения положения, который будет перемещать валы на необходимые расстояния по вертикали и горизонтали в зависимости от частоты вращения n .

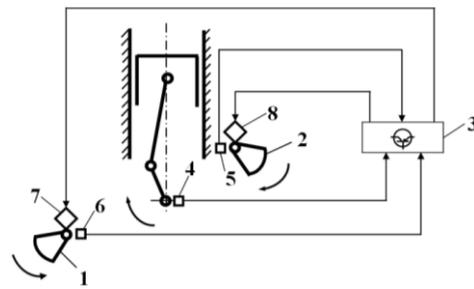


Рис.3. Принципиальная схема управления перемещением уравнивающих валов

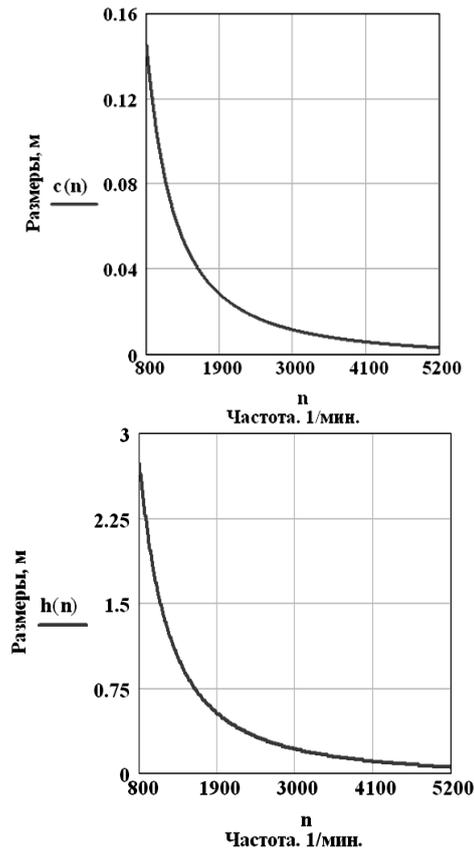


Рис.4. Зависимости расстояний c и h от частоты n

Создаваемый уравнивающий момент будет полностью уравнивать реактивный момент.

Графические зависимости расстояний c и h от частоты n показаны на рис.4. Но, проанализировав зависимости на рис.4 приходим к ещё одному выводу.

Если перемещать вал на расстояния $c = 0,145$ м и $h = 2,732$ м, то двигатель будет иметь размеры, которые будут выходить за рамки разумного. Поэтому приемлемыми будут следующие пределы: $c = 0,003 - 0,0114$ м (при изменении частоты n от 5200 до 3000 мин.⁻¹) и $h = 0,051 - 0,21$ м

(при изменении частоты n от 5200 до 3000 мин.⁻¹). Для этих параметров зависимости результирующего реактивного момента второго порядка $\Sigma M_2(n)$ и остаточного реактивного момента второго порядка $\Sigma M_{o4}(n)$ приведены на рисунке 5.

Рис.5 даёт понять, что полное уравнивание реактивного момента происходит в диапазоне частот 3000 - 5200 мин.⁻¹. На частотах 800 - 3000 мин.⁻¹ уравнивание составляет 8 - 100 %.

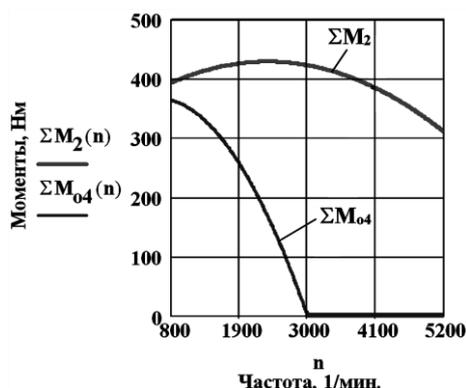


Рис.5. Зависимости реактивного и остаточного моментов от частоты вращения коленчатого вала ДВС

То есть, усовершенствованное устройство Mitsubishi позволяет довести эффективность уравнивания реактивного момента до 100% в диапазоне частот 3000 - 5200 мин.⁻¹.

Таким образом, полного уравнивания реактивного момента снова не удаётся достичь

Невозможность довести этот диапазон до 800 мин.⁻¹ объясняется тем, что сила инерции поступательно движущихся масс

второго порядка и реактивный момент второго порядка уравниваются одной и той же центробежной силой инерции создаваемой противовесами дополнительных валов. Другими словами, не имея возможности раздвигать валы на большие расстояния (не позволяют размеры двигателя) мы могли бы увеличивать центробежную силу инерции противовесов. Но в этом случае эта сила будет больше силы инерции второго порядка, в результате произойдёт её переуравнивание и ухудшение вибрационной характеристики двигателя.

Для того чтобы реактивный момент второго порядка уравнивался полностью во всём рабочем диапазоне частот вращения двигателя (800 - 5200 мин.⁻¹) необходимо создавать трёхвальную схему уравнивания при наличии системы автоматического перемещения этих валов.

Список литературы

1. Патент Ланчестера: *British Patent No. 26038 Priority 1911*
2. Патент Mitsubishi: *BP 1498195 Priority April 1974 (JP)*
3. *Автомобильный справочник. Перевод с англ. Первое русское издание. – М.: Издательство «За рулём», 2000. – 456 с., ил.*
4. *Двигатель автомобилей ГАЗ – 3110 «Волга» / Под ред. А.А. Калашикова – М.: Издательство «Колесо», 1998. – 240 с.: ил.*
5. *Тольский В.Е., Корчемный Л.В., Латышев Г.В., Минкин Л.М. Колебания силового агрегата автомобиля. М., «Машиностроение», 1976, 266 с., с ил.*

УДК 629.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХМАССОВОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СИЛ ИНЕРЦИИ И РЕАКТИВНОГО МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Маков П.В., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Маков П.В. e-mail: avtomak1@yandex.ru

Двигатель внутреннего сгорания рассматривается как автоколебательная система. Дается сравнение результатов по определению сил инерции и реактивного мо-

мента возникающих в двигателе при использовании одно- и двухмассовой моделей автомобиля. В качестве примера рассматривается двигатель ЗМЗ-4062.10

Ключевые слова: ДВС, автомобиль, колебания, модуляция

THE USE OF THE TWO-MASS MODEL OF CAR FOR THE ANALYSIS OF FORCES OF INERTIA AND REACTIVE TORQUE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Makov P.V.

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Makov P.V. e-mail: avtomak1@yandex.ru

The internal combustion engine is considered as an autooscillatory system. Comparison of the results on the determination of the inertial forces and the reactive torque arising in the engine using single- and double-mass models of a car is given. As an example the ZMZ-4062.10 engine is considered

Keywords: internal combustion engines, vehicle, oscillation, modulation

При установившемся режиме работы двигателя угловая скорость вала не остаётся постоянной, а периодически изменяется: $\omega = \omega(t)$. Основной причиной периодического изменения угловой скорости вала является неравномерность крутящего момента, обусловленная периодичностью рабочего процесса и кинематическими свойствами КШМ. Вследствие неравномерности крутящего момента в упругом коленчатом валу и упругой трансмиссии (двигатель и трансмиссию будем называть двигательно-трансмиссионной установкой (ДТУ)) автомобиля возбуждаются крутильные колебания, которые увеличивают неравномерность вращения вала двигателя. Поэтому ДТУ необходимо рассматривать в виде автоколебательной системы, а для её расчёта использовать модели ДТУ.

В качестве примера для расчёта схем ДТУ взят автомобиль ГАЗ – 31105 “Волга” с рядным четырехцилиндровым двигателем ЗМЗ-4062.10. Частота вращения ко-

ленчатого вала ω_0 на которой производится расчёт схем равна $456,6 \text{ с}^{-1}$.

Модель двигательно-трансмиссионной установки автомобиля представлена на рис.1. Это одномассовая модель, где автомобиль рассматривается как материальная точка. На этом рисунке J_a – приведённый к коленчатому валу момент инерции ДТУ ($10,75 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$), M_T – крутящий момент двигателя (Нм), M_H – сумма моментов сопротивлений (Нм), r – радиус ведущего колеса ($0,295 \text{ м}$). Эта модель упрощённая, так как не учитывает реально существующие упругие связи (валопроводы) ДТУ.

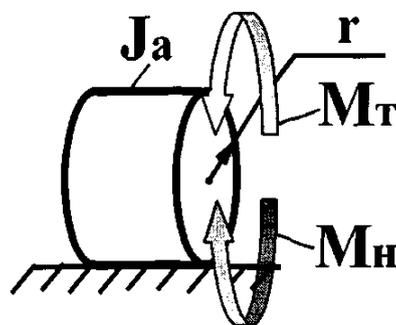


Рис.1. Одномассовая модель автомобиля

Зависимости силы инерции от времени без учёта и с учётом непостоянства угловой скорости и реактивного момента от времени без учёта и с учётом непостоянства угловой скорости приведены на рис.2 и 3 соответственно.

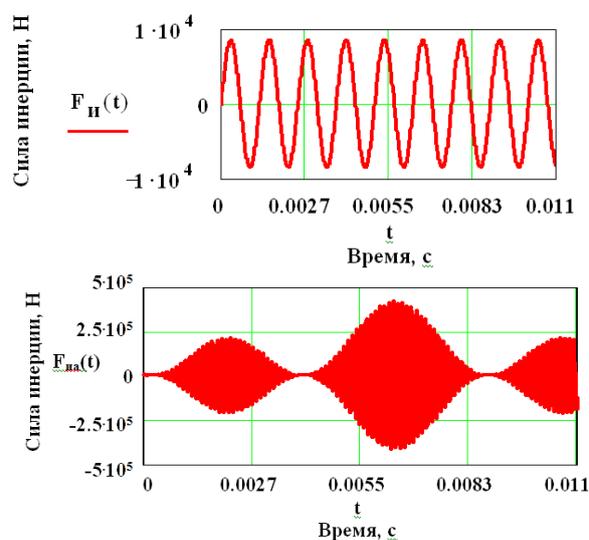


Рис.2. Сила инерции без учёта и с учётом непостоянства угловой скорости

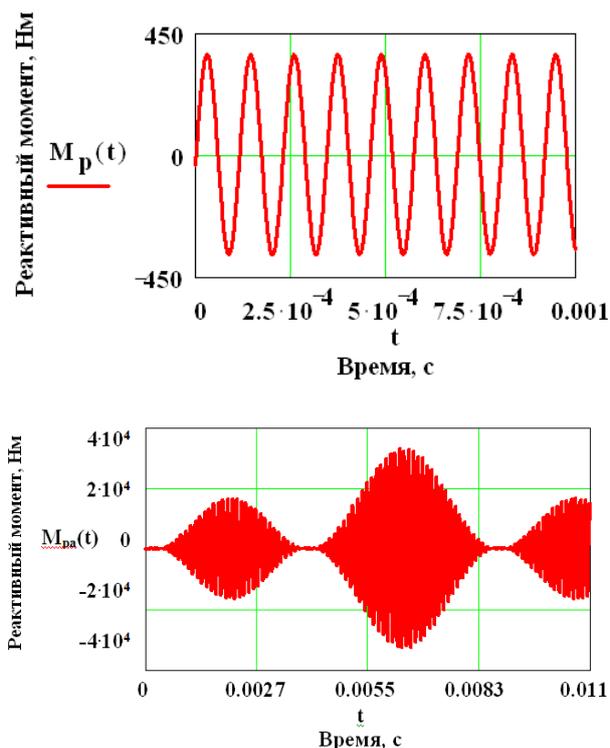


Рис.3. Реактивный момент без учёта и с учётом непостоянства угловой скорости

Рассмотренная модель ДТУ (рис.1) не учитывает реально существующие упругие связи. Поэтому необходимо рассматривать другие модели. Одна из них приведена на рис.4 и содержит упругую связь – сцепление. Здесь J_o - приведённый к колленчатому валу момент инерции двигателя ($0,25 \text{ кгм}^2$), M_c - крутящий момент в сцеплении (Нм), C_c - крутильная жёсткость сцепления ($\text{кгм}^2/\text{с}^2$), b_c - коэффициент неупругого сопротивления ($120 \text{ кгм}^2/\text{с}$).

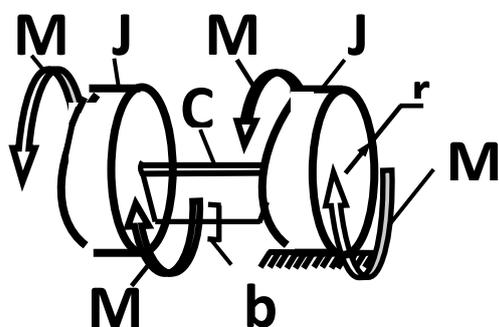


Рис.4. Двухмассовая модель автомобиля

Зависимости сил инерции и реактивного момента от времени t без учёта непостоян-

ства угловой скорости в этой схеме ДТУ будут такими же, как и в первой схеме.

Зависимости этих сил инерции и реактивного момента от времени с учётом непостоянства угловой приведены на рис.5.

Таким образом, для получения действительной картины процессов происходящих в ДТУ необходимо ДТУ рассматривать как колебательную систему, а для определения параметров этой системы использовать модели ДТУ.

Из анализа приведённых зависимостей следует, что учёт факта периодического изменения угловой скорости вращения колленчатого вала ($\omega = \omega(t)$) при определении сил инерции и реактивного момента приводит к тому, что зависимости сил инерции и реактивного момента от времени носят уже не синусоидальный характер, а модулированный.

Значения сил инерции и реактивного момента в двухмассовой модели (рис.5) меньше, чем в одномассовой модели (рис.2,3).

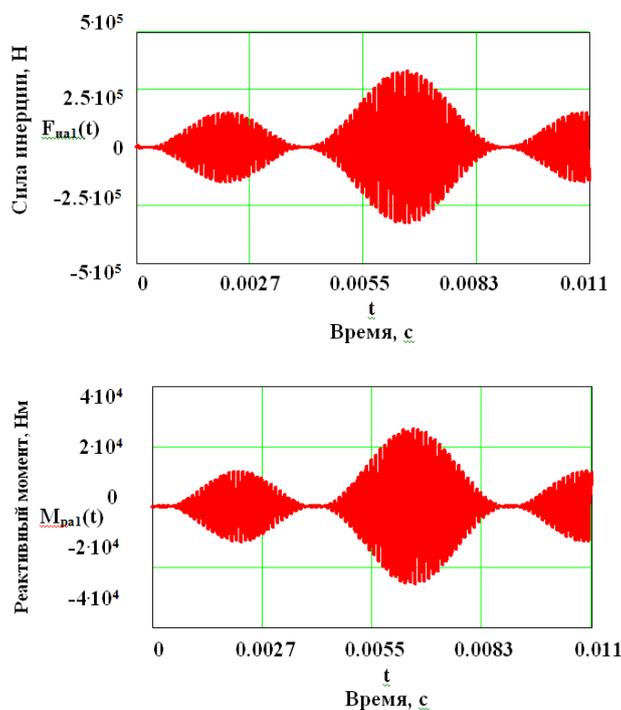


Рис.5. Сила инерции и реактивный момент с учётом непостоянства угловой скорости

Для повышения корректности и точности расчётов необходимо использовать модель в собственных координатах.

Список литературы

1. *Автомобильный справочник. Перевод с англ. Первое русское издание.* – М.: Издательство «За рулём», 2000. – 456 с., ил.

2. *Двигатель автомобилей ГАЗ – 3110 «Волга» / Под ред. А.А. Калашиникова* – М.: Издательство «Колесо», 1998. – 240 с.: ил.

3. *Попык К.Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей.* М., “Высшая школа”, 1970, 327с.

УДК 620.179.14

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИБРОИНДУКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

Николаев Ю.Л., к.т.н., доцент,
Шкатов П.Н., д.т.н., профессор,
Чернова А.В., ст. преподаватель,
Саморуков А.А., аспирант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

Автор для переписки: Николаев Ю.Л. e-mail: pr-2@mgupi.ru

Дано описание устройства и принципа действия индукционных преобразователей, регистрирующих магнитные поля рассеяния дефектов в режиме виброперемещения индуктивной катушки. Приведена методика расчета конструктивных параметров преобразователя, обеспечивающих заданные требования к параметрам виброперемещения индуктивной катушки.

Ключевые слова: магнитный контроль, виброиндукционный преобразователь, расчет параметров

DESIGN OF VIBROINDUCTION TRANSDUCERS FOR MAGNETIC CONTROL

Nikolaev Yu. L.
Shkatov P. N.
Chernova A. V.
Samorukov A. A.

Physics Technology Institute, Moscow Technological University

Corresponding author: Nikolaev Yu.L. e-mail: pr-2@mgupi.ru

The work describes the design and operation principle of the induction transducers registering magnetic fields of defects dispersion in the mode of inductive coil vibromovement. There is given the method of the transducer design data calculation providing the set requirements to the parameters of the inductive coil vibromovement.

Keywords: magnetic control, vibroinduction transducer, calculation of parameters

Перспективным методом магнитного контроля является виброиндукционный метод, основанный на сканировании контролируемой поверхности объекта, намагниченного постоянным магнитным полем, вибрирующей индуктивной катушкой [1]. При виброперемещении катушки в локально распределенном магнитном поле над дефектом в ней наводится периодическая ЭДС, амплитудный спектр которой содержит информативные гармонические составляющие, возникающие исключительно от взаимодействия вибрирующей катушки с магнитным полем рассеяния дефекта. В частности, при контроле по тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля генерируется сигнал удвоенной частоты по отношению к частоте колебаний катушки. В результате выделения информативных спектральных составляющих удается значительно повысить соотношение «сигнал-шум», и, следовательно, достоверность выявления дефектов. При этом, считывание магнитных полей может осуществляться как в режиме сканирования, так и при любом статическом положении корпуса преобразователя и объекта, что позволяет использовать

виброиндукционный метод для эффективного ручного контроля изделий сложной формы.

Основными требованиями, предъявляемыми к конструкции виброиндукционного преобразователя для магнитной дефектоскопии, являются требования обеспечения необходимой амплитуды и частоты колебаний индуктивной катушки при минимальных габаритных размерах преобразователя. Амплитуда виброперемещения должна быть достаточной для перекрытия границ магнитного поля рассеяния дефекта (в пределах до 1,0 ... 1,5 мм) с возможностью ее регулирования. Частота устанавливается из условия обеспечения высокой чувствительности к дефектам типа трещин глубиной от нескольких десятых долей мм и по экспериментальным данным может находиться в пределах от 250 до 600 Гц.

Наиболее приемлемым техническим решением, реализующим указанные требования, является оснащение индукционного преобразователя пьезоприводом виброперемещения

катушки, выполненным на базе биморфного пьезоэлемента в виде двух спеченных прямоугольных пьезопластин [2].

Устройство виброиндукционного преобразователя показано на рис. 1.

Конструктивно виброиндукционный преобразователь (рис. 1) состоит из биморфного пьезоэлемента 2, жестко закрепленного токоподводящей частью в основании корпуса преобразователя 1. На свободном конце биморфного пьезоэлемента через переходной элемент 5 закреплен немагнитный стержень 3 с катушкой индуктивности 4.

Для обнаружения дефектов по нормальной составляющей напряженности магнитного поля рассеяния дефекта катушку индуктивности 4 устанавливают так, чтобы ось ее чувствительности совпадала с осью стержня 3 (рис. 1). При дефектоскопии по тангенциальной составляющей ось катушки ориентируют перпендикулярно оси стержня (рис. 2, вид сверху).

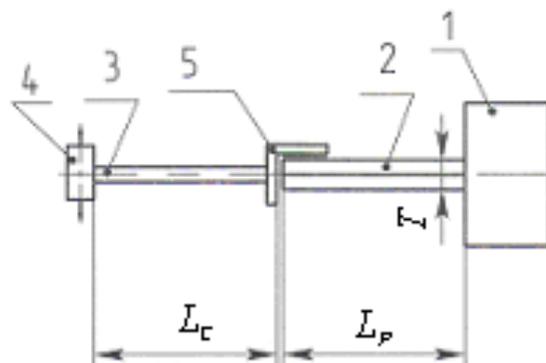


Рис. 1. Устройство виброиндукционного

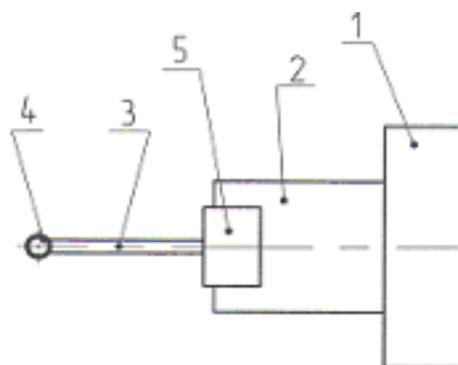


Рис. 2. Установка индуктивной катушки преобразователя при дефектоскопии по тангенциальной составляющей

При подаче на обкладки биморфного пьезоэлемента 2 синусоидального электрического напряжения от источника управляющего напряжения происходит изгибная деформация пьезоэлемента по гармоническому закону, в результате чего индуктивная катушка 4 совершает виброперемещение в направлении, перпендикулярном оси стержня (рис. 1) с частотой управляющего напряжения и амплитудой, зависящей от амплитуды напряжения и геометрических параметров L_C , L_P и T преобразователя.

В процессе ручного или автоматизированного сканирования преобразователь ориентируют относительно контролируемой поверхности так, чтобы направление виброперемещения совпадало с направлением магнитных линий намагничивающего поля.

Расчетная оценка параметров виброперемещения индуктивной катушки выполняется по следующей методике.

Амплитуда виброперемещения индуктивной катушки преобразователя в квазистатическом режиме определяется как сумма двух перемещений

$$z = z_1 + z_2, \quad (1)$$

где z_1 - перемещение свободного конца биморфного пьезоэлемента;

z_2 - дополнительное перемещение катушки из-за наличия удлинительного стержня, выполняющего функцию рычага.

В линейном приближении

$$z_1 = 3\mu \cdot d_{31} \left(\frac{L_p}{T} \right)^2 \cdot U, \quad (2)$$

где $\mu = 0,9$ – коэффициент уменьшения статической амплитуды перемещения в режиме колебаний на частотах свыше 1 Гц; $d_{31} = (0,25 \dots 0,3) \cdot 10^{-3}$ мкм/В – значение продольного пьезомодуля; L_p , T - длина вылета из заделки и толщина биморфного пьезоэлемента, мм; U - значение напряжения, В.

При определении z_2 учитывается, что при изгибе пьезоэлемента лопаточная часть удлинителя поворачивается на угол λ , определяемый как средний угол наклона пьезоэлемента на участке крепления лопаточной части удлинительного стержня. Тогда, дополнительное перемещение катушки z_2 определяется по формуле:

$$z_2 = (L_C + D) \cdot \sin \left(\arctg \frac{\Delta z}{\Delta L} \right) \quad (3)$$

где L_C - длина стержня; D - диаметр катушки; $\Delta L = L_p - L_1$, где L_1 - длина пьезоэлемента на границе места крепления лопаточной части удлинителя; Δz - приращение перемещения, соответствующее длинам L_p и $(L_p - \Delta L)$.

При значениях параметров конструкции $L_p = 35$ мм, $T = 1,2$ мм, $L_C = 10$ мм, $D = 5$ мм, $\Delta L = 5$ мм, суммарное перемещение катушки z будет составлять около 280 мкм.

Так как колебательный процесс является динамическим, то с учетом колебательных свойств пьезоэлемента как ме-

ханической системы зависимость амплитуды виброперемещения от частоты определяется из выражения:

$$z(\omega) = \frac{z}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\right)^2 + \frac{4n^2 \cdot \omega^2}{\Omega^4}}}, \quad (4)$$

где ω - частота колебаний пьезоэлемента; Ω - резонансная частота; n - коэффициент затухания колебаний, характеризующий внутренние трения и сопротивление среды.

При резонансе, когда $(\omega = \Omega)$ и при $n / \Omega = 0,1$ из (4) следует, что амплитуда колебаний на резонансе возрастает до пяти раз и может составлять для принятых значений размеров элементов конструкции 1,4 мм. В случае необходимости увеличения амплитуды колебаний до 2 мм и более, следует увеличить длину соединительного стержня до 15-20 мм. Однако, с увеличением длины стержня снижается резонансная частота.

Формально резонансная частота биморфного пьезоэлемента вычисляется по формуле:

$$\Omega = \frac{h}{L_p^2} \sqrt{\frac{Y_{11}}{\rho_M}} \quad (5)$$

где $Y_{11} = (60 \dots 80) \cdot 10^9$ Н/м² – модуль упругости материала керамики;

$\rho = (7,4 \dots 7,6) \cdot 10^3$ кг/м³ - плотность пьезокерамики.

При длине вылета пьезоэлемента $L_p = 35$ мм резонансная частота будет составлять свыше 280 Гц. Учитывая дополнительную инерционную нагрузку на пьезоэлемент (соединительный стержень, катушка), фактическое значение резонансной частоты уменьшается на 10-15 % и находится в пределах по первой моде колебаний от 230 Гц. При необходимости повышения чувствительности частота колебаний устанавливается на второй моде, в результате чего резонансная частота будет составлять 450-500 Гц.

Разработанная конструкция виброиндукционного преобразователя позволяет выявлять поверхностные дефекты с шириной раскрытия 3...15 мкм, глубиной 0,15...0,2 мм, с рабочим зазором 0,5 мм

при соотношении «сигнал-шум» более, чем 10:1.

Список литературы

1. Патент РФ 2566418. Способ магнитной дефектоскопии /Шкатов П.Н., Николаев

Ю.Л., Чернова А.В., Юрченко П.В. – Кл. G01N27/82. опублик. 27.10.2015, бюл. № 30.

2. Патент РФ 2600517. Индукционный преобразователь /Шкатов П.Н., Николаев Ю.Л., Чернова А.В., Юрченко П.В., Кузнецова Г.В. – Кл. G01N27/82. опублик. 20.10.2016, бюл. № 30.

УДК 621.91.01

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СТЕСНЁННОСТИ СХОДА СТРУЖКИ НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Пухальский В.А.¹, к.т.н., доцент;
Забельян Д.М.², заместитель Главного инженера - Главный технолог;
Селивановский И.Е.¹, студент 1-го курса;
Кирсанов О.А.¹, студент 1-го курса

¹Кафедра метрологии и стандартизации Физико-технологический институт Московского технологического университета

²Акционерное общество «Научно производственный центр газотурбиностроения «СА-ЛЮТ»

© Автор для переписки: Пухальский В.А. e-mail: puhalya@mail.ru

Работа посвящена разработке методики определения влияния стеснённости схода обрабатываемого материала по передней поверхности на силы резания и геометрические параметры стружки

Ключевые слова: резание, радиус при вершине, стеснённость схода стружки

DEVELOPMENT OF TECHNIQUES TO DETERMINE THE IMPACT OF A TIGHT GATHERING CHIPS ON CUTTING FORCE

Pukhalskij V.A.¹
Zabeljan D.M.²

Selivanovskiy I.E.¹
Kirsanov O.A.¹

¹Kafedra of metrology and standardization of the Moscow Institute of physics and Technology University of technology

²Akcionernoe society "scientific and production center gazoturbinostroenija " Salut "

© Author for correspondence: Pukhalskij V.A. e-mail: puhalya@mail.ru

Work is devoted to development of techniques to determine the impact of a tight gathering material on the front surface of the cutting forces and chip geometry

Keywords: cut, nose radius, vanishing stesnjonnost chips

Обработка резанием и сегодня является операцией, занимающей в общей трудоемкости механообрабатывающего производства более 80%. Основными свойствами режущего инструмента при его выборе являются прочность и износостойкость. Прочность инструмента определяется предельными – ломающими силами резания. Сила резания зависит от режимов и геометрии режущего инструмента.

Определению (закономерностей) влияния геометрии режущей кромки на силы резания посвящено большое число работ многих авторов [1, 2, 3, 4, 5 и др.]. Однако необходимо отметить следующее.

Во-первых, эти работы посвящены определению данных закономерностей для свободного резания. На практике же используется резание кромкой с вершиной, то есть не свободное резание и чаще всего сопряжение главной и вспомогательной режущих кромок осуществляется радиусом.

Во-вторых, при исследованиях влияния на силы резания радиуса при вершине, в резании участвовал и прямолинейный участок главной режущей кромки. Это приводит к методической погрешности в данных опытах.

В-третьих, толщина срезаемого слоя на различных участках радиуса сопряжения режущих кромок получается существенно различной.

Большое значение для понимания сути процессов, происходящих при резании, имеет работа Ламма М.М. [6]. Проведя аналогию противодействия жидкости или газа крылу самолёта и металла резцу, он обосновал гидродинамическую теорию резания. Учитывая положения данной теории наличие радиуса сопряжения режущих кромок, то есть при не свободном резании, приводит к «стесненности» схода обрабатываемого материала в области вершины (рисунок 1).

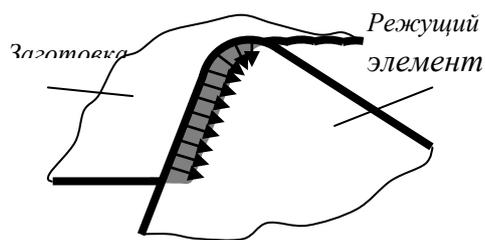


Рис. 1. Сход стружки при резании с радиусом при вершине

Разрабатываемая методика предназначена для определения влияния стесненности схода обрабатываемого материала по передней поверхности на силу резания и геометрические параметры образующейся стружки. Исследования будут проведены в условиях лаборатории кафедры информационных технологий в машино- и приборостроении Физико-технологического института Московского технологического университета на специальной установке на базе токарно-винторезного станка модели 16К20 (рисунок 2).

Изменение кривизны режущей кромки будет осуществляться путем применения специального набора радиусных резцов (рис. 3). Причём будут испытаны также резцы с кривизной меньше нуля. Режимы

резания будут оставаться неизменными для всех опытов.



Рис.2. Установка для проведения испытаний:

1. Фотонасадка: Levenhuk C35NG350K;
2. Заготовка: труба $\varnothing 200$ мм, сталь 45;
3. Динамометр: УДМ 600;
4. Микроскоп: БМИ-1;
5. Токарный станок: 16К20;
6. Персональный компьютер;
7. Аналогово-цифровой преобразователь: LTR – U – 1

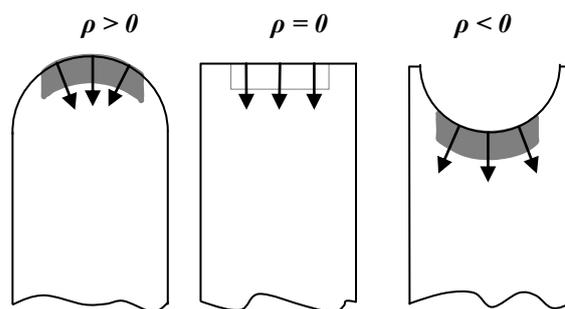


Рис.3. Резцы с различной кривизной (ρ) режущей кромки

В качестве выходных данных экспериментов будет измеряться сила резания и определяться толщина элемента (Рисунок 4) и другие геометрические параметры стружки.

В предлагаемой методике исследований добиться абсолютно одинаковой толщины среза по всей длине радиусной режущей кромки не удалось. Однако её разность при самой большой кривизне режущей кромки, участвующих в исследованиях резцов, будет составлять не более 40%.

Намечаемые исследования будут проведены в рамках работы научно-учебной группы «Технологические процессы в машиностроении и приборостроении». Наша

группа в соответствии с решением Ученого Совета Физико-технологического института (ФТИ) входит в состав студенческого научного общества ФТИ. Научно-учебная группа работает в тесной взаимосвязи с АО «НПЦГ «САЛЮТ».

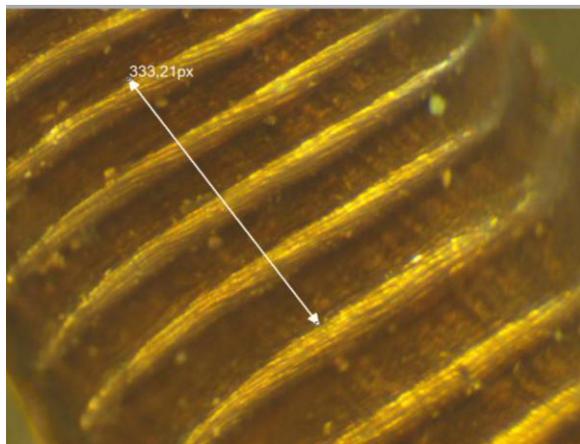


Рис.4. Схема определения толщины элемента стружки.

Список литературы

1. Кошеленко Т.М. Основы учения о резании металлов. – НКТМ СССР ГНТИ Машиностроительной литературы, 1940, 444с.
2. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории процесса резания металлов. – Свердловск-Москва, ГНТИ Машиностроительной литературы, 1956, 319с.
3. Клушин М.И. Резание металлов. М., ГНТИ Машиностроительной литературы, 1953, 431с.
4. Грановский Г.И., Грудов П.П., Кривоухов В.А., Ларин М.Н., Малкин А.Я. Резание металлов. М., ГНТИ Машиностроительной литературы, 1954, 471с.
5. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мецержакова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496с.
6. Ламм М.М. Основы гидродинамической теории резания металлов. Харьков-Москва, НКТМ СССР ГНТИ Машиностроительной литературы, 1940, 208с.

УДК 620.186

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПО ИЗМЕРЕНИЮ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Терновых А.М., к.т.н., доцент;
Фигуровский Д.К., к.т.н., доцент;
Юдин Г.А., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Rogov A.Yu. e-mail:Rogov_FY@mgupi.ru

Разработана специальная компьютерная программа, позволяющая проводить комплексное исследование и измерение структурных параметров твердых сплавов. Представлен интерфейс программы, ее аппаратная реализация и возможности получения цифровых характеристик микроструктуры сплавов

Ключевые слова: программный модуль, интерфейс, структура, твердые сплавы, фаза

A SOFTWARE MODULE FOR MEASURING STRUCTURAL PARAMETERS OF HARD ALLOYS

Ternovyyh A.M.;
Figurovski D.K.;
Yudin G.A.

Moscow technological University. Physico-technological Institute

©Author for correspondence: Rogov, A. Yu. e-mail:Rogov_FY@mgupi.ru

Special software was developed, allowing to carry out a comprehensive study and measurement of the structural parameters of the solid alloys. Presents the interface of the program, its hardware implementation and digital characteristics of the microstructure of the alloys

Keywords: module, interface, hard alloys, phase

При разработке и исследовании новых материалов важнейшая роль принадлежит структуре, в частности микроскопической,

и, следовательно, методам ее наблюдения и оценки. Существуют три способа оценки микроструктуры: качественно-описательная, полуколичественная (балловая оценка по сравнению со структурами стандартных шкал) и строго количественная оценка геометрическими параметрами микроскопического строения. Первые два способа оценки имеют субъективный характер, и результаты оценки разных наблюдателей часто очень расходятся.

Наиболее рациональной и эффективной является строго количественная, объективная оценка микроструктуры геометрическими параметрами ее действительного пространственного (трехмерного) строения [1]. Благодаря подобному анализу становится возможным определить ориентацию, форму и размер зерен, отдельные структурные элементы строения металлов и сплавов. Количество и строение структурных составляющих, а также их распределение оказывает определяющее влияние на свойства сплавов.

В последние годы успешно решаются задачи по усовершенствованию, полной или частичной автоматизации микроскопического анализа структуры путем разработки и применения различного рода оборудования и программного обеспечения [2-4]. Такие усовершенствования весьма эффективны, так как приносят обширную информацию о структуре при минимальной затрате времени и труда. Они быстро получают распространение в металлографической практике, как при контрольных анализах, так и в исследовательской работе. Ясно, что при автоматическом микроанализе результаты его могут быть выражены только численно и, следовательно, оценка структуры обязательно должна быть количественной.

Для реализации подобных расчетов разрабатываются специальные компьютерные программы, такие как: ImageExpert Pro 3, ImageExpert Sample 2, ImageExpert MicroHardness2, NEXSYS ImageExpert [2-4], которые охватывают достаточно большой диапазон решаемых задач. Однако все они, как правило, являются громоздкими с вы-

сокими требованиями к ресурсам обрабатываемых и вычислительных систем.

Целью данной работы явилось создание небольшого локального программного модуля, обеспечивающего простое, более комфортное и более точное выполнение некоторых задач по анализу микроструктуры твердых сплавов в соответствии с ГОСТ 9391-80 [5].

Программный продукт под названием «МикростанТС» разработан на базе объектно-ориентированной среды программирования DELPHI и характеризуется минимальным набором требований к производительности компьютера, а именно: разрешение видео системы не ниже 1024 x 768 точек; глубина цвета не ниже 16 бит на точку (режим High Color); оперативной памяти не менее 256 МБ; процессор AMD / Intel с частотой от 0,5 ГГц; операционная система не ниже Windows XP; мультимедийная библиотека DirectX не ниже 9.0 версии; жесткий диск от 60 ГБ и скоростью вращения от 5400 об/мин желательно.

Интерфейс программы с основными элементами представляет собой вид, показанный на рисунке 1.

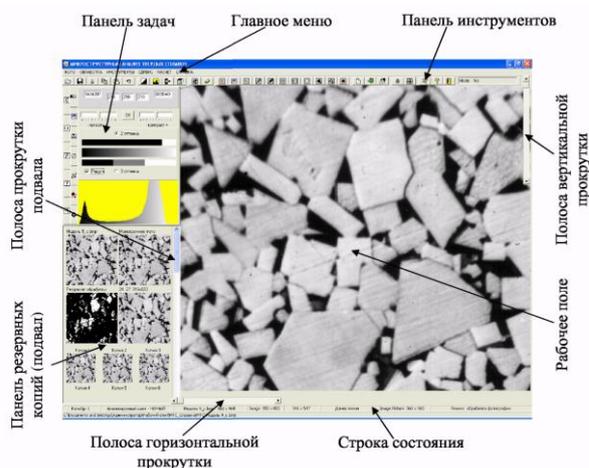


Рис. 1. Интерфейс программы МикростанТС

В главном меню программы находятся выпадающие меню, «Фото, Обработка, Инструменты, Сервис, Расчет, Справка», включающие в себя инструменты для работы с изображением, сохранению и загрузки проектов, расчета различных параметров и т.д. Панель инструментов представляет

собой набор клавиш быстрого доступа к основным функциям программы, к таким как, например, «Открыть», «Сохранить», «Отменить», «Спектральный анализ», «Монохромизация», «Бинаризация», «Анализ блоков», «Автообработка», «Протокол» и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наименование предприятия изготовителя: _____ Начальное лабораторий: Иванов И.И.

Марка сплава: Марка _____ Исследователь: _____

Номер партии: Партия _____ Дата проверки: 12.02.2017

Форма изделия: Цилиндр

Номер образца	Объемное содержание пор размером до 50 мкм, АВД	Размер пор в мкм	Количество пор размером, зерне			Форма и характер распределения фазы η	Содержание свободного углерода, % объема
			51-75	75-100	свыше 100		
1.	23	9	46	33	5	7	0,033
2.							

Интер-образец	Распределение зерен по классам зернистости, %										Распределение в фазы					Макс. размер крупных зерен α-фазы, мкм			
	Класс зернистости										в 10 полях зрения, мкм								
	α-фаза, мкм					γ-фаза, мкм					Характер распределения		Число участков с порами						
	1	2	3	4-5	6-7	8-10	11-15	16-20	21-25	26-30	1	2	3	4-5	6-7	8-10	α-фаза	β-фаза	Размер зерен
1.	3	7	23	4	5	22	5	8	4										21
2.																			

ФОРМА ОТЧЕТА

Исследователь: _____ Ссылка до 50: 1 мкм 16-20 мкм

Марка: _____ Размер пор: 2 мкм 21-25 мкм

Партия: _____ Пары 51-75: 3 мкм 4

Форма: _____ Пары 75-100: 23 мкм 21

Мак. лаборатория: 33 4

Иванова И.И.: _____ Пары >100: 6-7 мкм

Исследователь: _____ Эта-фаза: 810 мкм

Содержание: 7 22

0,033 11-15 мкм 5

Рис.2. Бланк протокола результатов микроструктурного анализа

Для подготовки изображения к анализу используется панель настройки изображения и панель мониторинга. Панель настройки изображения содержит инструменты, позволяющие проводить коррекцию изображения, а именно изменять его яркость и контрастность, снимать спектральные характеристики, определять порог бинаризации и т.д. После обработки микрофотографии шлица проводятся соответствующие расчеты параметров структуры и полученные результаты сводятся в таблицу по ГОСТ 9391-80 (рис.2).

Список литературы

1. Салтыков С.А. *Стереометрическая металлография. (Стереология металлических материалов).* М.: Металлургия. 1976.- 271 с.
2. Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. *Компьютерная микроскопия.* М.: Техносфера, 2005.-304 с.
2. *Официальный сайт анализатора изображений Thixomet® Standard.* <http://www.thixomet.com>.
3. *Официальный сайт Компания "Новые Экспертные Системы"* <http://www.nexsys.ru>.
4. *ГОСТ 9391-80. Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры.* М.: Изд-во стандартов, 1980.

УДК 536.423

РАЗРУШЕНИЕ МЕТЕОРОИДА ИЗ-ЗА НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ В АТМОСФЕРЕ

Холин Н.Н., д.т.н., профессор
 Головешкин В.А., д.м.н., профессор
 Константинов А.Н., ст. преподаватель
 Трофимова Г.Н., ст. преподаватель

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Константинов А.Н., e-mail: konstantinov@mirea.ru

Работа посвящена оценке вклада температурных напряжений, возникающих из-за существенной неоднородности температурного поля, в общую картину напряженного состояния космического тела при его гиперзвуковом движении в атмосфере планеты.

Ключевые слова: температурные напряжения, неоднородность температурного поля, космическое тело, движение в атмосфере.

THE DESTRUCTION OF METEOROID BECAUSE OF NON-UNIFORMITY OF THE DISTRIBUTED TEMPERATURE AT ITS MOVEMENT IN THE ATMOSPHERE

Holine N.N.;
 Goloveshkin V.A. ;
 Konstantinov A.N.;
 Trofimova G.N.

Moscow technological university. Physico-
 technological institute

© Corresponding author e-mail:
 konstantinov@mirea.ru

The work is devoted to assessing the contribution of thermal stresses that arise due to substantial non-uniformity of the temperature field, the overall picture of the state of stress of a space body with its hypersonic flows in the planet's atmosphere.

Key words: Temperature stress, temperature field heterogeneity, the outer body, movement in the atmosphere.

На границе космического объекта при движении его в атмосфере со скоростями порядка десятков километров в секунду, температура достигает тысяч градусов. Для получения необходимых оценок метеороид будем рассматривать как упругий шар, радиуса R . Наша цель оценить влияние высоких температурных градиентов на напряженное состояние материала. Характерное значение коэффициента температуропроводности a для железа равно $0.1 \text{ см}^2/\text{сек}$. Следовательно, толщина прогреваемого слоя h , имеющая порядок \sqrt{at} (t – время) составляет за время полета в земной атмосфере, как правило, несколько миллиметров. Следовательно, ее можно считать малой для крупных космических объектов.

Для оценки характера распределения температуры T внутри упругой сферы, с учетом высказанных выше замечаний относительно малости толщины прогреваемого слоя, можно рассмотреть решение одномерного уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

с начальными условиями при $t = 0$:
 $T(x,0)=0$ при $(0 < x < \infty)$,

и граничными условиями при $x = 0$:
 $T(0,t) = T_0$.

Известное решение данного уравнения представляется в виде:

$$T = T_0 \left[1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{x}{\sqrt{2at}}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \right]$$

Далее рассмотрим задачу определения напряженно-деформированного состояния упругого шара при наличии неоднородного температурного поля $T(r,t)$ (r – расстояние от центра шара, t – время) и свободной внешней границей при $r=R$. Задачу определения напряженного состояния рассматриваем в квазистатической постановке, то есть пренебрегаем волновыми процессами, и время t рассматриваем как некоторый параметр.

В силу сферической симметрии имеются только радиальные перемещения. Обозначим соответствующую неизвестную функцию $u(r)$. Остальные перемещения равны нулю. Тогда уравнение для определения этой функции имеет вид:

$$(\lambda + 2\mu) \left[\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{du}{dr} - \frac{2}{r^2} u \right] = (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{dT}{dr} \quad (3)$$

где: λ, μ – постоянные Ламе; α – коэффициент температурного расширения.

При условии ограниченности решения при $r = 0$, и равенства нулю радиальных напряжений на внешней границе $r = R$, решение данного уравнения имеет вид [3]:

$$u = \frac{\alpha}{r^2} \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \int_0^r T(z) z^2 dz + r \frac{\alpha}{R^3} \frac{4\mu}{\lambda + 2\mu} \int_0^R T(z) z^2 dz \quad (4)$$

В силу сферической симметрии для оценки напряженного состояния достаточно оценить только значения σ_r и σ_φ .

Их значения определяются соотношениями:

$$\sigma_r = 4\mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \frac{\alpha}{r^3} \left[\frac{r^3}{R^3} \int_0^R T(z) z^2 dz - \int_0^r T(z) z^2 dz \right]; \quad (5)$$

$$\sigma_\varphi = 2\mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \frac{\alpha}{r^3} \left[\frac{2r^3}{R^3} \int_0^R T(z) z^2 dz + \int_0^r T(z) z^2 dz - T(r) r^3 \right]$$

Из полученных соотношений видно, что поскольку прогретый слой имеет малую толщину, то напряжения σ_r являются

растягивающими. Напряжения σ_φ являются растягивающими внутри тела и сжимающими на внешней границе. Максимальное значение σ_r , при малой толщине прогретого слоя может быть записано в виде

$$\sigma_r = 4\mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \frac{\alpha}{R} \int_0^\infty T_0 \left(1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{x}{\sqrt{2at}}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \right) dx = 4\mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \alpha T_0 \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{2at}}{R}.$$

Для σ_φ растягивающее напряжение внутри тела имеет также определяется соотношением (5). На внешней границе сжимающее напряжение, с учетом малости толщины прогретого слоя $\left(\frac{\sqrt{2at}}{R} \ll 1\right)$

имеем:

$$\sigma_\varphi = -2\mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \alpha T_0.$$

Известно, что для большинства материалов наибольшую опасность представляют сдвиговые напряжения. Оценку максимального сдвигового напряжения τ_{\max} дает разность

$$\tau_{\max} = \sigma_r - \sigma_\varphi = 2\mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \alpha \left[T - \frac{2}{r^3} \int_0^r T(z) z^2 dz - \frac{1}{R^3} \int_0^R T(z) z^2 dz \right] \quad (8)$$

С учетом малости толщины прогретого слоя соотношение (8) сводится к формуле:

$$\tau_{\max} = 2\mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} \alpha T_0. \quad (9)$$

Используя параметры, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, формулу (9) можно переписать в виде:

$$\tau_{\max} = \frac{E}{1-\nu} \alpha T_0 \quad (10)$$

Так для железного шарового метеороида ($E = 2.1 \cdot 10^{11} \text{ н/м}^2$, $\nu=0.3$, $\alpha=$) при $T_0 = 1000^\circ \text{C}$: $\tau_{\max} = 1.2 \cdot 10^{-5} 3.6 \cdot 10^9 \text{ н/м}^2$

Для сравнения, максимальное сдвиговое напряжение, создаваемое набегающим потоком оценивается по формуле (из работы Фадеев Ю.И.): $\tau_{\max} = 0.265 \rho v^2$.

Тогда, при скорости $v = 2 \cdot 10^4 \text{ м/сек}$ и плотности $\rho = 1.25 \text{ кг/м}^3$ получим:

$$\tau_{\max} = 1.3 \cdot 10^8 \text{ н/м}^2. \quad (6)$$

Приведенные оценки, возможно, качественно объясняют эффект «шелушения» метеоритов в полете. Согласно статистической теории зависимость предела прочности τ от размера l оценивается формулой

$$\tau = \tau_1 \left(\frac{l_1}{l} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

Если в качестве размера брать толщину прогретого слоя $l \approx \sqrt{at}$, то периодически толщина достигает критического размера и происходит сбрасывание прогретого слоя – «шелушение». Особенно сильно данный эффект проявляется для метеороидов неоднородной структуры. Причем само «шелушение» реализуется на боковой и подветренной сторонах летящего шара.

Список литературы

1. Рахматулин Х.А., Шемякин Е.И., Демьянов Ю.А., Звягин А.В. Прочность и разрушение при кратковременных нагрузках. М., Логос, 2008, с.616.
2. Зельдович Я.Б. Движение газа под действием кратковременного давления (удара) // Акустич. Ж., 1956, т.2, вып.1, с.28-38.
3. Холин Н.Н., Головешкин В.А., Андрущенко В.А. Математическое моделирование волновых явлений в конденсированных средах и динамика метеороидов. М., Ленанд, 2015, с.212.

УДК 537.529+538.935+539.3+519.2+531.1

ГЕНЕРИРОВАНИЕ УДАРНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКАХ ПРИ ПРОПУСКНИИ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

Скворцов О.Б.^{1,2}, к.т.н., с.н.с., начальник отдела;
 Троицкий О.А.¹, д.т.н., профессор, г.н.с.;
 Сташенко В.И.¹, к.ф.-м.н., в.н.с.;
 Правоторова Е.А.¹, к.т.н., с.н.с.

¹Институт машиноведения им.
 А.А.Благоврава РАН

²Научно-технический центр «Завод балансировочных машин»

© Автор для переписки: Скворцов О.Б. e-mail:
 skv@balansmash.ru

Представлены результаты экспериментов по возбуждению продольных и радиальных колебаний в металлических проводниках круглого сечения во время пропускания импульсных токов большой плотности. Показано, что возбуждение колебаний привязано к фронту и спаду импульса тока.

Ключевые слова: акселерометр, пространственная вибрация, импульсный ток, деформация, металлический проводник, пинч-эффект, датчик Холла, электромагнитная индукция.

EXCITATION OF SHOCK VIBRATION PROCESSES IN METALLIC CONDUCTORS FROM THE CURRENT PULSE

Skvortcov O.B.^{1,2};
 Troickij O.A.¹,
 Stashenko V.I.¹,
 Pravotorova E.A.¹

¹Institute of Machines Science named after
 A.A.Blagonravov of the Russian Academy of Sciences;

²Scientific and Technical Center "Zavod
 Balansirovochnykh mashin"

© Corresponding author e-mail: skv@balansmash.ru

The results of experiments on the excitation of longitudinal and radial oscillations in metal conductors of circular cross section during the transmission of pulsed high-density currents are presented. It is shown that the excitation of oscillations is tied to the front and to the decay of the current pulse.

Key words: accelerometer, spatial vibration, impulse current, deformation, metallic conductor, pinch effect, Hall sensor, electromagnetic induction.

Пропускание через металлические образцы импульсного тока вызывает в образце деформации [1-6]. Данное явление используется при электропластической обработке, а также может использоваться в аппаратуре виброакустической диагностики мощного электрооборудования. Управление процессом возбуждения колебаний в образце может быть выполнено изменением амплитуды импульса тока. Величину вибрации можно оценить по размаху измеряемого параметра, например ускорения, а текущее значение изменения тока можно контролировать датчиками магнитной индукции, которые, как и акселерометры подключены к модулю сбора аналоговых сигналов NI USB 4431. На рис.1 приведены временные зависимости вибрационного сигнала в радиальном направлении и производной по времени от магнитной индукции.

Затухающие колебания (вибрационный сигнал) от переднего $V1(t)$ и заднего $V2(t)$ фронтов импульса тока можно описать соотношениями:

$$V1(t) = A \cdot \begin{cases} 0 & t < ts \\ \sin[\omega \cdot (t - ts)] \cdot e^{-\frac{t-ts}{\tau}} & t \geq ts \end{cases}$$

$$V2(t) = -A \cdot \begin{cases} 0 & t < te \\ \sin[\omega \cdot (t - te)] \cdot e^{-\frac{t-te}{\tau}} & t \geq te \end{cases} \quad (1)$$

где ts – время начала импульса, te – время окончания импульса (длительность импульса $w=te-ts$).

Начальная амплитуда A зависит от амплитуды тока I , удельной плотности ρ ,

магнитной проницаемости μ и от удельного электрического сопротивления материала r . Собственная частота колебаний ω зависит от удельной плотности ρ , модуля Юнга E , и геометрии образца (диаметр d и длина l). Постоянная времени затухания колебательных процессов τ зависит от внешнего и внутреннего рассеивания энергии виброакустических колебаний, которые зависят, от геометрии, материала образца и его свойств, а также от поверхностных свойств, остаточных механических напряжений и т.п.

Сумма вибрационных сигналов от переднего и заднего фронта импульса:

$$V(t) = V1(t) + V2(t) \quad (2)$$

Размах вибрационного сигнала:

$$V_{p-p} = \max(V(t)) - \min(V(t)) \quad (3)$$

Можно построить для такой математической модели сложения колебаний от переднего и заднего фронтов зависимость результирующей вибрации от времени и от длительности импульса (рис.2).

Диапазон интервала времени в течении которого происходит взаимодействие электромагнитных процессов с материалом образца, вызывающее генерацию механических колебаний близок к интервалам времени типичным для проявления скин-эффекта у таких образцов.

Существенно, что свойства материала, проявляющегося в скин-эффекте, довольно сильно, как следует из формул его описывающих, зависят как от магнитной проницаемости μ так и от удельного сопротивления r . Из рис.3 также можно сделать вывод о том, что зависимость размаха вибрации от изменения тока близка к линейной.

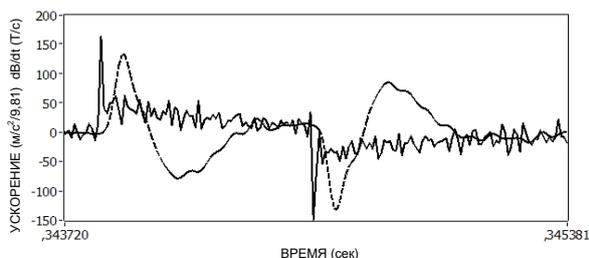


Рис.1. Производная магнитного поля (сплошная) и радиальная вибрация (пунктирная) в зависимости от времени для медного стержня диаметром 4 мм

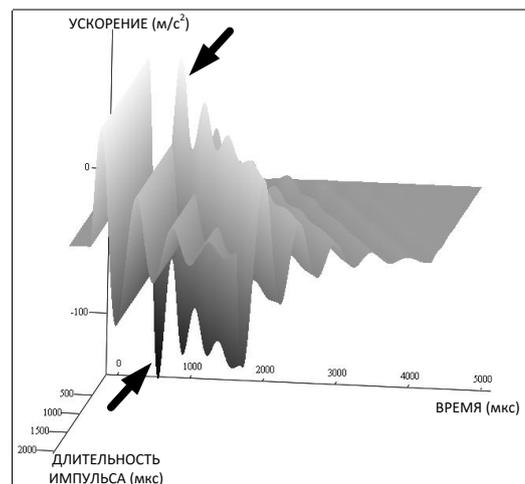


Рис.2. Зависимость механического ускорения от времени при изменении длительности возбуждающего импульса. Стрелками показаны области увеличения амплитуды виброакустического отклика при совпадении фаз колебаний генерируемых на переднем и заднем фронтах для малых длительностей токового импульса.

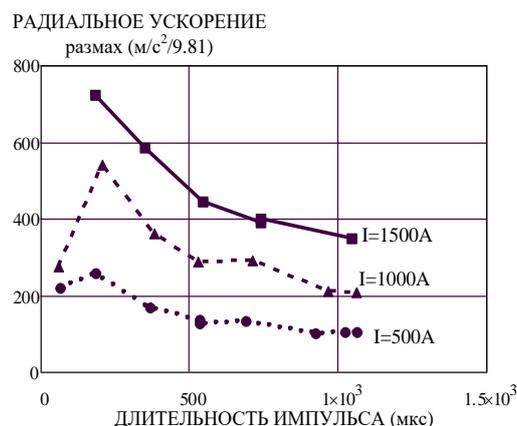


Рис.3. Зависимость размаха вибрационного сигнала от длительности импульса тока при различной величине амплитуды импульса

На рис.3 представлены зависимости размаха вибраций от длительности импульса тока. Наибольшее «ударное» действие оказывают на образец импульсы относительно малой длительности, что может обеспечить возможность возбуждения больших колебаний при сравнительно низких энергетических затратах.

Такие воздействия имеют определенное сходство с ударными процессами, что мо-

жет быть использовано при исследовании виброакустических свойств образцов.

Заключение.

Предложенные методы генерирования колебаний в металлических образцах могут быть использованы при оптимизации режимов обработки металлов с применением электропластического эффекта, а также при создании оборудования для виброакустической диагностики мощного электрооборудования [6], такого как электрогенераторы, моторы и трансформаторы.

Список литературы

1. Троицкий О.А., Скворцов О.Б., Сташенко В.И. и Правоторова Е.А. Магнито-механическое действие импульсного тока в проводнике. / Международная конференция «Живучесть и конструкционное материаловедение» (ЖивКом - 2016): Труды конференции (Москва, 26-28 октября 2016 года). М: Изд-во ИМАШ РАН. 2016. - С.145-148.
2. Троицкий О.А., Сташенко В.И., Скворцов О.Б. и Правоторова Е.А. Измерение магнитного поля и вибраций, созданных им в проводниках за счет пинч-эффекта. / Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные

и технические науки. Выпуск 3. Том 21. 2016. - С.1361-1363.

3. Троицкий О.А., Сташенко В.И. и Скворцов О.Б. Формирование механических колебаний в металлических образцах с использованием пинч-эффекта. / Пятая международная школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей», НИЯУ «МИФИ» с 28 по 31 августа 2016. - С.82-83.

4. Троицкий О.А., Сташенко В.И. и Скворцов О.Б. Влияние материала образцов, длительности импульсов и амплитуды тока на величину собственного магнитного поля тока и вибрацию круглых образцов от пинч действия тока. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2016. 3(317). С.187-194.

5. Троицкий О.А., Сташенко В.И. и Скворцов О.Б. Влияние вибраций от пинч-эффекта импульсного тока на пластическую деформацию. / Actualscience, № 2. Том 2. 2016 - С.50-52.

6. Правоторова Е.А. и Скворцов О.Б. Моделирование виброиспытаний элементов обмоток мощного электрооборудования. / Проблемы машиностроения и надежности машин. № 5. 2015. - С.103-110.

УДК 621.891:621.822.56550.834

ПРИМЕНЕНИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРИКЦИОННЫХ МАЯТНИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ - СЕЙСМОИЗОЛЯТОРОВ

Надеин В.А.¹, Генеральный директор-
 Президент
 Пучков В.Н.², к.т.н., зав.лаб.

¹ООО НГБ «Энергодиагностика», 115162, г.
 Москва

²Института машиноведения им.
 А.А.Благоврава РАН, 101990, г. Москва

© Автор для переписки: Пучков В.Н., e-mail:
 puchkov.v.n.@bk.ru

Фрикционные маятниковые подшипники (ФМП) имеют универсальные свойства, удовлетворяющие различным требованиям при эксплуатации зданий, мостов и промышленных сооружений. Подшипники могут выдерживать вертикальную нагрузку до 13,5 тыс. тонн и имеют минимальную стоимость конструкции. В работе представлены сведения о влиянии землетрясений и других силовых воздействий на тепловые свойства и трибологические характеристики ФМП.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмоизоляция, трение, маятниковые подшипники скольжения, антифрикционные материалы, контактное давление, скорость скольжения несущая способность

APPLICATION AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF FRICTIONAL PENDULUM BEARINGS - SEISMOINSULATORS

Nadein V.A.¹
Puchkov V.N.²

¹OGS Energodiagnostika, Moscow, Russia

²Head of Laboratory. Mechanical Engineering Research Institute, Russia

@ Corresponding author: Puchkov V.N., e-mail: puchkov.v.n@bk.ru

Frictional pendulum bearings (FPB) have universal properties which can meet various requirements at exploitation of buildings, bridges and industrial constructions. The period of oscillations of the bearing, vertical bearing capacity, damping, ability to displacement and ability to perceive stretching loading - all this can get out independently. Bearings can maintain vertical loading up to 13.5 thousand tons and have minimal cost of a structure. The paper presents information on the effects of earthquakes and other enforcement influences on the thermal properties and tribological characteristics of the FPB.

В 1987 году появилось первое описание фрикционного маятникового подшипника скольжения, заявленного в качестве нового средства сейсмической изоляции крупных сооружений [1,2].

В настоящее время фрикционные маятниковые подшипники скольжения (ФМП) довольно широко используются при строительстве сооружений в сейсмоактивных зонах Америки и Японии в качестве демпферов (изоляторов) для защиты поддерживаемой конструкции от повреждений, возникающих в результате землетрясений, а также от силовых воздействий иного рода (ветер, тепловые деформации, ледовые и волновые нагрузки) [3,4].

По данным американских исследователей (М. Апоор и др.) самое большое в мире

здание с изолированным основанием (построенное в конце XX века) - новый международный аэровокзал в аэропорту Сан-Франциско может выдержать землетрясение до 8 баллов по шкале Рихтера, благодаря 267 фрикционным маятниковым подшипникам скольжения - сейсмическим изоляторам. Анализ показал, что фрикционная сейсмическая изоляция обеспечивает лучшие результаты по уменьшению сдвига основания, удовлетворению требованиям к податливости, перемещению и ожидаемому повреждению.

Была проведена оценка трех систем изоляции: фрикционных маятниковых подшипников (ФМП), свинцово-резиновых подшипников и подшипников из резины с высокой способностью к демпфированию - для одного и того же уровня сдвига сооружения и связанных затрат на конструкцию. Фрикционная маятниковая система оказалась наиболее экономичной. Система изоляции основания главных зданий аэровокзала в аэропорту Сан-Франциско допускала поперечные перемещения в 508 мм и позволяла рассчитывать энергию пиковых перемещений грунта при землетрясении.

На Рис.1 схематично показано устройство ФМП. Плита со сферической вогнутой поверхностью установлена наверху из соображений удобства в эксплуатации. При таком расположении вогнутой плиты загрязнения не попадают на поверхность скольжения.

Шарнирный ползун вместе с плитой корпуса совершает колебания относительно центра сферической вогнутой поверхности.

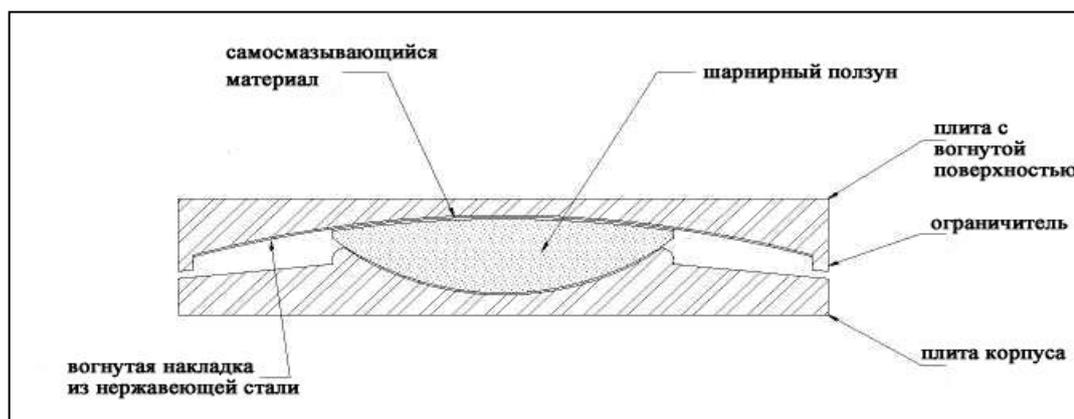


Рис. 1. Схема устройства фрикционного маятникового подшипника (ФМП)

Рабочие условия применения антифрикционного самосмазывающегося покрытия в маятниковом подшипнике скольжения:

Контактное давление: $P=30 \div 65$ МПа;
 Скорость скольжения: $V=0,025 \div 0,9$ м/с;
 Температура: $-40^{\circ}\text{C} \div +400^{\circ}\text{C}$ (500°C)
 Коэффициент трения: $0,04 \div 0,06$

Подшипники из литой стали включают сферическую вогнутую поверхность из нержавеющей стали и шарнирный ползун, которые обеспечивают период колебаний сейсмической изоляции 3 с и снижают требования к силе землетрясения на 70%.

ФМП имеют свойства, которые выгодны при применении для сейсмической изоляции цистерн. Естественный период колебаний подшипников не зависит от массы жидкости, температуры, возраста подшипников. Материалы подшипников устойчивы к воздействию химических веществ, огня и предельных температур. Высокие коэффициенты запаса по прочности реализуются при смещении подшипника, чтобы противостоять суммарным воздействиям поперечных и вертикальных толчков и опрокидывающим моментам.

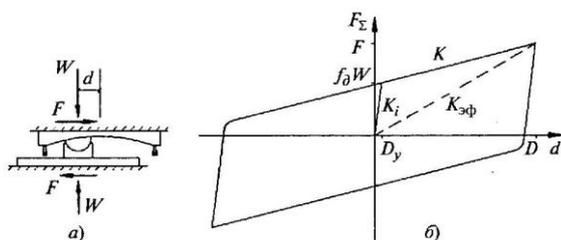


Рис.2. Свойства ФМП: f_0 = динамический коэффициент трения; D = проектное смещение; d – поперечное перемещение; W = вертикальная нагрузка ;
 $F = f_0 W + [W / R] D$; R = радиус кривизны;
 $T = \text{период подшипника} = 2\pi \sqrt{R / g}$; K_i = начальная жесткость = $f_0 W / D_y$; $K_{эфф}$ = эффективная жесткость = F / D ; $K = \text{жесткость ФМП} = W / R$; $T_{эфф}$ = эффективный период = $2\pi \sqrt{W / K_{эфф} \cdot g}$; ξ = эффективное демпфирование = $(2/\pi) [f_0 (f_0 + D/R)$, где W - поддерживаемый вес, R - радиус кривизны вогнутой поверхности.

Фрикционные маятниковые подшипники (Рис.2) можно моделировать как 2-линейные гистерезисные элементы. Боковая восстанавливающая жесткость ФМП равна, $K = W/R$.

Собственный период горизонтальных колебаний опоры с маятниковым подшипником скольжения определяется из уравнения маятника и равняется: $T = 2\pi \sqrt{l/g}$, где l есть длина радиуса кривизны R (эквивалентная длина маятника), а g ускорение свободного падения. Это уравнение является достаточно точным при отклонениях маятника до 45° , что значительно больше, чем предельный угол отклонения радиуса сферической поверхности ФМП.

Когда ползун перемещается по вогнутой поверхности, заставляя поддерживаемую массу подниматься, составляющая силы тяготения, параллельная поверхности (сдвигающая сила), стремится вернуть его в исходное состояние и обеспечивает жесткость ФМП в процессе скольжения.

Сдвигающая сила, действующая в подшипнике, вычисляется из:

$$F = \frac{P}{R} \cdot \delta + \mu \cdot P \quad (1)$$

где μ - коэффициент трения; δ - относительное горизонтальное перемещение по подшипнику; P - сила, нормальная к подшипнику, определяемая выражением:

$$P = W \left(1 + \frac{\Delta P}{W} + \frac{\ddot{u}}{g} \right),$$

где W - статическая нагрузка на подшипник; ΔP - приращение силы из-за сферической формы подшипника; \ddot{u} - вертикальное ускорение. Первый член выражения (1) - возвращающая сила изолятора, которая определяет наклон кривой сила-перемещение в процессе скольжения. Второе слагаемое - сила трения между ползунком и вогнутой поверхностью скольжения. Коэффициент трения μ является функцией скорости скольжения и давления в подшипнике [2]: $\mu = \mu_k + (\mu_s - \mu_k) \cdot e^{(-a|\dot{u}|)}$, где μ_k - динамический коэффициент трения; μ_s - статический коэффициент трения; a - коэффициент, зависящий от скорости. Коэффициент трения быстро воз-

растает от μ_s до μ_k при малых скоростях (прибл. 25 мм/с) и при дальнейшем увеличении скорости остается постоянным. Поскольку вызванные землетрясением смещения возникают первоначально в маятниковых подшипниках, боковые нагрузки и колебательные движения, передаваемые на конструкцию, существенно понижаются [3,4].

Список литературы

1. United States Patent N 4,644,714 Victor A. Zayas. *Earthquake protective column support*, 1987.

2. Constantinou M.C., Mokha A.S., Reinhorn A.M. (1990) "Experimental and Analytical Study of a Combined Sliding Disc Bearing and Helical Steel Spring Isolation System", Report NCEER-90-0019, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.

3. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. *Трение и износ в экстремальных условиях*. М: Машиностроение, 1986.р.223.

4. Дроздов Ю.Н., Надеин В.А., Пучков В.Н. *Трибологические характеристики фрикционных сейсмоизоляторов маятникового типа // Трение и износ, № 2, 2007, V.28, p.119-127.*

УДК 621.891:539.2

МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД КАК ПОКРЫТИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СМАЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ МАСЕЛ

Буяновский И.А.¹, д.т.н., зав. лабораторией;

Левченко В.А.², к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник;

Большаков А.Н.¹, научный сотрудник;

Матвеев В.Н.², д.х.н., профессор

¹ФБГУН Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Москва, 101990, Россия.

²Химический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

@Автор для переписки: Буяновский И.А. e-mail: buyan37@mail.ru

Показано, что повышение смазочной способности масел может быть достигнуто не только за счёт применения дорогих и не всегда экологически чистых присадок, но и путём нанесения на поверхности трения углеродных алмазоподобных покрытий, в частности, покрытий монокристаллическим углеродом, обеспечивающим повышение ориентацию молекул масла в граничном смазочном слое, и, тем самым, как повышение антифрикционных свойств

масел, так и расширение температурного диапазона их работоспособности.

Ключевые слова: монокристаллические углеродные плёнки, покрытия-ориентанты, смазочная способность масел, граничный слой, коэффициенты трения

THE MONOCRYSTALLINE CARBON AS COATING FOR STEEL PARTS TO IMPROVE THE LUBRICATING ABILITY OF OILS

Buyanovskii I.A.¹;

Levchenko V.A.²;

Bolshakov A.N.¹;

Matveenko V.N.²

¹Blagonravov Mechanical engineering research Institute of Russian Academy of sciences, Moscow, 101990, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Chemical Department, Moscow, Russia

@ Corresponding author e-mail: buyan37@mail.ru

It is shown that to improve lubricity of oils may be achieved not only through the use of expensive and not always environmentally friendly additives, but also by applying the carbon diamond-like coatings on the friction surfaces, in particular coatings of monocrystalline carbon, providing improved orientation of the molecules of the oil in the boundary lubrication layer, and, thereby, improving the antifriction properties of oils and expansion of temperature range of their operability.

Key words: monocrystalline carbon film, coating-orientant, the lubricity of the oil, boundary layer, friction coefficients

1. Введение. Одной из актуальных задач, стоящих перед специалистами в области трения, износа и смазки машин является обеспечение получения заданного значения коэффициента трения в смазанных узлах трения – от минимально возможного для уменьшения энергетических затрат до достаточно высокого и устойчивого для вариаторов, фрикционных муфт и т.д. В настоящее время эта задача решается, главным образом, путём введения в смазочные масла тех или иных трибологически активных присадок, которые обычно достаточно дороги и зачастую экологически небезопасны. Нами предлагается решить её путём использования углеродных алмазоподобных покрытий-ориентантов. Ранее [1] было показано, что углеродные покрытия, имеющие монокристаллическую структуру двумерно - упорядоченного линейно – цепочечного углерода, являются превосходными ориентантами: они повышают уровень структурной упорядоченности молекул смазочного материала в граничном слое, обеспечивая тем повышение его антифрикционных свойств. [2, 3]. Было высказано предположение, что на поверхности могут образовываться дополнительные адсорбционные центры при легировании поверхностного слоя азотом (интеркалирования атомов азота).

В предлагаемой работе исследуется смазочная способность стойкость инактивного масла при трении стали по стали и по углеродным покрытиям и делается попытка повысить антифрикционные свойства покрытия путём легирования его азотом.

2. Методика исследования и исследуемые материалы. Исследование влияния легирования азотом углеродных покрытий на их антифрикционные свойства при трении в модельных смазочных средах проводили на машине трения ДС-3 [2, 3], реализующей трение неподвижного шарика диаметром 12,7 мм по вращающемуся с частотой $0,1 \text{ мин}^{-1}$ диску, установленному на вертикальном валу в масляной ванне. Испытания проводили по двум методикам:

при первой испытании проводили при постоянных нагрузке и скорости скольжения, но при увеличении объёмной температуры узла трения, а при второй – при ступенчатом нагружении узла трения грузами от 0,4 до 12,4 Н. Продолжительность испытания при каждой нагрузке – 30 с. В процессе испытания регистрировали момент трения. В обоих случаях использовали стандартные шарики из стали ШХ-15; диски – также из этой стали, закалённые и отпущенные до 6800 – 7200 МПа; рабочие поверхности дисков шлифовали и полировали до значения параметра шероховатости $Ra = 0,07 – 0,09 \text{ мкм}$. На поверхности дисков наносили углеродные покрытия толщиной 3 мкм со структурой двух типов: аморфной (алмазоподобные покрытие) и монокристаллической [3]. Покрытия с монокристаллической структурой (МКУ) при испытаниях по второй методике были легированы азотом в концентрации от 1 до 7%.

Аморфные углеродные покрытия получены при импульсной конденсации ($\tau = 400 \text{ мкс}$, $\nu = 3 \text{ Гц}$) углеродной плазмы ($\rho = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, степень ионизации 95%). Монокристаллические плёнки двумерно-упорядоченного линейно-цепочечного углерода также получены методом импульсной конденсации углеродной плазмы, но в отличие от аморфных – в среде азота с дополнительным облучением ионами Ar^+ [4]. Нанотвёрдость углеродных плёнок составляет $\text{HV} = 60000 \text{ МПа}$. В качестве смазочных материалов использовали модельные среды: инактивное масло ВМ - вазелиновое медицинское и это же масло с поверхностно- активной присадкой - олеиновой кислотой (концентрация 1%).

3. Результаты трибологических экспериментов. Результаты первой серии испытаний представлены на рис. 1 в виде зависимостей коэффициента трения от температуры в трибологическом контакте, задаваемой от внешнего источника тепла.

Как видео из рисунка, покрытие монокристаллическим углеродом при смазывании маслом ВМ (кривая 2) обеспечило наиболее низкий коэффициент трения (даже более низкий, чем при испытании того же масла ВМ, но с присадкой 1% олеиновой кислоты при трении стали по стали

(кривая 4) и существенно более низкий коэффициент трения, чем при трении сталь по стали и сталь по покрытию аморфным углеродом в масле ВМ (кривые 1 и 3). При этом температурный диапазон применимости смазочного материала в первом случае составляет 130°C , а во втором - 115°C .

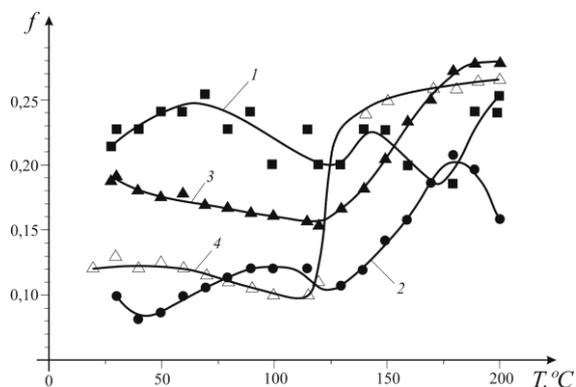


Рис. 1. - Зависимости коэффициентов трения от температуры испытаний в среде ВМ для пар трения: сталь – аморфный углерод (1), сталь – монокристаллический углерод (2); сталь – сталь без покрытия (3); и в среде ВМ + 1% олеиновой кислоты для пары трения сталь – сталь без покрытия (4). Испытания на машине ДС-3, нагрузка 7,4 Н, скорость 0,24 мм/с, скорость подъёма температуры – $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$

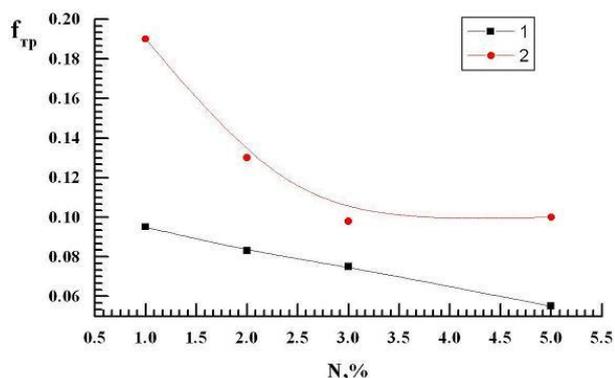


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ стальных образцов с углеродным монокристаллическим покрытием от содержания N азота в условиях: 1 – смазывания вазелиновым маслом +1% олеиновой кислоты; 2 – без смазочного материала

На рис. 2 приведены зависимости коэффициента трения образцов с покрытием из монокристаллического углерода (с различ-

ным содержанием азота) от содержания азота в покрытии при смазывании вазелиновым маслом с 1% олеиновой кислоты (1) и при трении без смазочного материала (2) приведены на рис. 1. Как видно из указанного рисунка, коэффициенты трения с увеличением содержания в покрытии азота постепенно снижаются. Для дальнейших исследований было выбрано содержание азота в монокристаллическом покрытии – 5% и результаты испытаний этих покрытий для трёх сравниваемых смазочных сред в сравнении с испытаниями в тех же средах сталей без покрытия и с алмазоподобным аморфным покрытием при различных нагрузках приведены ниже. На рис. 3 приведена зависимость коэффициента трения от нагрузки при трении стальных образцов без покрытия (3), образцов с аморфным покрытием (2) и образцов с покрытием МКУ (1) в среде масла ВМ. Как и на рис. 1, лучшие результаты получены при трении стали по МКУпокрытия.

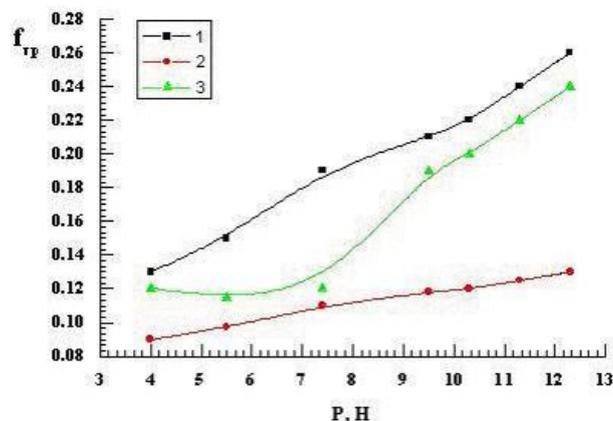


Рис. 3. Зависимости коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ от нагрузки P при трении в среде инактивного вазелинового масла образцов: 1 – стали с покрытием аморфного углерода; 2 – стали с покрытием монокристаллического углерода; 3 – стали без

4. Обсуждение результатов и выводы. Таким образом, в результате экспериментального исследования двумя методами показано, что монокристаллические углеродные покрытия, обеспечивают снижение коэффициента трения стальных образцов как по сравнению с коэффициентом трения стальных образцов без покрытия, так и по сравнению с коэффициентом трения

стальных образцов с аморфным покрытием. Легирование МКУ покрытия атомами азота обеспечивает заметное снижение коэффициента трения для условий смазывания двумя модельными композициями и для условий трения без смазочного материала. Снижение коэффициента трения при увеличении содержания азота в МКУ покрытия при трении без смазочного материала объясняется как частичной графитацией монокристаллического углерода при трении, а также возникновением новых адсорбционных центров на поверхности МКУ покрытия.

Список литературы

1. Левченко В.А., Матвеев В.Н., Дроздов Ю.Н., и др. Антифрикционное покрытие. Патент РФ №2230238, МКИ 7 F 16 C 33/04, Оубл. 10.06.2004, Бюл. №16
2. Дроздов Ю.Н., Буяновский И.А., Левченко В.А. и др. Твёрдые углеродные покрытия и граничная смазка стальных деталей// Проблемы машиностроения и надёжность машин. - 2014, № 5, 55-63 с.
3. Большаков А.Н., Буяновский И.А., Игнатъева З.В. и др. Лабораторные трибологические испытания тонких покрытий в смазочных средах//Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2011, № 11, с. 27-31 с

УДК 621.373.5

СБОРКА ТЕРМОКОМПЕНСИРОВАННЫХ КВАРЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Бойчук М.И., аспирант 2-го года обучения

Микаева С.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и механики

Физико-технологический институт Московского технологического университета, 107076, Россия, город Москва

© Автор для переписки: Бойчук М.И. e-mail: boychukmi@gmail.com

В статье описана проделанная работа по созданию макетной партии и сборке термокомпенсированных кварцевых генераторов ГК-362 на заданную частоту. На основании партии резонаторов, был описан алгоритм отбраковки кварцевых элементов и микросхем, получены данные по характеристикам параметров чипов, необходимые для улучшения качества процесса компенсации. Проведены комплексные испытания готовых сборок, сформулированы условия к резонатору и кристаллу, позволяющие выполнить термокомпенсацию.

Ключевые слова: термокомпенсация; кварцевый генератор; ёмкость; частота; перестройка; резонатор.

THE ASSEMBLY OF THE TEMPERATURE-COMPENSATED

CRYSTAL OSCILLATORS

Boychuk M. I.
Mikaeva S.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute.

© Corresponding author e-mail: e-mail boychukmi@gmail.com

The article describes the work undertaken to create prototype part and Assembly temperature-compensated crystal oscillators GK-362 at a given frequency. On the basis of the party of resonators has been described, the algorithm of rejection of the quartz element and circuitry, the obtained data on characteristics of chips required to improve the quality of the compensation process. Conducted comprehensive testing of finished assemblies, the conditions and the resonator and the crystal, allowing to perform temperature compensation.

Key words: temperature compensation; crystal oscillator; capacity; frequency; alteration; resonator.

Полученные в настоящее время достижения в области проектирования термокомпенсированных кварцевых генераторов с резонаторами АТ-среза позволяют реализовать температурную стабильность частоты $\Delta f/f = \pm(1...5) \times 10^{-6}$ [1]. Однако на практике производство таких высокостабильных генераторов связано со значительными трудностями вследствие немонотонности температурно-частотных характеристик (ТЧХ) кварцевых резонаторов [2, 3].

Обычно это выражается в скачке частоты ТЧХ при определенных температурах. Вероятность возникновения скачка частоты зависит от многих факторов: частоты резонатора (толщины пьезоэлектрической пластины), его конструктивных особенностей, технологии изготовления, качества применяемого кварца и других.

Для качественной термокомпенсации необходимы удовлетворяющие необходимым параметрам кварцевые элементы. Для получения первой партии резонаторов были сформированы первичные требования, которые основывались на опытной прикидке, такие как: частота настройки – 11999820 Гц; ёмкость настройки – 9 pf. Пробная партия резонаторов состояла из 22 изделий. Из них по разным причинам в брак попали 8 шт. После чего разброс частоты при температуре -20°C сократился с ± 53 ppm (частей на миллион — единица измерения концентрации) до $\pm 13,5$ ppm, при таких отклонениях возможна термокомпенсация. Результаты отбраковки приведены в табл. 1.

Таблица 1
 Экспериментальные результаты пробной партии резонаторов

Параметры	До отбраковки	После отбраковки
Количество	22 шт.	14 шт.
Частота	11999820 Гц	12000650 Гц
Ёмкость	11 pf	8,6 pf
Разброс по частоте при 25°C	± 48 ppm	$\pm 12,5$ ppm
Разброс по частоте при -20°C	± 53 ppm	$\pm 13,5$ ppm

Для получения качественных сборок были отбракованы неподходящие резонаторы по следующим параметрам: сопротивление, угол среза и частота. Отбраковка производилась при помощи программы Can2Din и выполнялась оператором по конкретно заданным параметрам. После отбраковки была получена партия из 14 годных резонаторов.

Второй составляющей качественной термокомпенсации, являлась микросхема K5860ГН2Н4. Изменение частоты в ней происходило благодаря трём изменяемым

ёмкостям: варикапу термокомпенсации (PP), магазину ёмкостей (СССФ), варикапу внешней подстройки (Vc), где PP и Vc – динамически изменяемые ёмкости. Ёмкость PP – перестраивается за счет напряжения **цифро-аналогово преобразователя** (ЦАП), которая формируется полиномом термокомпенсации с учетом цифрового значения температуры. Vc – изменяется за счет напряжения управления и используется для компенсации старения. СССРФ – магазин ёмкостей, который подбирается при настройке, прожигается и далее остается неизменным.

При измерениях, разброс значений ёмкостей каждого из элементов перестройки у одного чипа при одном напряжении связан с изменением дополнительно подключенных ёмкостей. Для напряжения 3,3В перестройка от PP меняется от 2,22pf до 2,27pf, что составляет $\pm 0,03$ pf от среднего значения. Минимальное значение получается при отключенных дополнительных ёмкостях (СССФ и Vc), а максимальное при подключении всех ёмкостей. Таким образом, перестройка от варикапа термокомпенсации варьирует в пределах 2,6% от среднего значения.

Зависимость изменения частоты от изменения напряжения на варикапе очень важна для улучшения качества работы алгоритма настройки генератора. Данные снимались с шагом в 10 единиц по шкале цифрового кода. Это делалось при помощи дополнительного программного оборудования. Как видно из полученных результатов, при минимальном значении цифрового кода 0, перестройка частоты минимальна, при максимальном значении цифрового кода 4095, перестройка частоты максимальна. Зависимость изменения частоты от изменения напряжения на варикапе нелинейная. Нелинейность отчетливо проявляется при значениях кода компенсации от 0 до 250 единиц, далее изменение приобретает более плавный характер. Исходя из этого, рационально выбирать коридор термокомпенсации, так чтобы не использовать первые 250 единиц PP. Это может быть достигнуто за счет подбора соответствующей ёмкости магазина ёмкостей СССРФ. Магазин ёмкостей СССРФ состоит из

15 подключаемых ёмкостей СС с большим шагом (перестройка 14 ppm) и 63 ёмкостей СF с мелким шагом (перестройка 2 ppm). Это обеспечивает высокую точность и большой диапазон настройки (16 ppm). Магазин ёмкостей позволяет сдвинуть кривую температурно-частотной характеристики (ТЧХ) вниз, обеспечивая наиболее оптимальное позиционирование ТЧХ относительно заданной частоты настройки. Следует заметить, что ёмкость всего магазина СF дает перестройку сопоставимую с двумя шагами магазина СС. Видно, что перестройка уменьшается с увеличением СС, а соответственно и с увеличением частоты. Это позволяет сделать вывод о большем эффекте от СССF для нижней части ТЧХ.

Таблица 2

Перестройка за счет варикапа V_c при разном напряжении питания

При температуре 25 °С			
Напря- жение	Мин.перест ройка	Мак.перест ройка	Сред- нее на- пряже- ние
3,3В	8 ppm	11 ppm	1,1В
5В	10 ppm	14 ppm	1,6В
При температуре -20 °С			
Напря- жение	Средняя перестройка		Сред- нее на- пряже- ние
3,3В	10 ppm		1,1В
5В	13 ppm		1,5В

Варикап V_c используется для компенсации процесса старения кварцевого элемента. В табл. 2 приведено описание перестройки за счет варикапа V_c при разном напряжении питания в нормальных условиях. Перестройка в генераторах с напряжением питания 3,3 В меньше за счет того, что V_c меняется от 0 до напряжения питания. А минимальное и максимальное значение перестройки обусловлено съемом изменения частоты при минимальных и максимальных ёмкостях РР и СССF.

В ходе испытаний смонтированной продукции был выявлен брак генераторов по причине неработоспособности микросхемы. Для повышения процента выхода

годной продукции было принято решение браковать негодные к термокомпенсации чипы, которые составляют 10-15% от общего количества. Для проверки чипов, на которых не смонтирован резонатор, необходимо при помощи колодки прижать тестовый резонатор с напаянными золотыми проволочками к корпусу микросхемы. После чего при помощи программы оценить работоспособность по трем критериям. При несоблюдении одного из критериев чип признается негодным. У отбракованных микросхем была измерена эквивалентная ёмкость. Среднее значение ёмкости для партии из 15 микросхем равняется 8,6 pF. Именно по этой причине настройка кварцевых элементов ведется при ёмкости нагрузки 8,6 pF. Из полученных результатов видно влияние отклонения ёмкости чипа на уход частоты у генератора. При этом следует выделить интервал эквивалентной ёмкости ± 0.13 pF. Он обеспечивает хороший процент выхода годных (87 %) и незначительное отклонение по частоте ($\pm 3,8$ ppm). Такое отклонение при $C1=6,13$ pF не скажется принципиально на возможность термокомпенсации. Монтаж резонатора осуществлялся пайкой в инфракрасной печи. При утвержденном температурном режиме с выдержкой на максимальной температуре в течение 30 секунд. При этом происходит термоудар, оказывающий незначительное влияние на параметры устройства. После сборки коридор разброса температурно-частотной характеристики всей партии уменьшился. Из чего следует сделать вывод, что процесс сборки генератора положительно влияет на параметры конечного устройства. Возможно это происходит из-за термоудара, который сильно старит как резонатор, так и микросхему компенсации. В партии готовых сборок разброс по частоте при разных температурах сопоставим и меньше разброса партии резонаторов. Таким образом, мы можем сделать вывод: рекомендуемая частота настройки резонаторов 11 999 800 Гц. Используя данную методику подбора резонаторов, мы можем получить долговременную нестабильность частоты порядка $\Delta f/f = \pm 5 \times 10^{-6}$ за период 15 000 часов для термокомпенсированных кварцевых генера-

торов в SMD корпусе.

Список литературы

1. Патент РФ № 2311726, опубликованный 27.11.2007. авторы Рогозинский Алексей Владимирович (RU), Литвинов Валентин Петрович (RU), Финкель Илья Викторович (RU), Пашков Сергей Сергеевич (RU), Васильев Александр Михайлович (RU), Овчинников Михаил Юрьевич (RU).

2. Микаева С.А., Бойчук М.И. Сборка кварцевых генераторов. Сборка в машиностроении, приборостроении. М. 2016. №10. С. 7-11.

3. Микаева С.А., Микаева А.С., Бойчук М.И. Термокомпенсированные кварцевые генераторы. Международная научно-практическая конференция Новая наука: стратегия и векторы развития (Магнитогорск)/ Стерлитамак: АМИ, 2017, №2., ч.2. с. 139-141.

УДК 66.02:665.6

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛЕНА ПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ ЧИСТОТЫ ПРИ КАСКАДНО- АВТОМАТИЧЕСКОМ СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГИДРИРОВАНИЯ

Курнасов Е.В.¹, к.т.н., доцент;
Мальшкин А.Б.², младший научный
сотрудник

¹Институт информационных технологий Московского технологического университета

²ООО «ВНИИОС-наука»

© Автор для переписки: Курнасов Е.В. e-mail:
Kurnasov@mirea.ru

Работа посвящена внедрению эффективных принципов управления установками селективного гидрирования ацетиленистых соединений в этан-этиленовой фракции. Отмечено, что традиционно используемые в промышленности методы реализации систем управления адиабатическими реакторами имеют ряд существенных недостатков. Предложена концепция, позволяющая повысить качество гидрируемой фракции, а также сократить потери целевого продукта.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, селективное гидрирование, этилен, этан-этиленовая фракция (ЭЭФ), ацетилен, катализатор

TECHNOLOGY FOR OBTAINING ETHYLENE POLYMERIZATION PURITY USING CASCADE-

AUTOMATIC CONTROL METHOD OF HYDROGENATION PROCESS

Kurnasov E.V.¹;
Malyshkin A.B.²

¹Moscow technological university. Institute of information technology

²LLC «VNIOS-science»

©Corresponding author: e-mail: Kurnasov@mirea.ru

The work is dedicated to implementation of the effective principles of management of installations of selective hydrogenation the acetylene of connections in ethane-ethylene fraction. It is noted that the implementation methods of control systems of adiabatic reactors which are traditionally used in the industry by have a number of essential shortcomings. The conception of improving the quality of the hydrogenation fraction and reducing losses of a target product is proposed.

Key words: automated control system, selective hydrogenation, ethylene, ethane-ethylene fraction, acetylene, catalyst

Производные этилена (полиэтилен, полипропилен и другие полимеры) находят широкое применение в машиностроении – из них изготавливают ответственные детали машин и механизмов [1-3], рабочие детали насосов, кулачковые механизмы, зубчатые и червячные колеса, крышки подшипников, уплотнения [2], шайбы, гайки, детали точной механики, а также детали для работы в агрессивных средах [3].

Учитывая, что по объёмам производимого этилена в основном определяется

путь развития нефтехимической отрасли и уровень экономики страны, задача усовершенствования технологий, связанных с получением и дальнейшей его переработкой является актуальной.

Процесс гидрирования ацетиленистых соединений является неотъемлемой частью в производстве этилена. Необходимость этого процесса связана с тем, что для получения целевого продукта – этилена полимеризационной чистоты, необходима очистка пиролизных этан-этиленовых фракций от примесей ацетилена. При этом существует вероятность протекания побочных реакций, таких как перегидрирование этилена в этан, образование «зеленого масла», олигомеризация ацетилена и этилена, а также образование с течением времени различных видов углеводородных отложений на поверхности катализатора, что безусловно, отрицательно сказывается на производительности установки гидрирования и последующей стадии переработки этан-этиленовой фракции, с выделением этилена полимеризационной чистоты.

Следует отметить, что исследования в этой области прежде всего направлены на создание высокопроизводительного отечественного катализатора [4, 5], соизмеримого по активности с известными и широко применяемыми промышленными катализаторами, но обладающего повышенной механической прочностью и селективностью. Либо на использование побочных продуктов гидрирования этан-этиленовой фракции (ЭЭФ), например, в работе [6] приводится метод использования подобных побочных продуктов гидрирования в качестве лакокрасочных материалов, получены композиционные пленкообразующие материалы, рекомендуемые для создания эффективных защитных покрытий. При этом повышению эффективности основных энергоёмких процессов на основе поиска рациональных методов их управления не уделяется должного внимания.

В связи с этим, весьма актуальной в настоящее время является задача создания высокоэффективной системы управления процессом селективного гидрирования ацетиленистых соединений, способной сократить затраты на проведение основных

энергоёмких процессов и стадий очистки фракции от микропримесей, с одновременным повышением качества и выработки товарного этилена [7].

Традиционно, на промышленных предприятиях используется хвостовой способ гидрирования ацетиленистых соединений (в иностранной литературе – $C_2TailEnd$), управление которым осуществляется температурой на входе в установку гидрирования и подачей необходимого количества водорода. Основными минусами такого подхода является то, что в расчёт не принимается фактор колебания качества сырья, в следствие чего изменяется концентрации ацетилена. В связи с этим, оператор установки гидрирования вынужден задавать избыточную дозировку водорода, а также осуществлять управление температурой процесса, т. е. энергией реакции, в ручном режиме. Кроме того, нужно учитывать, что при концентрации ацетилена в ЭЭФ на выходе из реактора – более 1 ppm, прогидрированные углеводороды фракции C_2 будут сжигаться на факеле как брак, что влечёт существенные финансовые потери.

Повышение качества и выработки товарного этилена можно достичь благодаря использованию, в системе каскадно-автоматического управления производством этилена, современных средств автоматизации на основе промышленных контроллеров, что позволяет реализовать достаточно сложные алгоритмы управления дозировкой водорода.

Для определения количества водорода, требуемого для успешного гидрирования, предлагается использовать метод [7], основу которого составляет оценка фактического и расчётного коэффициента соотношения нагрузки по сырью и водороду.

Рассмотрим работу системы управления производством этилена с учётом предлагаемых решений. Здесь стоит заметить, что они связаны не с конструктивной особенностью установки гидрирования, теплообменного и всевозможного вспомогательного оборудования, а с подходом к реализации системы автоматизированного управления процессом гидрирования ацетиленистых соединений.

Работа системы управления начинается с процедуры стабилизации процесса гидрирования, т.е. достижение допустимых значений по концентрации ацетилена в этан-этиленовой фракции, за счёт использования расчётного коэффициента соотношения нагрузки по сырью и водороду (K_p).

Вначале в установку гидрирования подаётся сырьё (этан-этиленовая фракция) и водород, в количестве, исходя из средне-статистического значения, подаваемого при данной нагрузке по сырью.

Далее, по методике [7] вычисляется и фиксируется рабочий коэффициент соотношения нагрузки по сырью и водороду (K_p). При этом определяется точное количество водорода $G(H_2)$, которое необходимо подать в установку гидрирования при данной концентрации ацетилена в ЭЭФ. Подача водорода в таком количестве осуществляется до тех пор, пока не изменится нагрузка по сырью на входе в установку гидрирования.

Изменение нагрузки по сырью и количество подаваемого водородсодержащего газа фиксируется с помощью соответствующих расходомеров, и используется системой для определения фактического коэффициента соотношения нагрузки по сырью и водороду (K_f).

При изменении расхода ЭЭФ, подаваемой в установку гидрирования, меняется коэффициент K_f . Система управления автоматически, опираясь на расчётное значение рабочего коэффициента K_p и текущее значение коэффициента K_f , корректирует подачу водорода.

Таким образом, на выходе из устройства гидрирования концентрация ацетилена будет существенно снижена (до значений, не превышающих 1 ppm), это в свою очередь позволит уменьшить риски потери целевого продукта, и что немало важно – сделать весь процесс производства этилена безопасным.

В заключение следует отметить, что одним из факторов, не позволяющих повысить уровень автоматизации промышленного предприятия, является отсутствие достаточной гибкости управления оборудованием [8, 9]. Поэтому, предлагаемые

выше решения необходимо сочетать с корректным выбором оборудования, осуществляющего автоматическое выполнение всех технологических операций производства этилена.

Список литературы

1. Чижиков В.И. Проектирование упругого кинематического соединения бесшарнирного манипулятора для технологических операций в экранированной среде // Автоматизация. Современные технологии. 2013. № 5. С. 32-40.
2. Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П. Влияние параметров сборки бесконтактных уплотнительных устройств на герметичность шпиндельных узлов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 4. С. 15-19.
3. Крашенинников А.И., Кушнир А.П. Устройство для гидроабразивной смеси // Патент на полезную модель *RUS 118908*; 02.12.2011.
5. Качалова Т.Н., Хайруллина Л.И. Модернизация узла гидрирования этан-этиленовой фракции // Вестник Казанского технологического университета: Сборник научных трудов. Т. 15. Выпуск № 10. Казань: КНИТУ, 2012. С. 230–231.
6. Тюрина Л.А., Николаев С.А., Гуревич С.А., Кожевнич В.М., Смирнов В.В., Занавескин К.Л. Селективное гидрирование ацетилена на наноразмерных катализаторах // Катализ в промышленности. 2008. №5. С. 86–91.
7. Бондалетов В.Г., Вахрамеева О.В., Бондалетова Л.И., Огородников В.Д., Срыбных А.В. Композиционные пленкообразующие материалы на основе побочных продуктов гидрирования этан-этиленовой фракции // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317. № 3. С. 153–156.
8. Курнасов Е.В., Малышкин А.Б. Комплексный подход к управлению процессом селективного гидрирования ацетиленистых соединений // Вестник машиностроения. 2017. № 2. С. 56–59.
9. Холопов В.А., Павлов Н.Г. Проблемы конфигурирования компонентов автоматизированной системы управления технологическим процессом // Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Серия: Машиностроение. 2012. № 43. С. 27-31.
10. Холопов В.А., Ладынин А.И. Анализ структур АСУТП по отношению к типам производства // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 6. С. 7-11.

УДК: 681.2

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕПЕРНЫХ ЗНАКОВ

**Замула В.А., магистрант,
 Вигдорович Е.Н., профессор**

Физико-технологический институт Московского технологического университета

Стромынка 20, 107996, Москва

© Автор для переписки: Вигдорович Е.Н. e-mail: evgvig@mail.ru

Рассматриваются общие вопросы по проектированию и размещению специальных поверочных меток на поверхности печатной платы, более известных как реперные знаки. Работа проводится в соответствии с правилами проектирования, стандартизированных Ассоциацией производителей, использующих технологию поверхностного монтажа (Surface Mount Equipment Manufacturers Association) и поддерживаемых IPC.

Ключевые слова: реперные знаки, панели, печатные платы,

SOME ISSUES OF DESIGN OF FIDUCIALS ON THE PCB

**Zamula V. A.,
 Vigdorovich E. N.**

Moscow technological University. Physico-technological institute.

Stromynka 20, 107996, Moscow

Corresponding autor: Vigdorovich E.N. e-mail: evgvig@mail.ru

Addresses common questions on the design and location of the special calibration label on the surface of the printed circuit Board, better known as fiducials. Work is carried out in accordance with design rules standardized by the Association of manufacturers using surface mount technology (Surface Mount Equipment Manufacturers Association) and supported by the IPC.

Keywords: fiducials, panels, circuit boards,

Реперные знаки являются одним из элементов разводки печатной платы, созда-

ваемых одновременно с разводкой самой печатной платы. Реперные знаки обеспечивают общие точки, которые могут быть распознаны и обмеряны на всех этапах процесса сборки печатной платы. Это позволяет любому сборочному оборудованию точно распознавать расположение рисунка печатной платы.

Реперные знаки разбиты по следующим типам:

- **Общие реперные знаки:** Реперные знаки, используемые для обнаружения всех элементов на конкретной печатной плате. Когда мультиплицированные печатные платы обрабатываются как единая панель, общие реперные знаки могут также располагаться вместе с реперными знаками цельной панели. В таком случае они используются для обнаружения конкретных печатных плат на данной панели.



Рис.1. Общие и локальные реперные знаки

- **Локальные (местные) реперные знаки:** Реперный знак (или знаки) используемый для обнаружения позиции конкретной группы контактных площадок на печатной плате или компонента, что бывает необходимо для более точной установки таких компонентов, как QFP с шагом от 0,5мм.

- **Реперные знаки, содержащиеся в изображении печатной платы:** Общие реперные знаки на мультиплицированной панели печатных плат, расположенные в пределах периметра конечных печатных плат (т.е. плат, получаемых после разрезки панели).

- **Реперные знаки панели печатных плат:** Общие реперные знаки на мультиплицированной панели печатных плат, расположенные по внешней стороне периметра конечных печатных плат. Общие и/или панельные реперные знаки должны распо-

лагаться в узлах трех - точечной сеточной системы, левый нижний угол которой имеет координаты точки 0,0, а остальные две точки которой находятся на положительных осях в X и Y направлениях. Общие реперные знаки должны располагаться на всех слоях печатной платы, которые содержат компоненты, монтируемые автоматическим оборудованием. Это остается верным и тогда, когда печатная плата не содержит компонентов с мелким шагом (менее 0,5 мм.), так как большая часть современного оборудования для монтажа использует распознавание реперных знаков для выравнивания печатных плат в процессе производства. Использование других объектов на печатной плате (сквозные отверстия, и.т.д.) вместо реперных знаков может снизить точность установки компонентов.

Сдвиги. Минимум два общих реперных знака смогут обеспечить при необходимости корректировку печатной платы при сдвиге (оси X и Y) и повороте (ось Z). Такие общие реперные знаки должны быть расположены диагонально, на максимально возможном удалении друг от друга на печатной плате или панели.

Нелинейные искажения. Минимум три реперных знака смогут обеспечить при необходимости корректировку нелинейных искажений, таких как нарушение масштаба, вытягивание или сдвиг рисунка печатной платы. Подобные реперные знаки должны быть расположены по треугольной схеме и располагаться как можно дальше друг от друга на печатной плате или панели.

Локальные (местные) реперные знаки. Это реперный знак (или знаки) используемые для обнаружения позиции конкретной группы контактных площадок или компонента, что может быть необходимо при точной установке таких компонентов с шагом от 0,5 мм.

Поступательные сдвиги. Один или более реперных знаков смогут обеспечить при необходимости корректировку поступательных сдвигов (по осям X и Y). Подобные реперные знаки располагаются внутри периметра группы контактных площадок, преимущественно в ее центре.

Если имеются ограничения по месту на печатной плате, можно использовать как минимум один локальный реперный знак для корректировки поступательных сдвигов. В таком случае он располагается в центре группы контактных площадок.

Реперные знаки панели. Три реперных знака смогут обеспечить при необходимости корректировку поступательных и вращательных сдвигов для всей панели мультиплицированных печатных плат. Для этих целей три панельных реперных знака должны быть расположены по треугольной схеме как можно дальше друг от друга, вне периметра конечных печатных плат, расположенных на панели.

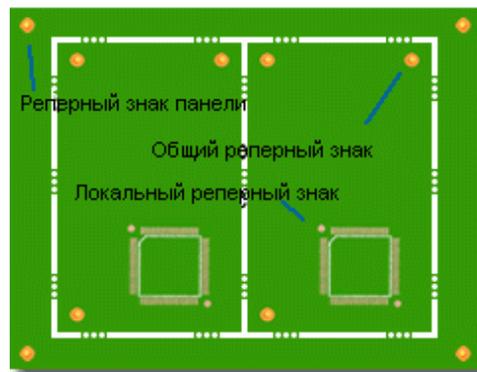


Рис.2. Реперные знаки панели

Проектирование реперных знаков. Минимальный рекомендуемый размер для реперного знака это 1 мм. Признаком хорошего тона делать реперные знаки одного размера, поскольку некоторое сборочное оборудование не настолько гибко способно перенастраиваться для распознавания реперных знаков различного размера на одной и той же печатной плате.

Форма. Существует несколько общепринятых форм. Некоторые говорят, что оптимальным реперным знаком является сплошной залитый круг.



Рис.3. Общепринятые формы реперных знаков

Размер. Минимальный диаметр реперного знака должен быть 1мм (0.040 дюйма). Максимальный диаметр реперного

знака должен быть 3мм (0.120 дюйма). Реперные знаки на одной печатной плате не должны отличаться в размерах более чем на 25 микрон (0.001 дюйма).

Свободная область вокруг реперного знака. Вокруг реперных знаков должна быть обеспечена область, свободная от любых других элементов печатной платы или каких-либо маркировок. Размер свободной области должен быть эквивалентен радиусу реперного знака. Предпочтительно делать свободную область вокруг реперного знака равным диаметру знака.

Свободная область на краю печатной платы. Расстояние от реперного знака, до края печатной платы или панели не должно быть менее чем сумма значений 4.75 мм [0.187 дюймов] (ширина области на краю печатной платы для транспортировки ее в устройствах, оборудованных конвейерами по стандарту SMEMA) и радиусом свободной области вокруг реперного знака.

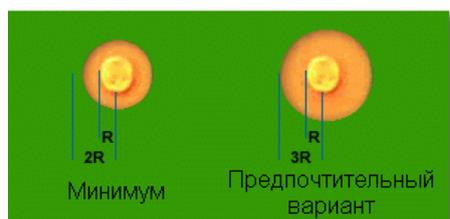


Рис.4 Свободная зона, вокруг реперного знака

Базовый материал. Предпочтительный базовым материалом является неизолированный или неизолированный, покрытый медью материал, защищенный антиокислительным покрытием. Это также может быть материал, покрытый никелем или оловом или с нанесенным паяльным припоем (HASL). Для оптимальной производительности оборудования должна быть обеспечена высокая степень контрастности между поверхностью реперного знака и соседней областью базового материала печатной платы.

Толщина покрытия. Для нормального использования толщина покрытия неизолированного, покрытого медью материала, должна быть от 5 до 10 микрон [0.0002 до 0.0004 дюймов]. Толщина паяльного покрытия никогда не должна превышать 25 микрон [0.001 дюйма].

Плоскостность. Плоскостность поверхности реперного знака должна быть в пределах 15 микрон (0.0006 дюйма).

Контактные площадки компонентов. Реперные знаки должны использоваться совместно с контактными площадками компонентов, которые проектируются с учетом требований IPC-SM-782.

УДК.621.791

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ В ГАЗОСОТАТЕ ДЕТАЛИ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Привезенцев В.И.¹, к.т.н., доцент
Новиков И.И.², магистрант
Елкин В.Н.², начальник группы

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

² Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им.

Н.А.Доллежала

© Автор для переписки: Новиков И.И., e-mail: Novikov.Iia.I@gmail.com

Работа посвящена модернизации технологии сварки деталей шагового двигателя в газосоте путем улучшения процесса вакуумирования аргоном и подготовкой свариваемых поверхностей перед сваркой. Приведены данные по давлению кислорода при различных степенях вакуума.

Ключевые слова: модернизация технологии сварки, газосота, шаговый двигатель

MODERNIZE WELDING PRACTICE PARTS OF INCHING MOTOR IN GAZOSTAT

Privezentsev V.I.¹, c.o.t.s., docent;
Novikov I.I.², postgraduate;
Elkin V.N.², head of group.

¹Moscow technological university. Physico-
technological institute

²N.A. Dollezhal Research and Development Insti-
tute of Power Engineering

@Corresponding author e-mail: e-
mail:Novikov.Ilia.I@gmail.com

*This work is dedicated to the modernization of welding prac-
tice parts of inching motor in gazostat by improving process
of vacuumization and preparation of welding surface before
welding. Some information of oxygen pressure during differ-
ent level of vacuum.*

*Key words: modernization of welding practice ;gazostat,
inching motor*

Основными требованиями к конструкциям сварных комбинированных магнитопроводов шаговых двигателей являются минимальные размеры зоны перехода от стали с немагнитными свойствами (08X18H10T) к магнитной стали (09X17H-Ш) и прочность сварного соединения, соответствующая условиям эксплуатации. В базовом технологическом процессе предусмотрены два способа изготовления магнитопроводов: электронно-лучевая сварка заготовок и аргонодуговая наплавка. Применение электроннолучевой сварки снижает трудоемкость изготовления магнитопроводов и позволяет оптимизировать геометрию соединения. Однако, электроннолучевая сварка, как и любая сварка плавлением, имеет зону перемешивания металлов (сварной шов), т.е. она не обеспечивает границу между соединяемыми металлами в виде плоской поверхности раздела. Кроме того, получение качественных сварных соединений сваркой плавлением затруднено из-за возможного образо-

вания в сварном шве трещин, пор, кратеров.

В настоящее время проводились исследования по сварке магнитопроводов в газостате, т.е. сваркой давлением. Технология производства опытных образцов проходила в несколько этапов. На первом этапе изготавливались заготовки с различными вариантами обработки свариваемых поверхностей, которые помещали в технологический контейнер цилиндрической формы и вакуумировали в электронно-лучевой установке. Контейнер заваривали ручной аргонодуговой сваркой с последующей проверкой на герметичность. После чего герметичные контейнеры помещали в газостат, где проходила сварка давлением (рис.1). Вторым этапом являлось изготовление контрольных образцов из зоны припуска сварной заготовки для оценки качества и прочности полученных сварных соединений.

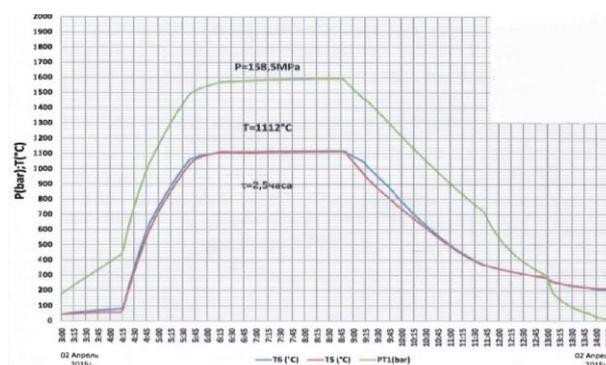


Рис. 1 - График изменения температуры и давления при сварке

Однако, в технологии изготовления шаговых двигателей в газостате имеются несколько недостатков. Одним из недостатков является схема нагружения заготовок в газостате в процессе сварки. Собранные в контейнере заготовки в виде дисков по мере повышения давления и температуры подвергаются всестороннему сжатию. При таком типе сварки нельзя точно рассчитать, в каких направлениях прикладываются напряжения и сложно оценить условия образования физического контакта свариваемых поверхностей.

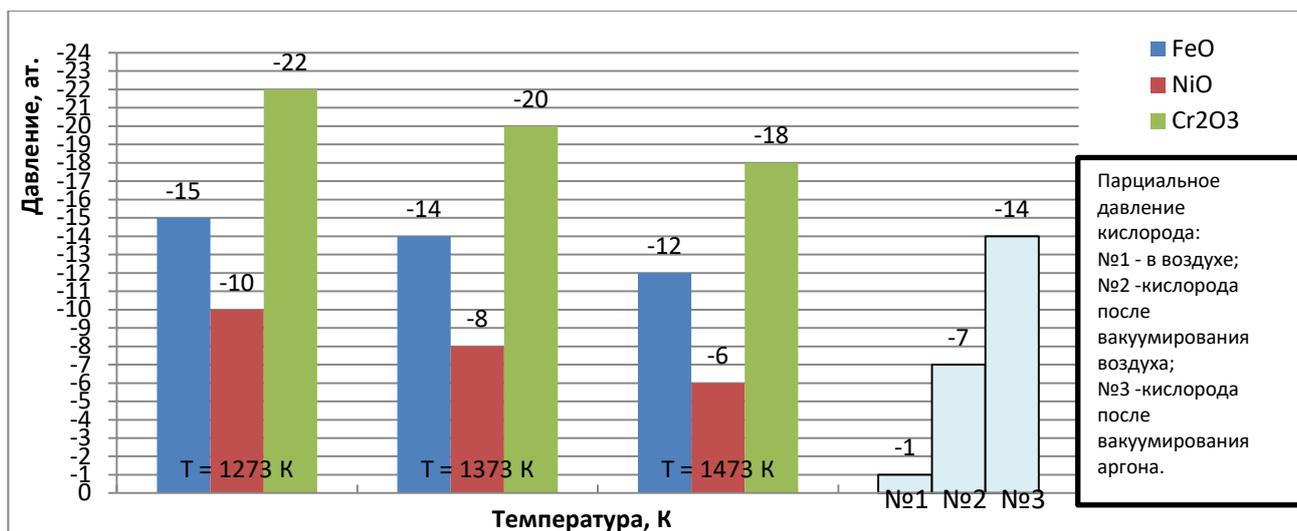


Рис. 2 -Термическая диссоциация оксидов

Еще одним недостатком является чистота и качество очистки свариваемых поверхностей за счет вакуумирования. Оксидные пленки могут препятствовать формированию прочного соединения при сварке давлением. Состав пленок существенно отличается от состава самого сплава. Оксид обогащается легирующим элементом в степени тем большей, чем больше сродство этого элемента к кислороду и чем легче условия диффузии его иона через пленку. Основным условием удаления оксидов за счет термической диссоциации /1/ является соотношение между упругостью диссоциации оксида и парциальным давлением кислорода в газовой фазе (рис.2). Была проведена оценка упругости диссоциации оксидов при температурах: 1237К, 1373 К, 1473 К. для реакций $Cr_2O_3 = 2Cr + 3O$; $FeO = Fe + O$; $NiO = Ni + O$ по уравнению:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H}{19,14T} + \frac{\Delta S}{19,14} + \frac{\Delta C_p * M}{19,14}$$

Оценка концентрации кислорода в газовой фазе показывает, что заполнение аргоном технологического контейнера с последующим вакуумированием позволяет получить восстановительную атмосферу для оксидов железа и никеля (парциальное давление кислорода 10^{-14} бар.). Известно, что для удаления оксидов термической диссоциацией необходимо свободное удаление продуктов диссоциации с поверхности, тогда как в газостате одновременно

повышается температура и давление, что ухудшает условия очистки. Целесообразно в начале цикла сварки не увеличивать давление и располагать заготовки в технологическом контейнере с зазором, что обеспечит улучшение условий удаления оксидов.

Таблица 1

Упругость диссоциации оксидов свариваемых металлов

	ΔH , кДж/моль	ΔS_0 , Дж/(моль*К)	ΔC_p , Дж/(моль*К)	$\lg K_p$ при 700 °С	$\lg K_p$ при 900 °С	$\lg K_p$ при 1100 °С
Cr ₂ O ₃	-1141,0	81,10	104,60	-77,03	-47,14	-59,56
FeO	-263,68	58,79	48,12	-20,58	-15,85	-12,49
NiO	-239,7	38,07	44,27	-17,95	-13,40	-10,17

Кроме того, сварка давлением обычно предусматривает сдавливание свариваемых деталей усилием направленным нормально к свариваемым поверхностям /2/. Для такой схемы напряженного состояния известны расчетные оценки, позволяющие приближенно определить время образования физического контакта и время образования связей между свариваемыми поверхностями. Как правило, время образования связей при температурах сварки

выше $0,4T_{пл}$ неизмеримо меньше времени деформации необходимого для сближения свариваемых поверхностей за счет смятия микронеровностей. Оценка времени сглаживания – образования физического контакта, выполненная в соответствии с методикой, изложенной в [3], показала, что для поверхностей выполненных чистовым точением время равно 5-6 минутам для никеля и примерно 1 часу для железа. Основным условием сглаживания является направление силы сжатия нормально к свариваемым поверхностям. Это условие может быть реализовано при сварке заготовки магнитопровода шагового двигателя за счет изменения конструкции технологического контейнера.

Выводы:

- для улучшения очистки свариваемых поверхностей за счет термической диссо-

циации оксидов следует проводить нагрев сборки в газостате без давления при свободном размещении свариваемых заготовок;

- цикл сварки в режиме сжатия рационально сократить в два раза по сравнению с базовым за счет изменения конструкции контейнера, обеспечив направление напряжений сжатия нормально к свариваемым поверхностям.

Список литературы

1. Теория сварочных процессов: Доп. УМО вузов в кач. Учебника для вузов. Неровный В.М., ред.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
2. Диффузионная сварка материалов. Справочник., "Машиностроение", Москва. 1981.
3. Основы сварки давлением. Гельман А.С. "Машиностроение", е. Москва. 1970

УДК 621.7

НА БАЗЕ МАШИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ФОРМИРУЕМОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ, ПРИ НАКАТЫВАНИИ ШАРИКОМ

Новичков А.А., магистр 2 курса

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

© Автор для переписки: Новичков А.А. e-mail: classic694@mail.ru

В данной работе рассмотрен способ расчета определения высоты формируемой шероховатости, при накатывании шариком, на базе машинного эксперимента. Преимущества машинного эксперимента в том, что не требуется измерение шероховатости на детали, расчёт производится теоретическим уравнением с дальнейшим кодированием исходных данных и составлением матрицы.

Ключевые слова: накатывание, индентор, машинный эксперимент, шероховатость, матрица.

ON THE BASIS OF MACHINE EXPERIMENT, DETERMINATION OF THE HEIGHT OF FORMABLE ROUGH, WHEN RUNNING BALL

Novichkov A.A.

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

© Author for correspondence: Novichkov AA E-mail: classic694@mail.ru

In this paper we consider a method for calculating the determination of the height of the roughness formed, when rolling with a ball, on the basis of a computer experiment. The advantages of the machine experiment is that it is not required to measure the roughness on a workpiece, the calculation is made by a theoretical equation with further coding of the original data and the compilation of a matrix.

Key words: rolling, indenter, machine experiment, roughness, matrix.

Накатывание – поверхностное пластическое деформирование при качении инструмента по поверхности деформируемого материала.

Задаем значениями входных факторов:

$$P_{max} = 600 \text{ МПа}, P_{min} = 400 \text{ МПа}, S_{max} = 0,4 \text{ мм/об}, S_{min} = 0,2 \text{ мм/об}, R_{max} = 5 \text{ мм}, R_{min} = 4 \text{ мм}, R_{z_{исхmax}} = 20 \text{ мкм}, R_{z_{исхmin}} = 10 \text{ мкм}.$$

Анализируя техническую литературу, находим теоретические зависимости для расчёта высоты шероховатости Rz, для обработки накатыванием отделочно-упрочняющей обработки:

$$Rz = R_{z_{исх}} - R_{p_{исх}} * 150P1 + f20,5\pi R_{пртмисх} H\mu 180 - \arccos S - \text{аплапл} 180 h_{кин} - h_{уп} + 2h_{уп} 0,5 + PR_{рис} x2\pi R_{пр} HB_{max} - HB_{min} 13 + S2r + Rz_{исх},$$

Производим кодирование исследуемых факторов:

$$X_1 = \frac{2S - S_{max} - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}; X_2 = \frac{2R - R_{max} - R_{min}}{R_{max} - R_{min}};$$

$$X_3 = \frac{2P - P_{max} - P_{min}}{P_{max} - P_{min}};$$

$$X_4 = \frac{2R_{z_{исх}} - R_{z_{исхmax}} - R_{z_{исхmin}}}{R_{z_{исхmax}} - R_{z_{исхmin}}}$$

Так как количество входных данных равно 4, то для составления матрицы планирования, выбираем метод дробно факторных экспериментов.

Количество испытаний для дробно факторных экспериментов определяется по формуле: $N = 2^{4-1} = 8$.

Исходя из формулы количество экспериментов будет равно 8 (таблица 1).

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ п/п	X1	X2	X3	X4
1	+	+	+	+
2	-	+	+	-
3	+	-	+	-
4	-	-	+	+
5	+	+	-	-
6	-	+	-	+
7	+	-	-	+
8	-	-	-	-

Далее требуется определить для каждого эксперимента высоту получаемой шероховатости, подставляя *max* и *min* значения входных факторов:

$$1) Rz = 0,02 - 0,008 *$$

$$150*6001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*400018$$

$$0 - \arccos 0,4 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 600*0,00823,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,4}{2*5} + 0,02 = 0,0112\text{мм}$$

$$2) Rz = 0,01 - 0,004 *$$

$$150*6001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*400018$$

$$0 - \arccos 0,2 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 600*0,00423,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,2}{2*5} + 0,01 = 0,0091\text{мм}$$

$$3) Rz = 0,01 - 0,004 *$$

$$150*6001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*400018$$

$$0 - \arccos 0,4 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 600*0,00423,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,4}{2*4} + 0,01 = 0,0096\text{мм}$$

$$4) Rz = 0,02 - 0,008 *$$

$$150*6001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*400018$$

$$0 - \arccos 0,2 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 600*0,00823,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,2}{2*4} + 0,02 = 0,0101\text{мм}$$

$$5) Rz = 0,01 - 0,004 *$$

$$150*4001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*400018$$

$$0 - \arccos 0,4 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 400*0,00423,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,4}{2*5} + 0,01 = 0,00645\text{мм}$$

$$6) Rz = 0,02 - 0,008 *$$

$$150*4001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*400018$$

$$0 - \arccos 0,2 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 400*0,00823,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,2}{2*5} + 0,02 = 0,0072\text{мм}$$

$$7) Rz = 0,02 - 0,008 *$$

$$150*4001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*500018$$

$$0 - \arccos 0,4 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 400*0,00823,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,4}{2*4} + 0,02 = 0,0075\text{мм}$$

$$8) Rz = 0,01 - 0,008 *$$

$$150*4001 + 0,0720,53,14*2,5*0,8*500018$$

$$0 - \arccos 0,2 - 0,40,41800,022 - 0,003 + 2*0,$$

$$0030,5 + 400*0,00823,14*2,5197 - 15613 +$$

$$\frac{0,2}{2*4} + 0,01 = 0,0061\text{мм}$$

Проведенный эксперимент показал, что на высоту формируемой шероховатости, при накатывании шариком, наибольшее влияние оказывает сила давления деформирующего инструмента на обрабатываемую поверхность.

Также стоит учитывать, при обработке накатыванием шариком, что:

-увеличение силы давления шарика на поверхность, увеличивает величину шероховатости;

-увеличение диаметра шарика, приводит к уменьшению шероховатости поверхности;

-при увеличении подачи накатного инструмента, также увеличивается высота шероховатости;

-при увеличении значения исходной шероховатости обрабатываемой поверхности, значение Rz возрастает.

Список литературы:

1. *Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т.1./ Под общ.ред. А.Г.*

Суслова. – М.: Машиностроение, 2014. – 480 с.: ил.

2. *Гавариев Р. В., Савин И. А., Леушин И. О. Влияние функциональных покрытий на эксплуатационную стойкость пресс-форм литья под давлением для цинковых сплавов. // Цветные металлы. М. 2016. №1. С.66-70 DOI 10.17580/tsm.2016.01.11*

3. *Емельянов, Д..В., Савин, И.А Проектирование и производство спиральных сверл переменной жесткости. .Курск: Университетская книга. 2016г. 231с.:ил. 70, табл. 18.*

11. *Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Серия «Выдающиеся ученые ИТМО» - СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2001. - 264 с.*

12. *Савин И.А., Марков В.В. Нищенков А.В. Плохов С.В. Методика теоретического расчета поверхностного натяжения металлических расплавов на основе физической модели энергетического состояния жидкости // "Справочник. Инженерный журнал" (с приложением) М.-2014. -№ 5. с.48-52*

13. *Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.:Машиностроение, 200. 319 с.*

УДК 004.91:004.658

ВНЕДРЕНИЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Приставка Д.П., магистр 2 года обучения¹, техник-программист отдела корпоративных информационных систем²

¹ *Физико-технологический институт Московского технологического университета, г. Москва 107996 Россия*

² *АО «Корпорация Тактическое Ракетное Вооружение», г. Королев 141080 Россия*

[®] *Автор для переписки: Приставка Д.П. e-mail: bravo.1994@mail.ru*

Использование документации необходимо на всех уровнях корпоративного устройства – от начальника до исполнителя. Без достаточной формализации процесса невозможно организовать соответствующую закону работу на предприятии, да или даже какой-либо вид отчетности подчинённого перед руководителем. Сам процесс формализации тоже является своего рода работой. В данной статье речь пойдёт о внедрении новой системы электронного документооборота, предпосылках, результатах разработки и организации процесса работы в системе.

Ключевые слова: электронный документооборот, автоматизированная система, роли, администратор

IMPLEMENTATION OF A NEW ELECTRONIC DOCUMENTATION SYSTEM AT AN ENTERPRISE

Pristavko D.P.

¹ *Moscow Technological University, Physico-technological institute, Moscow 107996 Russia*

² *Tactical Missiles Corporation joint stock company, Korolev 141080 Russia*

@Corresponding author: Pristavko D.P. E-mail: bravo.1994@mail.ru

The use of documentation is necessary at all levels of the corporate device - from a head chief to an employee. Without sufficient formalization of the process, it is impossible to organize the work corresponding to the law at the enterprise, or even any kind of accountability of the subordinate to the manager. The very process of formalization is also a work of itself. In this article, we will talk about the introduction of a new system of electronic document management at an enterprise, the predispositions, the results of the development and organization of a work process in the system.

Keywords: *electronic document management, automated system, roles, administrator*

Для целей обслуживания документооборота на различных предприятиях были внедрены автоматизированные системы, целью которых является упразднение или, по крайней мере, уменьшение физического документопотока. На рынке присутствует множество программных продуктов для автоматизации управления документооборотом, однако большая часть из них не реализует всех требова-

ний предприятий, а в особенности корпораций. Для реализации всего спектра задач по управлению документами от инициации и планирования до исполнения и списания в дело предприятие разрабатывает или заказывает разработку собственных информационных систем, что и произошло в данном случае.

Предпосылки внедрения новой Системы Электронного Документооборота:

- Неудовлетворительная работа системы электронного документооборота «LanDocs», находящейся в промышленной эксплуатации на КТРВ с 2003 по 2014 год;
- Постоянно растущий объем документооборота (от 3 до 6 тысяч в год);
- Необходимость внедрения Корпоративной СЭД, вызванного растущим объемом документооборота между обществами Корпорации (по 1-2 тысячи в год);
- Постоянно растущее число пользователей СЭД.

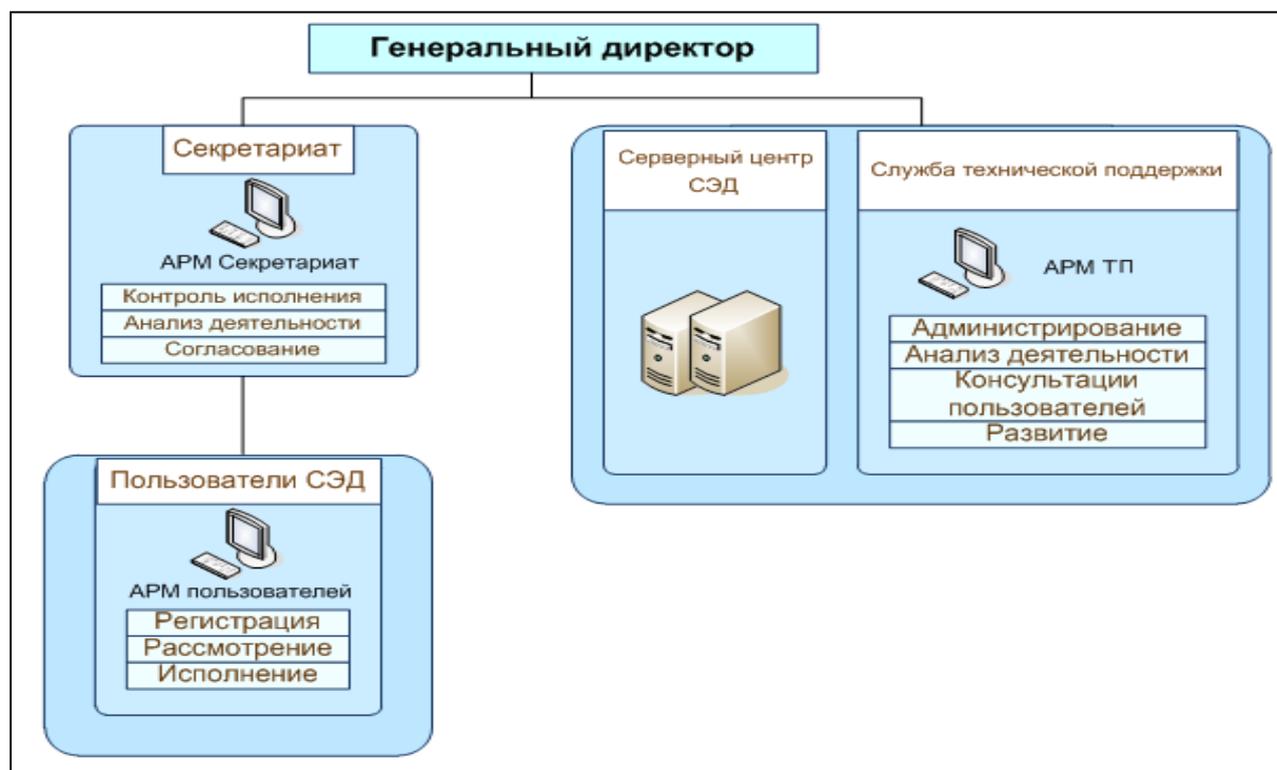


Рис. 1. Схема типов пользователей СЭД и их обязанностей.

Конечным результатом явилась СЭД с простой электронной подписью, представляющая собой веб-приложение с открытым программным кодом, в которой пользователи работают через веб-браузер. Доступность процесса совершенствования Системы и изначальные легко настраиваемые процессы работы с документами привели к созданию интерфейса Системы более интуитивно понятного пользователям, а относительная не востребованность к посторонним программным ресурсам - к быстрому внедрению, в некоторых случаях даже не требующего установки дополнительного программного обеспечения на клиентских местах.

Как уже стало ясно, пользователями системы являются сотрудники «Корпорации «Тактическое ракетное вооружение»». Сотруднику для работы с системой присваивается персональное имя и пароль, а также роли, позволяющие выполнять работу в рамках своих полномочий (рис. 1). Иными словами, у каждого пользователя свой предопределённый уровень доступа к функционалу и информации:

- Администратор – имеет доступ ко всем документам Системы, переходам и статусам в жизненном цикле объекта. Администратор осуществляет работы по установке, настройке, конфигурированию Системы;

- Регистратор – регистрирует входящие документы, исходящие и внутренние документы; указывает рассматривающих и отправляет документ на рассмотрение и ознакомление; готовит проекты резолюций для руководителя в случае отсутствия помощника, списывает документ в дело согласно номенклатуре дел;

- Старший регистратор обладает функциями Регистратора и некоторыми дополнительными возможностями в Системе, например, имеет возможность редактировать и возвращать на исполнение документы, находящиеся в деле. Старшему регистратору в Системе доступно большее количество переходов между статусами, чем сотруднику с ролью Регистратор.

Старший регистратор имеет права на просмотр всех документов на текущем сервере Системы, а также регистрацию любого типа документа, независимо от подразделения, подготовившего документ;

- Руководитель организации – рассматривает документы, утверждает проекты резолюций, создает резолюции, отправляет документы на исполнение, подписывает или отправляет на доработку проекты исходящих и внутренних документов;

- Руководитель (структурного подразделения) – рассматривает документы, вносит резолюции, создает дочерние поручения, отправляет документы на исполнение, готовит, согласовывает, подписывает проекты исходящих и внутренних, организует ознакомление с документами, контролирует исполнение выданных поручений;

- Помощник руководителя – рассматривает документы, поступившие на имя руководителя: определяет срочность рассмотрения руководителем, готовит и вносит проекты резолюций, отправляет документы руководителю на рассмотрение и утверждение подготовленных проектов резолюций, отправляет документы на исполнение в случае отсутствия руководителя на рабочем месте, предварительно проверяет исходящие и внутренние документы перед отправкой на подписание, предварительно проверяет исходящие и внутренние документы перед отправкой на согласование, согласовывает и возвращает на доработку проекты исходящих и внутренних документов в случае отсутствия руководителя на рабочем месте, исполняет поручения за руководителя, контролирует исполнение выданных руководителем поручений;

- Контролер (контролеры, делопроизводители структурных подразделений) – контролирует исполнение, формирует отчеты по исполнительской дисциплине, снимает документы с контроля, отслеживает ход исполнения поручений и документов в целом;

- Исполнитель (сотрудник организации) – готовит отчеты об исполнении резолюций/поручений, направляет их на утверждение, готовит проекты исходящих

и внутренних документов, формирует списки и параметры согласования и подписания документов, отслеживает ход согласования проекта.

Следуя из описания ролей, ключевую нагрузку на себя принимают Регистраторы и Помощники руководителей. Для снятия напряжения на местах и приведения к продуктивному эксплуатированию системы Администраторы выполняют соответствующий уровень работ:

- Консультирование пользователей по внутреннему телефону и организация групп повышения квалификации работников системы;
- Корректирование ошибочных данных введённых в систему;
- Обеспечение работоспособности Автоматизированных Рабочих Мест путём принятия заявок о неработоспособности АРМ и попытки самостоятельного разрешения проблемы на месте;
- Помощь в заполнении базы данных справочников системы (телефонный, должностной, организаций, сотрудников и др.).

Как видно из перечня выполняемых работ, обязанности, которые берут на себя Администраторы выходят за рамки выделенных им ролей. Но данный набор работ необходим, для естественного внедрения новой системы и показывает наглядный результат в виде беспроблемного хода документации на предприятии уже через год после внедрения Системы в эксплуатацию.

Список литературы

1. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем;
2. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания;
3. Варфоломеева, А.О. Информационные системы предприятия: Учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М. 2013, 283с;
4. Памятка Руководителя СЭД "Логика";
5. Памятка Регистратора СЭД "Логика".

УДК:621.382

ШИРОКОЗОННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ ДЛЯ ПРИБОРОВ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Рыбакова А.О., магистрант,
Вигдорович Е.Н., профессор**

Физико-технологический институт Московского технологического университета

Стромынка 20, 107996, Москва

© Автор для переписки: Вигдорович Е.Н. e-mail: evgvig@mail.ru

Существенным образом улучшить функциональные характеристики приборов возможно путем разработки нового класса материалов для этих целей. На примере

широкозонных нитридов III группы показаны современные достижения при их использовании в СВЧ-технике.

Ключевые слова: широкозонные полупроводники, деградация свойств, нитриды III-группы, СВЧ-техника.

WIDE BANDGAP SEMICONDUCTORS FOR DEVICES EXTREME ELECTRONICS

**Rybakova A. O.
Vigdorovich E. N.**

Moscow technological University. Physico-technological institute.

Stromynka 20, 107996, Moscow

Corresponding autor: Vigdorovich E.N. e-mail: evgvig@mail.ru

Scientifically to improve the functional characteristics of devices it is possible by development of a new class of materials for these purposes. On an example of connections III-N the modern achievement are shown at their use in a

Key words: GaN, semiconductors GaN-based, functional characteristics, change of properties, microwave to engineering.

В литературе приводится сравнение возможностей использования нитридов с традиционно -используемыми материалами [1-4], откуда видно, что материалы группы GaN, открывают уникальные возможности для создания высокочастотных, мощных, высокотемпературных электронных приборов, прежде всего, полевых транзисторов (HFET) на основе AlGaN/GaN-гетероструктур. При реализации полевых транзисторов следующие свойства AlGaN/GaN- гетероструктур выгодно отличают их, например, от AlGaAs/GaAs:

- ширина запрещенной зоны E_g нитридных полупроводников обеспечивает большой разрыв зон проводимости на гетерогранице AlGaN/GaN, $\Delta E_c > 0.5$ эВ, что резко уменьшает токи утечки через затвор; с увеличением мольной доли Al ΔE_c растет;

- плотность электронов в 2D-канале, n_s , $> 1 \cdot 10^{13}$ см⁻², на порядок выше, чем в GaAs. Она обусловлена как модулированным легированием из широкозонного слоя AlGaN, так и пьезоэлектрической поляризацией - положительным зарядом на гетерогранице AlGaN;

- скорость насыщения в больших электрических полях в GaN также выше, чем в GaAs и остается высокой и при увеличении температуры. Пробивные поля в GaN в 8 раз выше, чем в GaAs, что при большом барьере на затворе позволяет прикладывать напряжения сток-исток V_{sd} до 100-400 В/см;

- большие значения плотности электронов в сочетании с высокими пробивными полями обеспечивают плотность СВЧ-мощности в GaN- полевых транзисторах в 10 раз больше, чем в GaAs;

- GaN- транзисторы имеют более высокую эффективность, ширину полосы частот и выходной импеданс.

Созданы GaN-HFET, имеющие на частоте 8.2 ГГц плотность СВЧ- мощности 9.1 Вт/мм и эффективность 47%; на 10 ГГц- 7Вт/мм и 62%. Пролетные времена в субмикронном канале ($L_d < 1$ мкм) при высоких полях уменьшены из-за баллистического эффекта, который облегчен отсутствием неупругих столкновений (энергия оптических фононов в GaN - 91 мэВ, а в GaAs -36 мэВ). В GaN пренебрежимо мала вероятность междолинных переходов горячих электронов, т.к. ближайшие экстремумы зоны проводимости в других точках зоны Бриллюэна находятся выше ее на 6 эВ. Для приборов из GaN с длиной канала $L = 0,1$ мкм достигнута предельная частота 106 ГГц.

Повышенная теплопроводность GaN (1.7 Вт/см К) по сравнению с GaAs (0.53 Вт/см К) обеспечивает работоспособность приборов вплоть до 400°C. Большая эффективная масса электрона ($0.2m_0$ у GaN и $0.067m_0$ у GaAs) обеспечивает меньшую вероятность рассеяния при повышенных температурах.

Структура SiO₂/AlGaN/GaN характеризуется низкими токами утечки и малым уровнем шума. На первом этапе создания оказалась пригодной технология на подложках из сапфира. Однако, из-за лучшего теплоотвода, более высокими параметрами обладают приборы на подложках из SiC.

Трудности создания GaN- приборов, реализующих в полной мере свойства материала, обусловлены проблемами уменьшения контактных и проходных сопротивлений, повышения структурного совершенства слоев, получения базового i-слоя GaN.

В качестве одного из вариантов при изготовлении транзисторов используется гетероструктура, состоящая из псевдоморфных слоев AlN на подложке GaN (AlN/GaN).

При использовании гетероструктур $Ga_{0.5}Al_{0.5}N/GaN$ в HEMT получена

плотность мощности 6,8 Вт/мм при 10 ГГц. и 3,1 Вт/мм при 18 ГГц.

- коэффициент усиления 8-13 дБ
- максимальная частота 140 ГГц
- коэффициент шума 0,6 дБ (2,7дБ для $L_3 = 0,15$ мкм)
- КПД от 53 до 75%

- рабочая температура -360-500⁰С
- группа жесткости – V1

Для сравнения, на GaAs и InP при таком же шуме получена плотность мощности 1 Вт/мм при 10 ГГц, и максимальная частота 40 ГГц. Группа жесткости –IV

При использовании гетероструктур Ga_{0,5}Al_{0,5}N/GaN в биполярных транзисторах при шуме 60 дБ и частотах 50 -70 ГГц получено напряжение отсечки 50 В. Группа жесткости – V

Получены полевые транзисторы с характеристиками:

- максимальная крутизна
500мСм/мм
- граничная частота
103ГГ
- максимальная частота
170ГГ
- уд. плотность канала
2,1А/мм

Использование гетероструктур на основе GaN позволило создать экспериментальные образцы ИС в виде двухкаскадного усилителя мощности, частота 16ГГц, вых.мощность 24,2Вт, коэф.усиления 12,8дБ, КПД 22,2%

Заключение

Приведенный анализ свойств широкозонных полупроводников и экспериментальных результатов по формированию функциональных структур для приборов СВЧ-техники позволяет говорить о чрезвычайной перспективности нитридов элементов III-группы для разработки и изготовления приборов для экстремальной электроники.

Список литературы

1. Р.Куэй. Электроника на основе нитрида галлия. Под ред. А.Г.Васильева. Мир радиоэлектроники. Техносфера. М.2011,578с.
2. Туркин А. Н. Нитрид галлия как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике // Компоненты и технологии. 2011. №5.
3. Белкин М.Е., Кудж С.А., Сигов А.С. Новые принципы построения радиоэлектронной аппаратуры СВЧ- диапазона с использованием радиофотонной технологии. Российский технологический журнал. 2016. № 1 (10). С. 4-20.
4. Крапухин Д.В., Мальцев П.П.Монолитная интегральная схема малошумящего усилителя на нитриде галлия для диапазона 57-64 ГГц. Российский технологический журнал. 2016. Т. 4. № 4 (13). С. 42-53.

УДК 621.7

ГИБКИЙ ПОДХОД К ГРУППОВОМУ МЕТОДУ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

Тарасова В.А., магистр 2-го курса

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

@ Автор для переписки: Тарасова В.А.e-mail: vichka.023@rambler.ru

В данной работе к рассмотрению предлагается методика проектирования групповых операций. Применение данного метода обеспечивает разработку «гибких» тех-

нологических процессов, учитывающих динамику изменения производственной ситуации. Для оценки спроектированных групповых операций используется критерий минимальности подготовительно-заключительного времени при наличии процессов переналадки оборудования.

Ключевые слова: групповой технологический процесс, автоматизированное производство, производственная среда.

FLEXIBLE APPROACH TO GROUP METHOD OF PROCESSING BASED ON MATHEMATICAL MODEL OF PRODUCTION ENVIRONMENT

Tarasova V.A.

Moscow State Technical University. N.E. Bauman

@ Author for correspondence: Tarasova VA e-mail: vichka.023@rambler.ru

In this paper, a method for designing group operations is proposed for consideration. Using this method provides the development of "flexible" technological processes that take into account the dynamics of changes in the production situation. To assess the projected group operations, the criterion of minimum preparatory-final time is used in the presence of equipment adjustment processes.

Key words: group technological process, automated production, production environment.

Постоянное увеличение номенклатуры и ускорение сменяемости изделий обусловили снижение эффективности мелкосерийного производства. Применение групповой технологии для станков с ЧПУ и гибких производственных систем (ГПС) позволяет на основе системного подхода к процессу подготовки и организации производства в несколько раз снизить простои производственной системы.

Однако практика создания, внедрения и эксплуатации станков с ЧПУ и ГПС выявила целый ряд трудностей, приведших к значительным экономическим потерям [1].

Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование форм и методов групповой технологии с целью успешного применения в условиях конструктивного и технологического разнообразия деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ и ГПС. Также процесс автоматизированного проектирования должен быть максимально приближен непосредственно к производству и строиться на реальных данных о состоянии и особенностях конкретных производственных условий.

В основе, предлагаемой к рассмотрению методики проектирования групповых операций, лежит метод синтеза, при котором отсутствует ограничения, накладываемые процессом – адресатом, и, значит, происходит более полное использование технологических возможностей оборудования. Применение данного метода обеспечивает разработку «гибких» технологических процессов, учитывающих динамику изменения производственной ситуации. Для оценки спроектированных групповых операций используется критерий минимальности подготовительно-заключительного

времени при наличии процессов переналадки оборудования.

Переналадкой называется комплекс работ по подготовке технологического оборудования и оснастки, которое не использовалось в предыдущей технологической операции на данном рабочем месте, к выполнению определенной технологической операции.

Для решения задач автоматизации проектирования групповых технологических процессов используем математическую модель производственной среды.

Под производственной средой P понимают множество технологических составляющих производственной системы, требующих проведения подготовительных работ при переходе к выполнению очередной технологической операции. Такими составляющими являются элементы производственной среды (ЭПС): рабочие места, станки, приспособления, режущие и вспомогательные инструменты и т.д., т.е. $P: \{Э\}$.

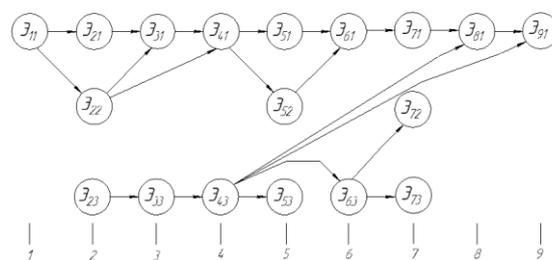


Рис. 1. Фрагмент графа производственной среды $P(Э, R)$. Цифры 1-9 в индексах ЭПС – уровни графа, обозначают: участки (1); рабочие места (2); станки (3); приспособление (4); зажимные элементы (5); режущие инструменты (6); вспомогательные инструменты (7); схваты (8) и кассеты (9).

Возможность применения ЭПС при выполнении очередной технологической операции в момент времени τ оценивает производственная ситуация Ψ^τ . В соответствии с количеством объектов моделирования можно выделить два вида состояния ЭПС. Первый вид состояния Ψ_p^τ характеризует ЭПС в производственной среде в целом (т.е. ЭПС может находиться в

ремонте, отсутствовать в производственной системе и т.д.). Следующий вид состояния Ψ_o^τ отражает использование ЭПС при выполнении той или иной операции (станок может находиться в ожидании заготовок или производить обработку).

Таким образом, состояние производственной среды φ в интервал времени τ описывается четверкой:

$$\varphi^\tau = \langle P, \{O\}^\tau, \psi_p^\tau, \psi_o^\tau \rangle$$

Представим математическую производственную среду в виде взвешенного ориентированного графа $P(\mathcal{E}, R)$, вершинами, которого является ЭПС, а дугами – множество технологических взаимосвязей $\{R\}$, которые характеризуют отношения между ЭПС.

Первый вид отношений R_p между ЭПС отражает возможность совместной наладки ЭПС:

$$R_p(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, \text{ если } v\text{-ый ЭПС} \\ \text{не применяется вместе с } u\text{-ым;} \\ t_{uv}, \text{ если трудоемкость} \\ \text{проведения ПЗР равна } t_{vu}; \\ 0, \text{ если затрат на ПЗР } v \\ \text{-ого ЭПС не требуется.} \end{cases}$$

Следующий вид отношений R_o определяется множеством технологических операций, при выполнении i -ой технологической операции:

$$R_p(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, \text{ если } \mathcal{E}_v \notin \{\mathcal{E}_i\}; \\ 0, \text{ если } \mathcal{E}_v \in \{\mathcal{E}_i\}. \end{cases}$$

Последние два вида отношений характеризуют производственную ситуацию ψ :

$$R_p(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, \text{ если } v\text{-ый ЭПС} \\ \text{находится в неработоспособном} \\ \text{состоянии;} \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

$$R_p(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, \text{ если } v\text{-ый ЭПС} \\ \text{уже используется} \\ \text{при обработке;} \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

При математическом моделировании используется основные положения теории графов и математический аппарат нечетких множеств [3]. С помощью математических операций над отношениями между ЭПС (отрицание, инверсия, объединение, пересечение, алгебраическая сумма, разность и др.) возможны моделирование процессов наладки и переналадки, оценка экономии затрат подготовительно-заключительного времени при возможных вариантах группирования операций и последовательности их выполнения.

На графе $P(\mathcal{E}, R)$ выделяется подграф каждой технологической операции $G_i(\mathcal{E}, R)$, причем $G_i(\mathcal{E}, R) \in P(\mathcal{E}, R)$.

Граф наладки Θ_{Hi} на операцию можно представить в виде пересечения подграфа технологической операции $G_i(\mathcal{E}, R)$ и графа $P(\mathcal{E}, R)$ (рис.2): $\Theta_{Hi} = P \cap G_i$

Цифры, указанные на ветвях этих графов, обозначают затраты времени на выполнение наладочных работ, связанных с применением соответствующих ЭПС.

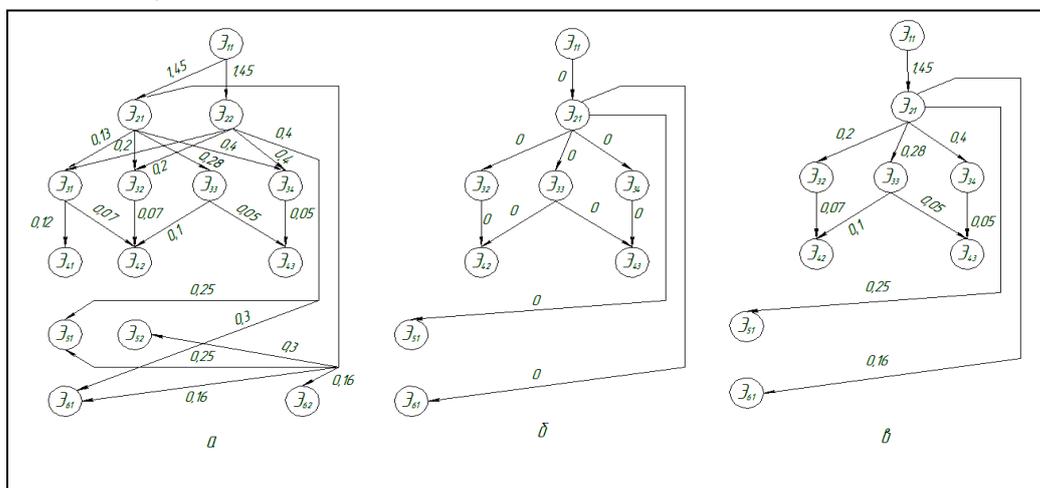


Рис. 2. Пример моделирования процесса наладки: а – граф P ; б – граф G_i ; в – граф Θ_{Hi} .

Примем C сумму весов ветвей, связывающих попарно вершины графа Θ , т.е.:

$$C(\Theta) = \sum_{uv=1}^n T_{uv}; \quad \mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v \in \Theta(\mathcal{E}, R),$$

Где n – число вершин графа $\Theta(\mathcal{E}, R)$. Следовательно, сумма весов ветвей результирующего графа Θ_H равна времени наладки T_H на технологическую операцию.

Процесс переналадки с i -ой технологической операции на j -ю моделируется с помощью графа $\Theta_{ПНij}$, устанавливающего недостающие этапы наладочных работ:

$$\Theta_{ПНij} = (P \cap G_j) - (P \cap G_i) = P \cap (G_j - G_i) = \Theta_{Hj} - \Theta_{Hi}$$

Трудоемкость для данных этапов наладочных работ: $T_{ПНij} = C(\Theta_{ПНij})$. Данная модель производственной системы дает возможность применять гибкий подход к групповому методу обработки деталей, при котором допускается наличие перена-

ладки при переходе от одной технологической операции к другой в пределах множества технологических операций, а не только наладки, как это имеет место в случае классического подхода к групповому методу.

Список литературы

1. Блехерман М.Х. Гибкие производственные системы: организационно-экономические аспекты. – М.: Экономика, 1988.
2. Групповые и модульные технологии: учеб. пособие / Б.М. Базров, Р.З. Диланян, Г.Н. Мельников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
3. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. М.: Радио и связь, 1982.
4. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2 т. т.1. Организация производства/С.П. Митрофанов. Л.:Машиностроение, 1983.

УДК 621.45.038.7

ВЫБОР АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Фомин А.Ю. студент-магистрант;
Курицына В.В., к.т.н., доцент, профессор

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

© Автор для переписки: Фомин А.Ю.
AleksandrFomin92@yandex.ru

Представлена методика проведения научно-технической экспертизы и выбора вида и технологии нанесения антикоррозионного покрытия на корпусные элементы специальных изделий авиационной и ракетно-космической техники с применением метод экспертных оценок. Методика апробирована на примере работы группы экспертов академического и производственного направле-

ния в условиях решения многокритериальной, многовариантной задачи с оценкой точности, достоверности, согласованности.

Ключевые слова: антикоррозионное покрытие, микродуговое оксидирование (МДО), анодирование, хромирование, экспертные оценки.

SELECTION OF ANTI-CORROSION PROTECTION OF SPECIFICATIONS BY THE EXPERT ASSESSMENT METHOD

Fomin A.Yu.;
Kuritsyna V.V.

Moscow Aviation Institute (National Research University)

© Corresponding author e-mail: e-mail:
AleksandrFomin92@yandex.ru

Present the methodology of scientific and technical expertise and selection of the type and technology of anticorrosive coating housing components special products aviation and rocket-space technology with the use of method of expert estimations. The method was tested on the example of the

work of the expert group of academic and industrial trends in terms of multi-criteria decisions, multiple tasks with evaluation of the accuracy, reliability and concordance.

Key words: anticorrosion coatings, microarc oxidation (MAO), anodizing, chrome plating, expert evaluation.

Изделия и детали из алюминиевых сплавов широко распространены в авиационной промышленности и изделиях специального назначения. Алюминий имеет свойства соединяться в естественной среде с кислородом, образуя при этом на своей поверхности защитную плёнку. Именно данный слой позволяет не окисляться металлу. Но подобный природный оксид способен повреждаться, потому что является очень тонким. Повреждение этого слоя приводит к коррозии материала, и, как следствие, снижает срок хранения и надёжность работы изделий. Для защиты таких изделий от коррозии можно использовать специальные покрытия, сопротивляющиеся развитию коррозии и увеличивающие тем самым срок их хранения и надёжность работы [1].

Технологические методы нанесения и виды покрытий обладают значительным количеством как эксплуатационных характеристик, так и параметров, отражающих совершенство производственных технологий, экономические аспекты производства, эксплуатации. При этом оценка многих параметров носит субъективный характер. Рассматривая варианты технических решений, часто можно наблюдать наличие противоположных оценок по различным параметрам. В многовариантном анализе и принятии решений технологические решения служат основой для разработки конструкторско-технологических мероприятий и соответствующей документации, направляемых для исполнения и внедрения в производство [2, 3].

Методом экспертных оценок оценивалась производственная целесообразность метода формирования антикоррозийного покрытия. В качестве объектов сравнительного анализа были выбраны следующие варианты коррозионно-стойких покрытий: А – Анодирование; Б – Микродуговое оксидирование (МДО); В – Хромирование [4].

При формировании экспертной группы

для принятия технологического решения по выбору покрытия и процесса привлекались представители сфер академической науки, производства, образования. С целью повышения достоверности, точности, надёжности и воспроизводимости экспертных оценок экспертизу осуществляют путем принятия группового решения компетентными лицами. Число экспертов, входящих в группу, зависит от требуемой точности средних оценок и, как правило, составляет от пяти до двадцати человек. Для обобщения оценок необходимо собрать ответы всех экспертов и провести средневзвешенную оценку с учетом коэффициентов значимости мнений экспертов: p_i – коэффициент квалификации i -го эксперта, отражающий квалификационную степень (ступень) эксперта в той области, в которой производится экспертиза; k_i – «весовой» коэффициент значимости мнения i -го эксперта, как правило, отражает соответствие направления профессиональной деятельности эксперта тому направлению, в области которой производится экспертиза. Обобщенная оценка мнений экспертов (A) рассчитывается по известным локальным (a_i) оценкам согласно выражения

$$A = \left(\sum_{i=1}^n a_i \cdot p_i \cdot k_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n k_i \cdot p_i \right) (1).$$

При формировании массива критериев в подсистеме организации экспертизы учитываются такие группы, как: *функциональные показатели* качества объекта; *технологические показатели* процесса; *экономические* и *эргономические* показатели. Комплект критериев может быть составлен группой экспертов методом мозгового штурма. Большое количество критериев повышает объективность и разрешающую способность оценки. Для выявления наиболее оптимального коррозионно-стойкого покрытия для защиты данной детали использовался следующий набор критериев: 1) коррозионная стойкость детали после покрытия; 2) микротвёрдость детали после покрытия; 3) шероховатость детали после покрытия; 4) толщина наносимого покрытия; 5) трудоёмкость метода; 6) себестоимость метода; 7) экологичность метода; 8) прочность сцепления.

Для расчёта экспертной оценки каждого из покрытий, учитывалась важность критериев, определенная на основании мнений

экспертов, с учётом их значимости и квалификации. Согласованность экспертов оценивалась методом ранговой корреляции с ранжированием критериев по важности всеми экспертами. Степень согласованности мнений экспертов в теории ранговой корреляции выражается через коэффициент конкордации $W = S / S_{\max}$ (2), где S – сумма квадратов отклонений суммарных рангов, выставленных каждому объекту всеми экспертами от средней суммы рангов, приходящихся на каждый объект; S_{\max} – максимально возможное значение суммы квадратов отклонений. Согласованная оценка важности критериев представлена на рис.1.

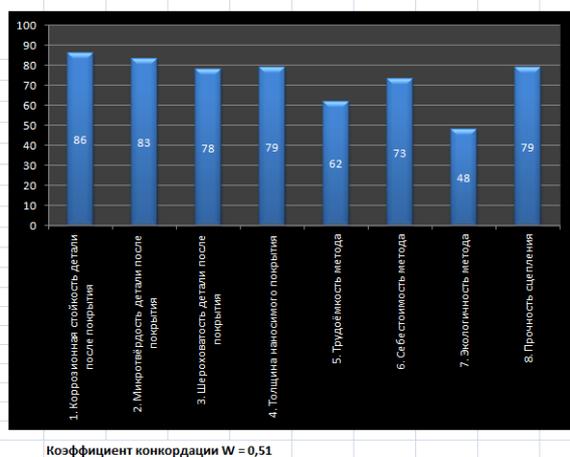


Рис. 1. Номенклатура критериев и оценка их значимости

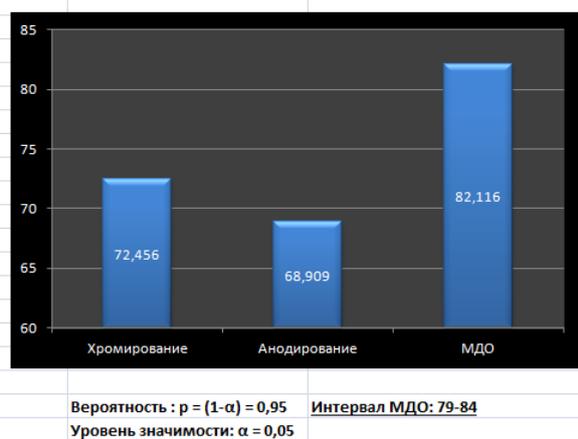


Рис. 2. Интегральная оценка эффективности антикоррозийных покрытий

Интегральная оценка технологических

альтернатив по критериям включает установление для каждого m -го варианта решения экспертной оценки степени удовлетворения (выполнения, качества) требований по каждому j -му критерию (F_{jm} , в баллах); расчет взвешенного показателя качества сравниваемых вариантов по каждому критерию (f'_{jm}) с учетом значимости (важности) критерия: $f'_{jm} = F_{jm} \cdot q'_j$ (3); расчет комплексного (интегрального) показателя качества каждого варианта как суммы локальных оценок с учетом весового вклада значимости критериев: $Q_m = \sum_j f'_{jm}$ (4); обобщение мнений,

полученных от каждого эксперта с учетом коэффициентов квалификации и значимости членов экспертной группы.

Результаты интегральной экспертной оценки технологии создания антикоррозийной защиты представлены на рис. 2.

Таким образом, результаты технологической экспертизы показывают, что оптимальным выбором антикоррозионного покрытия корпусных элементов специзделий является метод микродугового оксидирования.

Список литературы

1. Федосова Н.Л. Антикоррозионная защита металлов. – Иваново, 2009. – 187 с.
2. Курицына В.В., Курицын Д.Н. Инструментальные средства MatLab Simulink в задачах экспертной оценки технологических систем по параметрам качества изготовления изделий точного машиностроения // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. № - 1. С. 105-111.
3. Курицына В.В., Курицын Д.Н., Косов Д.Е. Автоматизированная система обработки экспертных оценок при принятии технологических решений // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. № 4. Т.8. С.44-55.
4. Фомин А.Ю. Исследование анодного оксидирования изделий и деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов / Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: В 4 т. Т. 3: М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2016. С.316-317.

УДК 548.55+536.2.08+535.37

Keywords: $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO), Czochralski method, annealing, spectroscopic properties, luminescence.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КРИСТАЛЛЫ BGO: ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

Чухловина Т. В.^{1,2}, инженер, студентка 2-го курса магистратуры
Ивлева Л. И.², д.т.н., заведующий лабораторией нелинейно-оптических материалов
Дунаева Е.Э.², научный сотрудник

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

© Автор для переписки: Чухловина Т.В. e-mail: chukhlovina@gmail.com

Работа посвящена разработке технологии оптически совершенных кристаллов $Bi_4Ge_3O_{12}$ со структурой эвлинита, получению посредством восстановительной термообработки модифицированных (окрашенных) образцов кристаллов BGO и исследованию их структурных и оптических свойств.

Ключевые слова: $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO), метод Чохральского, отжиг, спектроскопические свойства, люминесценция

MODIFIED BGO CRYSTALS: GROWTH AND PROPERTIES

Chukhlovina T.V.^{1,2};
Ivleva L.I.²;
Dunaeva E.E.²

¹ Moscow technological university. Physico-technological institute

² Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences

© Corresponding author e-mail: chukhlovina@gmail.com

The technology of optically homogeneous crystals of bismuth germanate $Bi_4Ge_3O_{12}$ (eulytine) was developed; modified (colored) BGO samples were obtained by thermotreatment in reducing atmosphere and their structure and spectroscopic properties were investigated.

Кристаллы германата висмута $Bi_4Ge_3O_{12}$ (эвлитин) являются известным сцинтилляционным материалом для видимой области спектра [1]. Получение в этих кристаллах 1,5 мкм люминесценции открывает новые возможности их применения в качестве усилителей в оптоволоконных системах связи [2].

Были проведены ростовые эксперименты и подобраны оптимальные параметры выращивания кристаллов BGO методом Чохральского. Получены бесцветные, прозрачные в области 0.3 – 6.5 мкм, оптического качества кристаллы длиной до 70 мм и до 20 мм в диаметре (рис. 1).

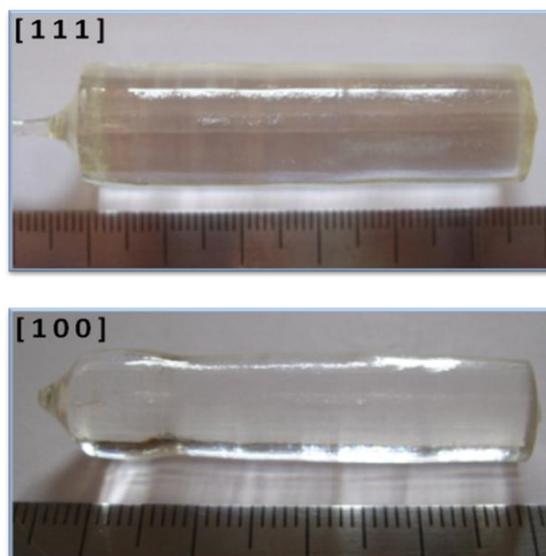


Рис. 1. Выращенные кристаллы BGO оптического качества

Модифицированные (окрашенные) образцы BGO были получены путем дополнительной высокотемпературной обработки (900-950°C) бесцветных пластин BGO толщиной 1.5-2.0 мм в графитовых тиглях в условиях форвакуума (10^{-2} Торр) и присутствии в камере SnC_2O_4 в качестве восстановителя в количестве нескольких миллиграмм. Время отжига варьировалось в пределах 6-10 часов (рис.2).

Получены спектры поглощения и проведён рентгеноструктурный анализ окрашенных образцов германата висмута. Спектры поглощения данных образцов вы-

являют пики на 365, 455 и 518 нм. Методом РСА было установлено наличие в кристаллической структуре кислородных вакансий, вакансий в позиции Vi и присутствие висмута в позиции германия. Изменение окраски кристаллов обусловлено формированием центров окраски ($V_O^{\bullet\bullet}, 2e'$)^x.

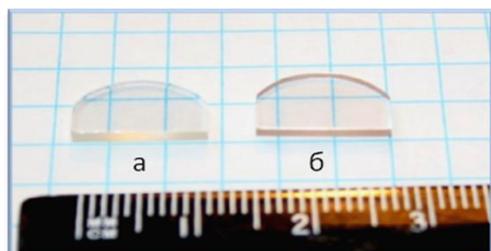


Рис. 2. Образцы бесцветного (а) и окрашенного (б) кристаллов BGO

Проведены исследования люминесцентных характеристик модифицированных образцов BGO при комнатной, азотной и гелиевой температурах. Показано, что при комнатной температуре наблюдается люминесценция с максимумом в области 1.5 мкм, интенсивность которой снижается с понижением температуры вплоть до полного исчезновения, вместе с тем появляется более интенсивная и широкая люминесценция с длиной волны 1.12 мкм при 77К или 1.13 мкм при 5К (рис.3).

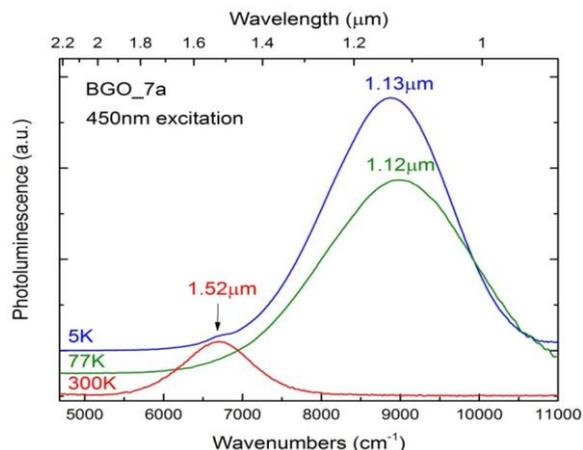


Рис. 3. Спектры люминесценции модифицированного кристалла BGO (возбуждение лазером 445 нм) при различных температурах (300К – красный, 77К – зеленый, 5К – синий)

При комнатной температуре люминесценция 1.5 мкм имеет времена жизни < 5 мкс, в то время как при азотной температуре переход 1.12 мкм имеет время жизни > 250 мкс. Проведенные исследования позволяют говорить о наличии различных оптических центров в данном материале.

Список литературы

1. Шульгин Б. В. и др. Ортогерманат висмута / 1992. Внешторгиздат. Свердловск: Уральское отделение В/О. – 170 с.
2. Yu P., Su L., Zhao H. / Optical Materials. V.33. 2011. p. 831-834.

УДК 621.384.032

ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ СКАНДАТНЫХ КАТОДОВ СВЧ- ПРИБОРОВ

Шуманов А.В.^{1,2}, аспирант, начальник лаборатории исследования свойств материалов;
Капустин В.И.², д.ф.-м.н., профессор
Ли И.П.¹, к.т.н., директор ТЦ «БТ ЭВП»

¹ ОАО «Плутон», Москва, 107120, РФ.

² Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва, 119454, РФ.

© Автор для переписки: Шуманов А.В. e-mail: alexeyshumanov@yandex.ru

В работе обоснован принцип выбора интерметаллических соединений скандий-рений в качестве перспективных компонентов катодных материалов и описаны лабораторные технологии их получения методом дуговой плавки.

Ключевые слова: термоэлектронная эмиссия, термока-

мод. СВЧ-приборы, скандатные катоды

TECHNOLOGIES OF SYNTHESIS OF PERSPECTIVE COMPONENTS OF SCANDATE CATHODES OF MICROWAVE DEVICES

Shumanov A.V.^{1,2};
Kapustin V.I.²
Li I.P.¹

¹*OJSC "Pluton"*

²*Moscow technological university. Physico-
 technological institute*

© *Corresponding author e-mail:
 alexeyshumanov@yandex.ru*

*The principle of choosing scandium-rhenium intermetallic
 compounds as promising components of cathode materials is
 substantiated in the work and laboratory technologies for
 their preparation by arc melting are described.*

*Key words: Thermionic emission, thermionic cathode, mi-
 crowave devices, scandate cathodes*

Основной характеристикой катодных материалов СВЧ-приборов является плотность тока термоэлектронной эмиссии при рабочей температуре катода. В литературе встречаются публикации о свойствах скандатных катодов, обладающих выдающимися термоэмиссионными свойствами по сравнению со стандартными импрегнированными катодами. [1] При этом, низкий процент выхода годных таких катодов и их слабая устойчивость ионной бомбардировке, и как следствие, высокие требования к вакуумным условиям, не позволяют использовать их в серийных приборах. Данное обстоятельство требует развития физико-химических представлений о механизме работы скандатных катодов, на основе которых может быть проведена оптимизация их составов и технологии изготовления.

Существует два основных подхода к вопросу физикохимии многокомпонентных оксидсодержащих катодных материалов.

В основе адсорбционной модели лежит положение об определяющей роли адсорбции атомов катиона оксида на его поверхности, которая приводит к снижению величины работы выхода оксида – основы катодного материала. Влияние дополнительных компонентов при этом рассматривается в рамках нескольких моделей. Например, оно сводится к обеспечению диффузии адсорбирующихся атомов из объема катодного материала к его поверхности, взаимодействию дополнительных компонентов с основным оксидом с образованием термодинамически стабильных сложных оксидных фаз с меньшей скоростью испарения атомов катионов, интенсификации процесса восстановления основного оксида металлической фазой катодного материала.

В основе полупроводниковой модели катодных материалов основным параметром, характеризующим эмиссионные свойства оксидной фазы, является концентрация кислородных вакансий в объеме оксида, определяющая положение уровня Ферми в зонной структуре оксида, то есть его «внутреннюю» работу выхода. При этом, в многокомпонентных оксидах также может иметь место сегрегация одного из компонентов на поверхности оксида, сопровождающаяся соответствующим изменением эмиссионных свойств оксида.

В работе [2] исследовались эмиссионные свойства модельных катодов на основе пленочных композиций бария, скандия и их оксидов на поверхности вольфрамовой фольги методом термоэлектронной эмиссионной микроскопии. Как видно из данных таблицы 1, наименьшим значением работы выхода обладает пленка бария на чистом скандии на вольфрамовой подложке. Однако, введение чистого скандия в состав катодного материала в лабораторных условиях с применением порошковых технологий невозможно ввиду мгновенного окисления скандия на воздухе с образованием оксидной пленки на поверхности, обладающей высокой энергией диссоциации.[3]

Вероятно, низкая воспроизводимость эмиссионных свойств таких катодов связана с недостаточной диссоциацией скандия

на поверхности из-за высокой энергии связи скандия в оксиде. В связи с этим целесообразно в качестве поставщика скандия рассмотреть соединения скандия, в которых энергия связи не столь велика, например, интерметаллиды Sc-Re. При этом рений будет выступать в качестве активатора металлического типа, взаимодействующего с оксидом бария с образованием возгорающихся при рабочей температуре катода оксидных фаз, обеспечивающих высокую концентрацию кислородных вакансий в оксиде бария. А скандий - как активатор «оксидного типа», обеспечивающий перенос кислорода из оксида бария в собственные вакансионные узлы с образованием оксида скандия ввиду более отрицательной энергии Гиббса. Помимо этого, ожидается, что добавка рения повысит устойчивость катода к ионной бомбардировке. При этом, необходимо подобрать оптимальную концентрацию активатора в объеме катода, обеспечивающую, с учетом условий эксплуатации катода в приборе и происходящих на поверхности катода процессов сорбции - десорбции и диффузии из объема, необходимую концентрацию активатора вблизи кристаллитов оксида бария.

Таблица 1

Сравнение работы выхода электронов для модельных тонкопленочных катодов

№	Состав	ϕ, eV
1	Sc-фольга	$5,6 \pm 1,9$
2	W-фольга	$3,5 \pm 0,3$
3	W-фольга+ Sc	$3,5 \pm 0,5$
4	W-фольга+Sc ₂ O ₃	$3,8 \pm 0,6$
5	Sc-фольга+Ba	2,5
6	W-фольга+Ba	$2,6 \pm 0,2$
7	W-фольга+Sc+Ba	$1,1 \pm 0,2$
8	W-фольга+Sc ₂ O ₃ +Ba	$2,5 \pm 0,4$
9	W-фольга+соосажденный Sc/Ba	$3,8 \pm 1,1$
10	W-фольга Sc ₂ O ₃ +BaO	$2,3 \pm 0,2$

Согласно диаграмме состояния [4], система скандий-рений содержит два интерметаллических соединения ScRe₂ (67% ат. Re) и Sc₅Re₂₄ (83% ат. Re). Для синтеза использовали навески металлического дистиллированного скандия (25% ат.) в виде чешуек размером 1-3мм и порошок рения (75% ат.). Из-за различного размера исход-

ных компонентов одна сторона спрессованной таблетки преимущественно была обогащена скандием, вторая – рением. Синтез проводили в дуговой печи на медном водоохлаждаемом поду с нерасходуемым вольфрамовым электродом, с предварительной откачкой до высокого вакуума при избыточном давлении аргона 0,5 атм. При этом, нагрев таблетки осуществляли через рениевый диск толщиной 2 мм, не допуская перехода компонентов в жидкую фазу. Синтез производили в несколько этапов с промежуточным размоллом, перемешиванием и повторным прессованием компонентов. Полученную таблетку размолотили в порошок и просеяли через сито с ячейкой 95мкм. Из-за различной микротвердости фаз ScRe₂ (930 кг/мм²) и Sc₅Re₂₄ (1225 кг/мм²) происходит их сегрегация по фракционному составу на этапе размола и просеивания. Таким образом, порошок меньшего фракционного состава обогащен фазой ScRe₂, рис.1, а более крупного - фазой Sc₅Re₂₄, соответственно. Контроль фазового состава производили методом РФА.

Ожидается, что введение интерметаллических соединений ScRe₂ и Sc₅Re₂₄ в объем катодного материала позволит компенсировать испарение атомов скандия с поверхности кристаллитов оксида бария на протяжении всего срока службы катода.

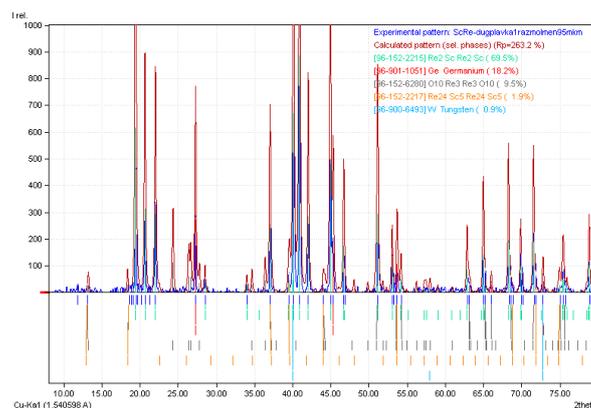


Рис.1. Дифрактограмма порошка скандий-рений фракционного состава <95мкм.

Список литературы

1. G. Gartner, P. Geintter, A. Ritz. Emission properties of top-layer scandate cathodes prepared by LAD / Appl. Surf. Sci. 111. pp. 11-17. - 1997.

2. Joel M. Vaughn. *Thermionic Electron Emission Microscopy Studies of Barium and Scandium Oxides on Tungsten. Thesis (Ph.D.)-Ohio University -2010.*
3. Попов А.В. *Структура и свойства малых кластеров оксидов переходных 3d-элементов /*

Физика и техника полупроводников, том 45, вып. 3 с.343-347.- 2011.

4. Е.М. Савицкий, М.А.Тылкина, О.Х. Хамидов. *Диаграмма состояния системы скандий-рений./ Известия АН СССР.№4. Металлы. с.116-122. -1966.*

УДК 621.921

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСОКОЙ И ОСОБО ВЫСОКОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

**Чхетиани П.Д., н.с,
 Щербаков Ю.И., н.с,
 Бармина О.В., н.с,
 Новикова Н.Н., н.с**

*ФБГУН Институт машиноведения им.
 А.А.Благонравова РАН, Москва, 101990, Россия*

@Автор для переписки Чхетиани П.Д. e-mail: Pavelnew1@yandex.ru

Дан анализ схемы трения «шар-плоскость», используемой в машинах трения (МТ), при разработках составов-структур-технологий износостойких поверхностей. Показано, что при изнашивании хотя бы одного из тел, образующих зону трения, параметры испытаний не остаются постоянными, что негативно отражается на корректности опытов. Разработан метод определения трибохарактеристик поверхностей высокой и особо высокой износостойкости с использованием в схеме трения «колодка-ролик» специального алмазного круга.

Ключевые слова: схема трения, износостойкость, коэффициент трения, изнашивающая способность, самоустановка трущихся поверхностей, испытания «вслепую», непрерывное, без разъединения зоны трения, измерение износа, специальный алмазный круг.

TRIBOTECHNICAL TESTS OF SURFACES WITH HIGH AND VERY HIGH WEAR RESISTANCE

**Chkhetiani P. D.,
 Shcherbakov J. I.,
 Barmina O. V.,**

Novikova N. N.

*Blagonravov Mechanical engineering research
 Institute of Russian Academy of sciences,
 Moscow, 101990, Russia*

@Corresponding author e-mail: Pavelnew1@yandex.ru

The analysis of the scheme of friction "sphere-plane" as used in the machines of friction (MT), during the development of composition-structure-technology of wear-resistant surfaces is given. It is shown that the wearing at least one of the bodies, that forms the friction zone, the parameters of the testing do not remain constant, which negatively affects the accuracy of the experiments. A method for determining the tribo-characteristics of surfaces with high and very high wear resistance with the use in the scheme of friction " block on roller" special diamond wheel is developed.

Key words: scheme of friction, wear resistance, friction coefficient, wear ability, self-alignment of the rubbing surfaces, the test blindly, without continuous disengagement of the friction zone of measurement of the wear, special diamond wheel.

1.Введение. Известно, что разработкам составов-структур-технологий-конструкций, направленным на повышение износостойкости трущихся поверхностей препятствуют: дефицит методов и средств испытаний и измерений, обеспечивающих корректность опытов; недостаточно высокий средний уровень квалификации трибологов-экспериментаторов, в том числе, среди разработчиков и пользователей оборудования для упрочняющей обработки (классические и современные методы), восстановления изношенных поверхностей и др.; неразвитость института независимой экспертизы «вслепую». Особенно остро стоит проблема испытаний поверхностей высокой и особо высокой износостойкости и её решение во многом зависит от способности контрообразца не изнашиваться в течение длительного вре-

мени, сохраняя неизменной микрогеометрию своей трущейся поверхности.

В последние 20 лет на рынке и в научно-учебной исследовательской практике широко распространены МТ, основное преимущество которых - компактность, достигаемая использованием схем трения с начальным контактом в точке, по линии или по окружности.

Наиболее популярны схемы трения с использованием в качестве контробразца-шара. Обусловлено это тем, что шар, во-первых, уже при небольших нормальных силах позволяет обеспечить высокие контактные напряжения, во-вторых, конструкции с использованием шара в качестве контробразца, наделены «врождённым» свойством самоустановки, обеспечивающим постоянство формы эпюры давлений в зоне трения, в третьих, шары, благодаря их производству преимущественно на подшипниковых заводах, стоят очень дешево, наконец, в четвертых, схема трения «шар-плоскость» использована в стандартах ASTM и DIN.

Однако в течение опыта, давление в результате взаимного износа шара и поверхности неконтролируемо падает порой до 100 и более раз и это не может не влиять на измеряемые износ и коэффициент трения. Отсутствие информации об изменении давления, температуры и микрогеометрии контробразца-шара в течение опыта, почти полностью выхолащивает его результаты.

2. Постановка задачи. Разработать метод определения трибохарактеристик материалов высокой и особо высокой износостойкости при скольжении и измерить «вслепую» трибохарактеристики разрабатываемых композитов.

3. Основная часть. В настоящее время отсутствует ранжир материалов по износостойкости, который был бы определен в результате корректных, лабораторных (этап 1 лабораторных испытаний, согласно ГОСТ 30480-97 «Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования.» экспериментальных испытаний соответствующих образцов, т.е. в строго контролируемых условиях, обеспечивающих в те-

чение опыта измерение одних определяющих параметров испытаний и поддержание на постоянном уровне других. Только лабораторные экспериментальные испытания образцов материалов (этап 1 испытаний) с использованием образцов простейшей формы и контробразцов с постоянной изнашивающей способностью, в отличие от остальных, в которых испытаниям подвергаются трибосопряжения и т.д. с присутствием им полями допусков, с изменяющейся во времени изнашивающей способностью контробразцов, отклонениями формы и расположения поверхностей, силовыми и тепловыми деформациями, создающими широкий спектр недостаточно строго контролируемых условий в зоне трения, позволяют путем подбора составов-структур-технологий, достичь заданной износостойкости исследуемого материала при минимальных затратах времени и средств.

В основе выбора схемы трения лежит условие сохранения постоянства давления и формы эпюры давлений в течение опыта независимо от износа тел, образующих зону трения.

Этому условию, несмотря на большое количество разнообразных схем трения [1], удовлетворяют лишь две из них – «колодка-ролик» и «упорный, плоский подшипник скольжения» М. Suzuki (модификации последней, - «одностержневая» Robin и «трёхстержневая» А.К. Зайцева, обе с плоскими торцами стержней – образцов).

Пример реализации требований, сформулированных в настоящей работе приводится ниже.

Испытательное оборудование для исследований трибохарактеристик материалов – стандартная МТ типа Амслер – «МИ», модернизированная с целью повышения точности измерений износостойкости, путём реализации метода непрерывного, без разъединения трущихся поверхностей, измерения износа синхронно с измерением силы трения с помощью бесконтактных токовихревых датчиков перемещений. МТ снабжена системами создания, поддержания и измерения температур, нормальных сил и линейных скоростей скольжения в зоне трения, а также ампли-

туд горизонтальных колебаний корпуса МТ.

Схема – трения – « колодка – ролик » с постоянной величиной коэффициента взаимного перекрытия ($K_{вз}$). Таким образом, постоянная величина изнашиваемой площади колодки гарантирует постоянство величины давления в течение опыта. В качестве ролика используется круглый полый цилиндр, на наружную цилиндрическую поверхность которого по особой технологии нанесён алмазный микропорошок.

Методика эксперимента согласно ГОСТ 23216-84 и методических указаний «Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки служебных свойств смазывающих масел и присадок к ним с использованием роликовых испытательных установок» (Госстандарт СССР.М. 1980).

Настоящая методика, в связи с использованием ролика с рабочей поверхностью, образованной алмазным микропорошком, была модернизирована.

Модернизация методики направлена на поддержание корректности испытаний путём обеспечения изнашивания образца из исследуемого материала исключительно вершинами алмазных зёрен, благодаря чему предотвращается неопределённость, могущая возникнуть вследствие трения между образцом и связкой алмазного ролика.

Условия проведения опытов: Среднее давление -1,0 МПа, частота вращения вала – $1,17 \text{сек}^{-1}$ (линейная скорость скольжения – 0, 26м/с); температура среды - 50°С, среда – масло МС-20.

Объектом испытаний являются образцы из перспективных композитов (составы 3, 4 и 6), из которых изготовлены колодки (2,0×8,0×6,0мм) для испытаний на трение и износ.

Испытуемые образцы представляли собой матрицу средней твёрдости - HRC~40 «нашпигованную» кристаллами высокой твёрдости, которые в «пристрелочных» опытах при трении с роликами из ШХ15, твёрдостью HRC>62 приводили к задирам трущихся поверхностей последних. Испытания проводились «вслепую».

Таблица1

Результаты экспериментального исследования.

№	Материал колодки	Скорость изнашивания мкм/мин	Коэффициент трения	
			в начале опыта	в конце опыта
1	ШХ15*	2,3	0,13	0,12 (0,116)
2	Состав 3	3,45	0,115	0,11 (0,109)
3	Состав 4	3,0	0,115	0,11 (0,107)
4	Состав 6	3,0	0,09 (0,093)	0,10 (0,099)
5	ШХ15*	2,2	0,10 (0,102)	0,10 (0,102)

Примечание:* Материал ШХ15, твёрдостью HRC>60 использовался как база, которой начинались и заканчивались исследования. Испытания свидетельствуют, что даже плитка Иогансона, из которой был изготовлен образец (ШХ15) имеет градиент трибохарактеристик по толщине изнашиваемого слоя.

4.Выводы

1. Составы 4 и 6 превосходят по износостойкости состав 3, но уступают ШХ15.

2. Состав 6 характеризуется минимальным коэффициентом трения, который, однако, в конце опыта несколько возрастает, в то же время составы 3 и 4 характеризуются противоположной тенденцией – с течением опыта коэффициенты трения у них снижаются, правда, при этом максимальный коэффициент трения состава 6 всегда меньше даже минимальных коэффициентов трения составов 3 и 4.

3. Максимальная величина коэффициента трения состава 6 всегда меньше коэффициента трения ШХ15.

Список литературы

1. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник /под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко. – М.; Машиностроение, 2008. – 384с; ил.

УДК 616.1 , 616.8

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ

Ганенко А. С., магистрант 2 курса
Хмилевский М. В., магистрант

*Московский технологический университет,
Физико-технологический институт, кафедра
оптических и биотехнических систем и тех-
нологий*

*© Автор для переписки: Хмилевский М. В. e-mail:
Mkhmilevsky@rambler.ru*

*Работа посвящена применению вейвлет-преобразования
для обработки медицинских сигналов на примере ЭКГ и
ЭЭГ.*

Ключевые слова: вейвлет-анализ, ЭКГ, ЭЭГ.

WAVELET-ANALYSIS AND VISUALIZATION OF MEDICAL SIGNALS

Ganenko A. S.
Khmilevsky M. V.

*Moscow technological university, Physico-
technological institute*

*© Corresponding author: Khmilevsky M. V., e-mail:
Mkhmilevsky@rambler.ru*

*The work focuses on the application of wavelet transfor-
mation for the processing of medical signals on the ECG and
EEG example.*

Key words: wavelet-analysis, ECG, EEG.

Один из современных способов, позволяющих визуализировать записи различных медицинских сигналов, основан на применении вейвлетов. Вейвлет-преобразование основано на использовании набора анализирующих функций (вейвлетов), по которым сигнал раскладывается на последовательность коэффициентов. Каждый вейвлет имеет определенную длительность, положение во времени

и полосу частот. В результате преобразования вейвлет-коэффициенты отражают компоненты сигналов на некотором временном отрезке и в соответствующей полосе частот [1].

Выбор того или иного класса анализирующих функций (материнского вейвлета) вейвлет-преобразования диктуется спецификой задачи, а именно тем, какую информацию нужно извлечь из исследуемого сигнала. В ряде случаев с помощью различных вейвлетов можно более полно выявить особенности анализируемого сигнала.

Ранее нами были наглядно продемонстрированы перспективы использования вейвлет-преобразования для целей очистки медицинских сигналов от помех и шумов различной природы на примере электрокардиограмм [3].

Помимо эффективной очистки сигналов вейвлет-преобразование позволяет отмечать специфические особенности исследуемых сигналов, что связано с возможностью подбора оптимального частотно-временного разрешения [2]. При этом появляется возможность установить корреляцию наблюдаемых особенностей преобразованного сигнала с видом патологии в функционировании изучаемого органа.

Но и этим не исчерпываются возможности вейвлет-анализа медицинских сигналов. С его помощью можно осуществить визуализацию результатов обработки и тем самым получить экспресс-оценку состояния объекта исследования. Ранее нами было установлено [3], что для анализа ЭКГ в качестве материнского вейвлета может быть с успехом использован *bior 1.5*.

Ниже представлены спектрограммы, полученные при помощи непрерывного вейвлет-преобразования сигнала ЭКГ 1 отведения [4] здоровых пациентов (рис. 1), пациентов с кардиомиопатией (рис. 2) и пациентов с миокардитом (рис. 3).

Визуализация записи ЭКГ даже при поверхностном рассмотрении позволяет отметить существенные различия, обусловленные указанными патологиями сердечной деятельности. Представленные фрагменты характерны для пяти пациентов из каждой группы.

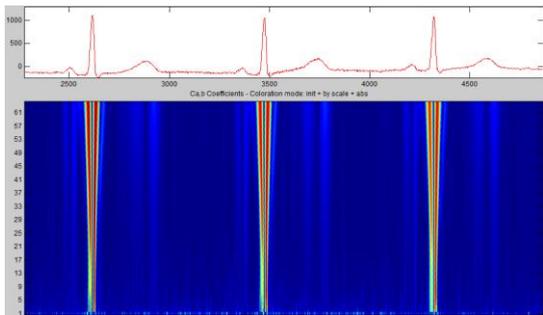


Рис. 1. Вверху – фрагмент ЭКГ здорового пациента, внизу – результат непрерывного вейвлет-преобразования этого сигнала

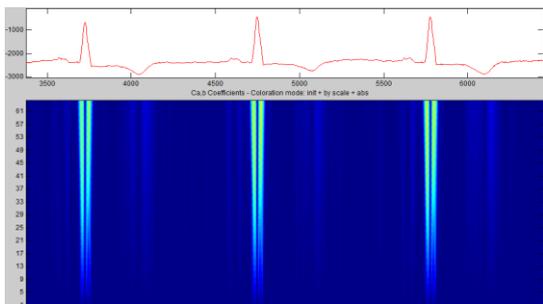


Рис. 2. Вверху – фрагмент ЭКГ пациента с кардиомиопатией, внизу – результат непрерывного вейвлет-преобразования этого сигнала

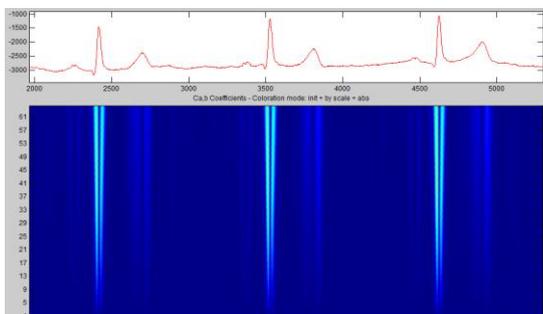


Рис. 3. Вверху – фрагмент ЭКГ пациента с миокардитом, внизу – результат непрерывного вейвлет-преобразования этого сигнала

Перспектива использования вейвлет-преобразования для целей визуализации сигналов подтверждается и при анализе сигналов ЭЭГ, что наглядно демонстрируется на рис. 4, 5. Здесь представлены спектрограммы, полученные при помощи непрерывного вейвлет-преобразования сигнала ЭЭГ 1 отведения левого полушария затылочной доли голов-

ного мозга здорового пациента [4], и пациента с судорожными припадками.

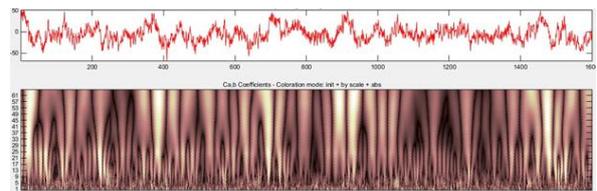


Рис. 4. Вверху – фрагмент ЭЭГ здорового пациента, внизу – результат непрерывного вейвлет-преобразования этого сигнала

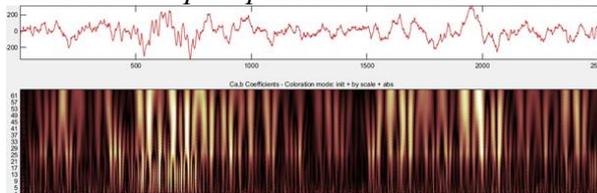


Рис. 5. Вверху – фрагмент ЭЭГ пациента с судорожными припадками, внизу – результат непрерывного вейвлет-преобразования этого сигнала

В заключение можно констатировать, что применение вейвлет-преобразования для обработки медицинских сигналов на примере ЭКГ и ЭЭГ открывает дополнительные возможности в визуализации различных видов нарушений сердечной деятельности и активности головного мозга. Тем самым появляется дополнительная возможность экспресс оценки состояния пациента. Количественный анализ частотно-временных параметров медицинских сигналов находится в стадии разработки.

Список литературы

1. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB/Смоленцев Н.К.- М.: ДМК Пресс, 2008.-448с.
2. Misiti M., Misiti Y.: Wavelet Toolbox™ 4 User's Guide © COPYRIGHT 1997–2009 by The MathWorks, Inc. -153с.
3. Материалы международной научной конференции «Настоящие исследования и развитие». Вейвлет-анализ в работе с электрокардиограммами. «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2016. Том 8. – 36с.
4. Ресурс для медико-биологических исследований и разработок <https://physionet.org>

СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН»

*Руководитель: Мамедова И.Ю., к.т.н., доцент,
зав. кафедрой компьютерного дизайна
Физико-технологического института МИРЭА*

УДК 621.74; 745.03

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ КОЛОКОЛОВ

Ершов М.Ю., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой;
Поликарпова И.А., студент магистратуры;
Лукашик К.А., студент магистратуры

*Факультет машиностроения Московского
политехнического университета,*

*© Автор для переписки: Ершов М.Ю. e-mail:
ershov1947@yandex.ru*

*Частотные характеристики колокола зависят от его
профиля. Литейщики стремятся получить благозвучные
колокола с высоким качеством отливки, что требует
разработки и применения новых научных методов в про-
ектировании.*

*Ключевые слова: колокол; частотные характеристики;
частотный анализ, метод проектирования*

DEVELOPMENT OF DESIGN METHOD OF PATTERN EQUIPMENT FOR CONTROL OF FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE BELLS

Ershov M.,

**Polikarpova I.,
Lukashik K.**

*Faculty of Mechanical engineering of Moscow
Polytechnic University*

*Frequency characteristics of a bell depend on a bell profile.
Casters aim to receive harmonious bells with high quality of
casting that requires development and application of new
scientific methods in designing.*

*Keywords: bell; frequency characteristics; frequency ana-
lyze, design method*

Традиционные представления о колоколе, как о музыкальном инструменте, издающем одну ноту, используются в карильонах и курантах. Отчасти это суждение справедливо, по той причине, что слушатель в первую очередь воспринимает основную ноту звучания колокола – доминанту. Человек с утонченным слухом различает сопутствующие обер- и унтер-тона. Современные методы исследования позволили получать спектры звучания колоколов, выделять в них все тона, определять их частоту и длительность звучания. Анализ спектров позволяет говорить о «голосе» колокола, который имеет сложное многокомпонентное звучание, с переменным динамическим рисунком. Наличие основного тона - доминанты звучания, и набора обер- и унтер-тонов на фоне основного, создаёт аккордный эффект. Совокупность этих тонов образует звуковой спектр, придающий «голосу» колокола индивидуальность.

Интересно, что такой взгляд на звучание колокола с позиций акустики, был

сформулирован не музыкантами, а техниками – людьми, проектирующими и производящими колокола, главной научной и технической задачей для которых являлось управление частотными характеристиками колокола от его проектирования до финишной обработки. Первые научные работы в этом направлении были выполнены Б.Н. Ньюниным [1], который применил вычислительные методы для частотного анализа и разработал первые профили колоколов с точной настройкой основного тона.

Наиболее действенным методом управления частотными характеристиками колокола является воздействие на его профиль. В исследованиях Бурцева Д.С. [2] были проанализированы четыре профиля колоколов: немецкий, французский, и два русских по Оловянишникову и по Кнаббе. Построение всех профилей состоит в задании точек профиля при помощи отрезков, или радиусов окружности выраженных в долях модульной единицы длины. Полученные точки соединяются плавными кривыми – образующими наружную и внутреннюю поверхности колокола. Вращением образующих вокруг вертикальной оси строили трехмерные твердотельные модели, с использованием которых путём моделирования определяли формы колебания и основные частоты звукового спектра колоколов. Результаты расчётов для упомянутых профилей не дали гармоничного музыкального строя. Для профиля по Кнаббе музыкальный интервал от основного тона до второго обертона составлял уменьшенную кварту, являющуюся диссонансным интервалом с крайне не стабильным звучанием, требующим разрешения в чистую кварту или квинту. Расчёты частотных характеристик трёх других профилей колокола показали, что музыкальный звукоряд не удовлетворял критериям равномерно темперированного строя. Поэтому был создан собственный модульный метод построения профиля колоколов [3], дающий интервал - чистая кварта между основным тоном и вторым обертоном. Экспериментальная проверка на отлитом колоколе с разработанным профилем показала совпадение с расчётными результатами. Пре-

имущество данного профиля колокола состоит в том, что его частотные характеристики удовлетворяют критериям равномерно темперированного строя. Также благодаря консонансному интервалу чистая кварта он может сочетаться с любым колокольным набором звонницы.

В предыдущих исследованиях установлено, что термическая обработка колоколов имеет большое практическое значение [4], так как с её помощью, можно устойчиво получить при одном диаметре колокола четыре ноты равномерно темперированного музыкального строя. Стремление расширить этот интервал привело к постановке научной задачи по исследованию совместного влияния на звуковой спектр колокола его геометрии и термической обработки. Исследования проводили на базе частотного анализа трехмерных моделей колокола с применением факторного плана. Варьировали нижний диаметр юбки колокола (180 и 280 мм), толщину стенки (5 и 10 мм) и модуль упругости (95 и 120 кН/мм²). Для трёх означенных факторов проведено 8 опытов, по результатам моделирования получено уравнение регрессии, поверхность отклика для которого при значении модуля упругости 120 кН/мм² показана на рис. 1.

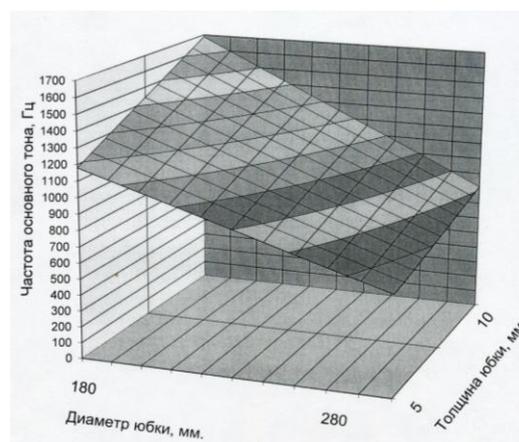


Рис. 1. Зависимость частоты основного тона колокола от диаметра и толщины юбки

Для принятого интервала варьирования факторов по диаметру и толщине юбки при модуле упругости 120 кН/мм² изменение частоты основного тона составляет 1050 Гц и перекрывает одну октаву. В получен-

ный диапазон укладываются ноты от Ре второй октавы до Соль третьей октавы. При модуле упругости 95 кН/мм^2 изменение частот составляет 950 Гц. Диапазоны расчётных частот основного тона перекрывают друг друга, что позволяет создавать наборы колоколов имеющих одинаковый размер внешнего контура и образующие гамму одного диапазона. Применение колоколов одного размера существенно снижает стоимость модельной оснастки при получении наборов для карильонов. Рассмотренные факторы: диаметр и толщина юбки, модуль упругости оказывают примерно одинаковое воздействие на частоту основного тона, а наличие математической модели позволяет точно определять параметры создаваемого колокола. В работе исследовали также влияние наружного убранства колокола на частоту основного тона, установлено, что наибольшее влияние оказывает расположение убранства в нижней части юбки колокола.

Традиционно колокол является изделием литейных технологий, для которых окончательная форма и размеры изделия зависят от особенностей процессов получения модели и литейной формы, взаимодействия расплавленного металла с формой, усадки сплава при затвердевании и линейной усадки, температурного режима литейной формы. Современный уровень технологических расчётов в основном позволяет учитывать влияние названных процессов на точность размеров отливок, их физико-механические свойства и структуру; однако колокол относится к отливкам, имеющим высокую степень индивидуальности, к которым относится сложный характер зависимости усадки от номинального размера и её неоднородность в различных направлениях. Неправильный учёт усадки при проектировании модели приводит к отклонению размеров отливки от назначенных по чертежу и как следствие отклонению частотных характеристик колокола.

С целью преодоления означенных технологических затруднений проводится исследование изменения размеров колокола

на стадиях литья, термической и финишной обработки. Измерение размеров осуществляется на измерительном центре с построением визуальной модели по результатам измерений. В качестве исходных принимаются размеры литейной модели, затем измеряются: литейная форма, охлажденная отливка, отливка прошедшая термическую и финишную обработку. По результатам измерений удаётся определить долю влияния каждого из технологических этапов на отклонение размеров готового колокола. Выявлено существенное влияние на точность размеров колокола стадий формовки и литья. Отклонение размеров на этих стадиях происходит вследствие деформации литейной формы, на стадии формовки в результате особенностей твердения смеси, на стадии заливки в результате термического расширения и деформации под действием давления жидкого металла. Полученные результаты носят пока качественный характер, поэтому учёт означенного влияния выполняется с определённой долей риска. На перспективу поставлена задача доведения результатов экспериментальных исследований до практического применения в компьютерных программах.

Список литературы

1. Нюнин Б.Н. Создание колоколотейного производства на базе АМО Зил // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.10611, 11.08.2003.
2. Лукашик К.А., Бурцев Д.С., Пономарев А.А. Проектирование профиля колокола с заданным музыкальным звукорядом // Дизайн теория и практика, электронный журнал, 2016, выпуск 24, С.33-39.
3. Пат. 121953 РФ, МПК (51) G10K 1/00. Колокол [Текст]/Еришов М.Ю., Бурцев Д.С., – заявл. 20.04.12; опубл. 10.11.12, Бюл.№12. – бс.
4. Бурцев Д.С., Еришов М.Ю. Влияние литейных технологий на формирование микроструктуры классической колокольной бронзы. // XIX Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных "Современные техника и технологии" (СТТ-2013) Тезисы докладов [Электронный ресурс CD] Томский политехнический университет

УДК 7.02

КУЛЬТУРНЫЙ КОД В ТЕМПОРАЛЬНЫХ МИРАХ В ТЕОРИИ ДИЗАЙНА

Жуков В. Л., к. т. н., доцент

Николенко С. В., к. т. н., доцент

Заблоцкая Е. В., студент¹ Институт

прикладного искусства Санкт-

Петербургского государственного универси-
тета промышленных технологий и дизайна

© Автор для переписки: Жукова Л. Т. t-mail:
 lt_zhukova@mail.ru

Представлены способы применения методологии пост-неклассической науки в естественных и гуманитарных исследованиях в процессе создания образов объектов дизайна – ювелирных изделий. Реализован информационно-синергетический подход, для методологических исследований нелинейной динамики сложных систем. В рамках этого подхода представлена методология сопоставления, как технология выявления прямых аналогий и событий многостадийных социально-культурных и информационных процессов в дизайне, в развитии NBIC - конвергенций.

Ключевые слова: визуальные когнитивные информационные динамические системы (VKИДС), постнеклассическая методология, теория дизайна, культурный код, мифология, ювелирные изделия и аксессуары.

CULTURAL CODE IN THE TEMPORAL WORLDS IN THE THEORY OF DESIGN

Zhukov V. L.;

Nikolenko S. V.;

Zablocka E. V.

Presents ways of applying the methodology of post-nonclassical science in natural and humanitarian studies in the process of creation of design objects – jewelry. Implemented information-synergetic approach to the methodological research of nonlinear dynamics of complex systems. In this approach the methodology of mapping as techniques of identifying direct analogies and events multi-stage socio-cultural and information processes in design, in the development of NBIC - convergence.

Key words: visual information in the cognitive dynamic system (KIDS), post-non-classical methodology, theory of design, cultural code, mythology, jewelry and accessories.

Одной из главных областей научного развития теории дизайна становится об-

ласть искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI, ИИ) и искусственная жизнь, а именно как обобщающая научно-практическая проектная методология исследования образов объектов дизайна, которые, вобрав в себя наиболее ценные идеи и подходы современного естествознания и технической эстетики, воплощают их в различных визуальных когнитивных информационных динамических системах (VKИДС), на базе, развивающейся компьютерной техники. Они способны решать творческие инженерно-художественные интеллектуальные задачи по широкому кругу проблем в теории дизайна. Очевидно, что уже сейчас в первые десятилетия 21-го столетия всё пронизывающий дизайн вместе с науками об искусственном выходит в авангард мирового развития технологических и эстетической культур и, в результате чего, сформируются основы единой теории открытых, активных, динамичных, неоднородных, развивающихся искусственных систем, в том числе, и в дизайне. И коль скоро научное исследование призвано охватить эти объекты, события и явления, в которых воплощены не только законы природы, но и человеческие цели и его эмоциональное чувственное восприятие окружающего мира, необходимо научиться связывать эти разноплановые составляющие. Выяснение характера, сущностей, свойств и отношений этих связей, структур и их влияние на определённые области знания и пространственную среду – в первую очередь на дизайн, техническую эстетику, психологию и инженерное дело – и составляют главную сегодняшнюю проблему. История человечества и его развитие, представленное различными формами цивилизаций в разное осознанное ими время в своей целостности и единении всегда стремятся к познанию и овладению законами мироздания на макро, мезо-, микро- уровнях, чтобы управлять материей и находиться с ней в полной постоянной гармонии. В настоящее время описана и физико-математически обоснована единая теория материи, представленная уравнениями, которые формулируют единый закон материи для любого уровня организации, которые дали и дают дальнейшую возможность исследовать ши-

рокий спектр вопросов функционирования косной и живой материи, где дизайн находит место среди фундаментальных наук и прежде всего, как метатеория [1]. Трудно исследовать динамику развития, когда конечная точка находится в бесконечности. История дизайна – лишь фрагмент обозримого исторического периода. Особенно сложно исследовать актуальный материал, да ещё в такой период, как перелом тысячелетий, когда уже сложилась в мировом дизайне установка на инновации. Дизайн стал генератором инноваций, в том числе и технико-технологических. Новизна, формально-композиционное или технологическое отличие каждой следующей разработки, наличие философского подтекста рассматривались как условие полноценного функционирования дизайна. Все дизайнерские инновации имеют социальную природу, считает К. Леман, оценивая учреждение в 1987 году Европейской премии в области дизайна. Изделие или объект дизайна – это лишь конечный продукт, базирующийся на историческом развитии идей. В том числе и идей формально-композиционных. По образцу объекты дизайна определяются, как пространственно-временное состояние или темпоральная модель материи [2].

Совершенно новое качество получил дизайн в контексте с развивающимися NBIC – конвергенциями [3].

На основе этой методологии, призванной находить границы интерпретаций различных концепций при проведении междисциплинарных исследований, направленных на проектирование объектов дизайна, демонстрируются взаимосвязи и отношения свойств таких социо-культурных феноменов, как миф, мечта, реальность в создании и распознании образов в прагматической реализации NBIC – конвергенций, в частности когнитивных технологий. Использование полученных визуальных когнитивных информационных динамических систем, а также законов теории информации позволяет находить пространственные и временные границы телеологических и детерминистических описаний социо-культурной динамики объектов дизайна, на примере художественного стилеобразования.

Язык постнеклассической методологии труден, но его трудность преодолима, а затраченные усилия компенсируются открытием новых смыслов и разрешением старых проблем.

Предметом исследования является культурный код художественных образов объектов дизайна в интерпретации содержания их информации посредством мифопоэтики и мифологии, а также его взаимодействие с различными естественными и культурными ландшафтами в пространстве и времени.

Описание географических и мифологических ландшафтов, а также исследований, через которые можно понять, как малы различия в их устройстве (микро-уровень) за века постижения «зашифрованных» смыслов во множестве культурных пространств человечества. Информационное пространство мифа создало сложную организационную систему или архитектуру мира. Архитектура мира отражается в структуре сложной организационной системы, образованной элементами ментальных оснований и отношениями между ними, на которые опираются социо-культурные и/или визуальные когнитивные информационные динамические системы. Такие исследования, с применением постнеклассической методологии познания и преобразования действительности раздвигают горизонты науки, включая в реальность жизни новые многомерные пространства.

При создании образов объектов дизайна постнеклассическая методология, основанная на изменении способов постижения, измерения пространства смыслов и временных горизонтов событий, всё более определяет дизайн, как метадисциплину со своей «географией» и философией.

Можно утверждать, что эта **методология** является общим алгоритмом, состоящим из последовательности определенных действий или операций, применение которых либо **приводит** к достижению поставленной цели, либо приближает к ней. Постнеклассической методология опирается на научные основы мироздания, отличается своей внутренней системностью, логическим построением, последовательностью и методичностью. Таким образом, **предметом исследования** постнеклассической

науки являются методы, средства, способы и приемы, с помощью которых обосновываются и разрабатываются новые объекты дизайна.

Здесь в центр рассмотрения проблемы ставится хорошо известная во времени аксиома – культурный код, расшифровка которого даёт объяснения, определения и наименования сущностям, свойствам, связям мира. Пространство предметной области объектов дизайна в данной работе было измерено в рамках постнеклассической методологией [4].

Когнитивное искажение реальности стало мифом, а мечта превращается

в миф, создающий культурный код, который можно рассматривать, как результат квантования NBIC – конвергенций по когнитивным и информационным технологиям. Он становится в своей эволюции переменной функцией при создании художественного образа объекта дизайна запечатленного в видимы в реалиях мира, как конечное изделие.

Постнеклассические представления о процессах, структурах, коммуникациях, информации образуют специфику «нового диалога Человека и природы». Изучение правил этого диалога, нашедшего обобщение в методе Сократа, позволило выяснить, что гуманитарное знание, изучающее мир людей, и естествознание, изучающее мир природы, имеют варианты найти общий язык. Это глубоко укоренившееся разделение науки может гибридизироваться на почве постнеклассической методологии, поскольку, несмотря на все различия, одного объединяющего звена оказывается достаточно - и то и другое знание изучает сложное.

Постнеклассическая наука обогатила познавательный арсенал методом элевационизма (от лат. *elevatio* – возведение), когда продуктивные метафоры распространяются не «снизу-вверх», как требует редуционистская стратегия, а наоборот, от эволюционно позднейших к более ранним формам взаимодействия. Это помогает обнаруживать в прежних формах те присущие им свойства, которые служат онтологической предпосылкой будущего и, в частности, эволюционные истоки субъектных качеств,

явственно выраженных в поведении высокоорганизованных систем.

Здесь, однако, необходимо выделить нюанс, недооценка которого может привести к недоразумениям. Элевационизм остается в рамках научной методологии до тех пор, пока исследователь не поддастся соблазну телеологических интерпретаций и не стал навязывать настоящее в качестве эталона для прошлого. Элевационистская парадигма несовместима с допущением, будто прошлое существует ради будущего, а мир был создан и развивался для того, чтобы в нем когда-то настоящее [5].

Напротив, надо строго следовать гипотезе апостериорности: каждое существенно новое состояние есть ответ системы на складывающиеся обстоятельства, причем только один из возможных ответов. Задача состоит в том, чтобы выяснить, складываются ли такие «ответы» в последовательные векторы мировой эволюции, и если да, то почему это происходит, не обращаясь к постулату об изначально заложенных целях или а priori записанных смыслах, которые только раскрываются по мере созревания разума.

Существует многомировая интерпретация квантовой механики. Согласно этой теории, в противовес стандартному подходу существует множество миров того типа, который в обыденной жизни называется «миром». Эта интерпретация позволяет объяснить эксперименты в NBIC - технологиях.

В настоящее время развивается подход к квантовым объектам как к сложным самоорганизующимся системам, при этом поведение может быть задано с точностью до точки, до линии (одномерного многообразия) или с точностью до поверхности (двумерного многообразия) и т. д.

В концепции «бутстрапа» Дж. Чу, возникшей на базе матричного подхода, предлагалась картина физической реальности, в которой все элементарные частицы образуют системную целостность. Они как бы зашнурованы друг с другом порождающими реакциями, но ни одна из них не должна рассматриваться как фундаментальная по отношению к остальным. Эта теория и многие другие являются основой формирова-

ния постнеклассической картины мира, в которой все еще сохраняются понятия из механики – точки, траектории, круговые орбиты и т. д.

Пространство – порядок сосуществования, время – порядок последовательности.

Со времени появления первого способа обмена информацией, то есть человеческой речи, со времени выхода человека из плена безмолвия облик нашего мира менялся, стали формироваться культурные ландшафты. Первой ступенью интеллектуальной истории было освоение пространства мифа - пространства, на которое потом напластовывались осязаемые результаты работы человеческой мысли. В культурном ландшафте есть поля обыденности, потоки повседневности, бездны страстей и весьма одинокие горные пики мудрости. Наука достигла очередной своей «сияющей вершины», с которой открывается постнеклассическая картина мира, раскрывающая новые смыслы порядка, хаоса и процессов их перехода. Захватывающим является понимание того, что при переходе из равновесных условий, мира повторяющегося и общего, открываются в неравновесные условия, в мир уникального. Это позволяет увидеть, как переход от архаического мифа к мифологии создает пространства уникальных конфигураций, сохраняя неизменным «объем» смыслов.

Одним из художественных средств в решении такой сверхзадачи является метафора, как наиболее универсальная категория языка, которая до настоящего времени не разработана на теоретическом уровне в дизайне. Ценностная инновационная значимость метафоры заключается в том, что она позволяет на основе переноса черт различных социокультурных и природных явлений и событий жизни человека на утилитарную форму объекта, достичь неожиданного, иногда парадоксального визуального эффекта, вызывающего обостренный интерес к созданному концепту. В теории дизайна и технической эстетики понятие «метафора» задействовано лишь в исследованиях по формированию проектного замысла средствами когнитивного художественного моделирования, где она выступает как со-

ставляющая мира символов и знаков, как культурный код реальной действительности, в основном гибридизированный и трансформированный за счёт когнитивного искажения исходных данных из объективной среды вещи в сферу воображаемой модели объекта дизайна. Метафорой лишь называют сам метод сравнения воображаемой модели с существующей средой. Понятие метафоры используется и когда речь идет о типологии как средстве художественного моделирования, когда основной категорией проектной типологии оказывается образ хронотопа. Двойственность этой категории отражает двойственный характер художественной модели, связанной с тем, что воображаемый объект предстает как осознанная художественная условность, обобщенно говоря, как художественная метафора, а не прямое изображение.

В методологии художественного проектирования и конструирования метафора обозначена в системе тропов. В то же время в теории дизайна не в полной мере исследованы собственно сами метафоры, как культурные коды их сущности, метафоры как элемента невербального (визуального) языка, как алгоритма композиционной организации материала для выражения смысла и его прочтения. Отсутствуют исследования метафоры по способу редуцирования ее в художественной системе с такими категориями, как «предметный ансамбль», «средовое пространство», «стиль» и другое. Нет концептуальных основ (закономерностей) развития метафорического языка и методов его использования в дизайне. Хотя на эмпирическом уровне интуитивно дизайнеры используют метафору, как средство художественной выразительности. Чаще всего это происходит тогда, когда какая-либо отрасль промышленности в рыночном мире лидирует по дизайн-технологиям и провоцирует к метафорическому переносу внешних свойств «преуспевающих» изделий на разрабатываемые изделия в другой отрасли.

Биотехнологии, являющиеся составным элементом NBIC – конвергенций создают стилевые бионические формы, ассоциируемые с естественной природой, или трансформируют ретроспективу творчества на

основе принципа элевационизма в современной пластике изделий. Однако, кроме метафоры, в дизайнерских решениях находят отражение и другие поэтические тропы, такие, как аллегория, символ, метонимия, омоним и синоним. Постнеклассическая методология позволяет верно ориентироваться в способах использования культурного кода метафоры как типологической единицы художественной системы (ВКИДС). При этом необходимо в научно обоснованных методических рекомендациях, то свойство в культурном коде метафоры, что она имеет несколько модификаций, составляющих структуру естественного и художественного языков, реализуемых в объектах дизайна. Таким образом, тема исследования концептуальных основ (закономерностей) развития метафорического языка и методов его использования является актуальной и теоретически и практически.

От эстетического (художественного) способа освоения действительности, носителем которого является искусство, наука отличается стремлением к обезличенному максимально обобщенному объективному знанию, в то время как в искусстве результаты художественного познания неотделимы от индивидуально-неповторимого личностного элемента. Часто искусство характеризуется как «мышление в образах», а наука – как «мышление в понятиях», имея целью подчеркнуть, что первое развивает преимущественно чувственно-образную сторону творческой способности человека, а наука – в основном интеллектуально-понятийную. Однако эти различия не означают непроходимой грани между наукой и искусством, которых объединяет творчески-познавательное отношение к действительности. С одной стороны, в научных построениях существенную роль играет эстетический элемент, что специально отмечали многие ученые. С другой стороны, произведения искусства несут, помимо эстетической, и познавательную нагрузку.

Истоки науки уходят своими корнями в практику ранних человеческих обществ, в которой были нераздельно сплавлены познавательные и производственные моменты. «Производство идей, представлений,

сознания первоначально непосредственно вплетено в материальную деятельность и в материальное общение людей, в язык реальной жизни. Образование представлений, мышление, духовное общение людей является здесь еще непосредственным порождением их материальных действий. Отдаленной предпосылкой науки можно считать и мифологию, в которой впервые была реализована попытка построить целостную всеобъемлющую систему представлений об окружающей человека действительности. В силу своего религиозно-антропоморфного характера эти представления далеко отстояли от науки, более того, формирование науки требовало в качестве предварительных условий критики и разрушения мифологических систем. Для возникновения науки были необходимы также определенные социальные условия: достаточно высокий уровень развития производства и общественных отношений (приводящий к разделению умственного и физического труда и тем самым открывающий возможность систематических занятий наукой), а также наличие богатой и широкой культурной традиции, допускающей свободное восприятие достижений различных культур и народов. Первой ступенью интеллектуальной истории было освоение пространства мифа - пространства, на которое потом напластовывались осязаемые результаты работы.

Это позволяет увидеть, как переход от архаического мифа к мифологии создает пространства уникальных конфигураций, сохраняя неизменным «объем» смыслов [6].

Античная мифология – это совокупность представлений древних греков и римлян о происхождении мира и общественного устройства, а также воспоминаний о своем прошлом.

Осознание античной мифологии тесно связана с религией, ритуалом, фольклором, так что проведение между ними твердой разграничительной линии подчас вызывает непреодолимые трудности. Кроме того, в художественном оформлении мифа существенную роль играют законы устного творчества, в том числе героические сказания. Наконец, в античной мифологии объединились различные и разновременные пласты, выделение которых тоже не всегда,

бесспорно. Поэтому в дальнейшем речь пойдет только об отражении в художественной литературе античного мира, в которой миф сначала играет социально-нормативную роль, а затем все больше становится арсеналом образов и сюжетных ситуаций в том числе и в объектах дизайна в кластере ювелирных изделий и аксессуаров, как своего времени, так и современности.

В мифологии каждым аспектом жизни заведовало то или иное божество, и люди для достижения своих конкретных целей обращались к конкретному божеству с просьбой помочь, приносили подношения в соответствующие храмы.

Но редукция к высшему – методологический ход, который не позволяет концептуализировать и превращать в научные модели явления жизни. В силу этого философская парадигма стала заимствоваться из другой, западноевропейской цивилизации.

Мифология – фантастическое представление о мире, свойственное человеку первобытной формации, как правило, передаваемое в виде устных повествований – мифов. Человеку, жившему в условиях первобытнообщинного строя, основанного на стихийном коллективизме ближайших родственников, были понятны и наиболее близки только его общинно-родовые отношения. Эти отношения он переносил на все окружающее – Земля, небо, растительный и животный мир представлялись в виде универсальной родовой общины, в которой все предметы мыслились не только как одушевленные, а часто даже и разумные, но обязательно родственные между собой существа. Постепенно в мифологии возникали обобщения.

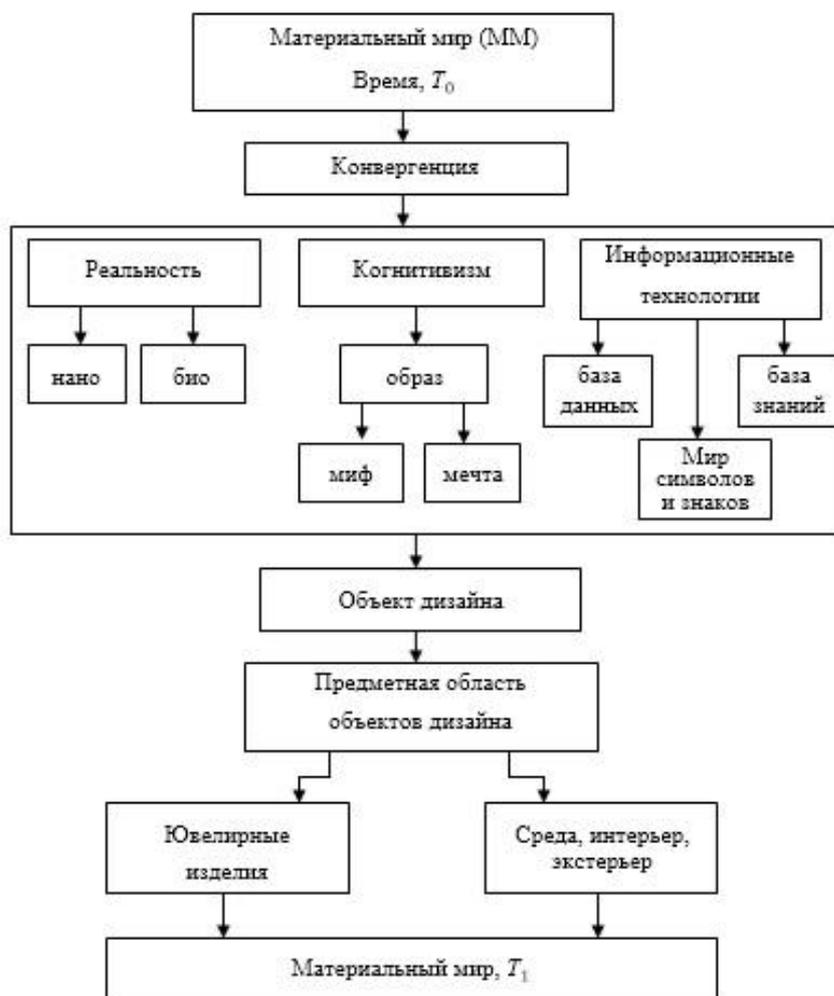


Рис. 1. Темпоральная модель

Первоначальными формами в мифологии были фетишизм (когда одушевлялись отдельные вещи и мыслилось полное отделение вещи от идеи самой вещи), тотемизм (фетишизация данной общины или племени, выраженная в образе того или другого основателя этой общины или племени). Более высокой ступенью развития мифологии явился анимизм, когда человек стал отделять идею вещи от самой вещи.

Фетишизм – форма первоначальной, непосредственной религии – колдовства, когда человек осуществляет косвенную власть над природой с помощью волшебного средства – фетиша, достигая того, что ему нужно. Формы фетишей разнообразны – камни, куски дерева, части тела животного, идолы, изображения и др.

Тотемизм – комплекс верований, мифов, обрядов и обычаев родоплеменного общества, связанных с представлением о сверхъестественном родстве между определенными группами людей и так называемыми тотемами – видами животных и растений. Тотем – чаще всего вид животных – предмет религиозного почитания группы, носящей его имя, обычно родовой общины, членам которой запрещается охотиться на тотема, убивать его и употреблять в пищу. Тотемная группа считает себя связанной с тотемом общим происхождением от мифических предков – полулюдей-полуживотных или полурастений – и видит в нем покровителя и подателя жизненных благ. Пережитки тотемизма обнаруживаются во всех религиях мира

Анимизм – вера в существование душ и духов, т. е. фантастических, сверхъестественных, сверхчувственных образов, которые в религиозном сознании представляются действующими во всей мертвой и живой природе агентами, управляющими всеми предметами и явлениями материального мира, включая человека. Если душа представляется связанной с каким-либо отдельным существом или предметом, то духу приписывается самостоятельное значение, широкая сфера деятельности и способность влиять на различные предметы. Души и духи представляются то аморфными, то фитоморфными, то зооморфными, то антропоморфными существами, однако они все-

гда наделяются сознанием, волей и другими человеческими свойствами.

В связи с ростом обобщающего и абстрактного мышления создавалась новая ступень мифологической абстракции. Она доходила до представления об одном отце людей и богов. Таким предстал олимпийский Зевс, ниспровергнувший своих предшественников в подземный мир и подчинивший других богов себе в качестве детей. Развитие мифологии шло от хаотического к упорядоченному, соразмерному, гармоническому, в чем можно убедиться при сравнении мифологических образов разных исторических эпох. Мифологическое мышление пришло к различным историческим и космогоническим обобщениям. Являясь мировоззрением первобытнообщинного строя, всякий миф содержал в себе также познавательную функцию, попытку разобраться в сложных вопросах: как произошел человек, в чем тайна жизни и смерти и т. п. Мифология была наивной верой, единственной формой идеологии первобытнообщинного строя. В раннеклассовом обществе мифология стала аллегорической формой выражения разного рода религиозных, социально-политических, моральных и философских идей, она широко использовалась и используется в искусстве, дизайне и литературе. В этом смысле мифология никогда не умирала, мифологические образы и поныне используются современными политическими деятелями, писателями, философами и художниками. Будучи в течение тысячелетий формой осознания природы и человеческого бытия, мифология рассматривается современной наукой как летопись вечной борьбы старого и нового, как повесть о человеческой жизни, ее страданиях и радостях, как источник образов объектов дизайна, как темпоральная модель (рис. 1), как культурный код.

Это показывает возрождение в настоящее время античных традиций таких как, мусические соревнования, к которым относятся Дельфийские игры, взявшие в мире на себя функции комплексных соревнований молодых профессионалов в области искусства, которые востребованы в современных условиях, объединяют все виды

искусств. (изобразительные, исполнительские, прикладные, словесные, социальные, экологические) и в настоящее время представляют 46 классических и современных номинаций (фортепиано, скрипка, народные инструменты, духовые инструменты, эстрадное пение, народное пение, академическое пение, эстрадный танец, народный танец, театр, художественное чтение, цирк, ди-джей, фотография, плакат, граффити, вэб-дизайн, журналистика, телевидение, кулинарное искусство, парикмахерское искусство, сохранение культурного наследия, народные промыслы и пр.). Игры представляют собой эффективный инструмент сохранения культурного наследия, поиска и поддержки молодых талантов, эстетического воспитания подрастающего поколения, помощи в духовном становлении личности, содействия межкультурному диалогу и развитию многообразия культур. Игры нашли поддержку со стороны ЮНЕСКО, Совета Европы, Парламентской Ассамблеи Совета Европы, Европейской Комиссии, Исполнительного комитета Содружества Независимых Государств, Совета по культурному сотрудничеству государств-участников СНГ.

Это стало подтверждением того, что, исследуя ритмы национального сознания в социально-культурной среде современной России надо отметить реальную необходимость поиска новых творческих решений в определённой хронологической ретроспективе [7].

Эти условия сложились к VI в. до н. э. в Древней Греции, где и возникли первые теоретические системы (Фалес, Демокрит и др.), в противовес мифологии, объясняющей действительность через естественные начала. Древнегреческая наука (Аристотель и др.) дала первые описания закономерностей природы, общества и мышления, которые сыграли выдающуюся роль в истории культуры – ввели в практику мыслительной деятельности систему абстрактных понятий, превратили в устойчивую традицию поиск объективных естественных законов мироздания и заложили основы доказательного способа изложения материала. В эту же эпоху от натурфилософии начинают обособляться отдельные

области знания – область геометрии (Евклид), область механики (Архимед), область астрономии (Птолемей) и др.

В настоящее время можно констатировать возврат к мифологической картине мира на новом уровне.

Одним из характерных в спирали исторических циклов является античная культура, и прежде всего это культура Древней Греции, которая во многом ярко представленная её литературой. В Древней Греции вся литература так или иначе связана с её ранним жанром, то есть с эпосом (греч. «слово», «повествование») и мифологией (греч. «мифос» - «слово», «речь», «рассказ») [4], по которым можно судить и о целой древней культуре по её повествованиям о себе.

Все, что для нас сейчас само собой разумеется, когда-то было открыто впервые. И то, что надо слушаться закона; и то, что параллельные прямые не пересекаются; и то, что биение пульса в человеке — от сердца; и то, что мысль о вещи может больше о ней сказать, чем взгляд на эту вещь; и то, что интересные истории можно разыгрывать в лицах и тогда это называется драма. Такие открытия порознь делались и в Вавилоне, и в Индии, и в Китае, и в Греции. Но наша собственная новоевропейская цивилизация, развивалась главным образом на основе древнегреческой (и сменившей ее древнеримской). Поэтому древнегреческие открытия ближе нам, чем какие-нибудь иные [4].

Их достоинство заключается в постоянстве определений, которые были когда-то даны Евклидом, Сократом, Архимедом, а поэты и художники разных исторических периодов до настоящего времени создают образы объектов дизайна. При этом твердо осознавая их знаковость в сущности, свойствах и отношениях живых и косных материальных систем. Поэтому глубокое знание древнегреческой культуры — это значит лучше понять и Шекспира, и Рафаэля, и Пушкина и т.п. [8].

При рассмотрении Паросской хронологической таблицы можно увидеть в ней то место, где кончается мифология и начинается история.

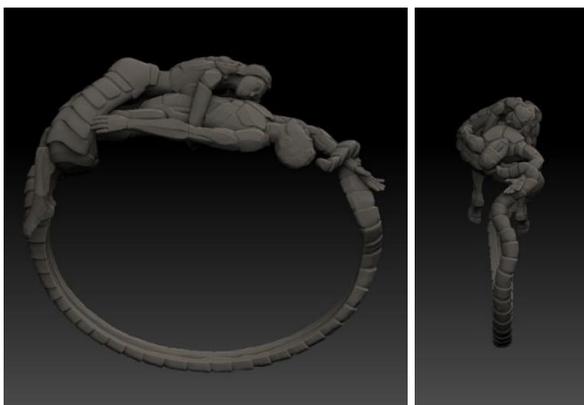


Рис. 2. Браслет Гермафродит и Салмакида



Рис. 3. Браслет Кадм и Гармония

Исследования, проведённые в данной работе, позволили при выборе архетипов объективной реальности создать антологию из некоторых древнегреческих и древнеримских литературных источников, в которых сюжетная композиция и персонажи сформировали когнитивные модели объектов дизайна. Паросская хронологическая таблица позволяет систематизировать во времени последовательность, разрабатываемых образов, появившихся произведениях Гесиода («Теогония», «Происхождение богов», «Труды и дни») и Гомера («Илиада», «Одиссея», «Батрахомиомехия») и далее развитых уже в памятниках римской античной литературы в произведениях Горация («Наука поэзии» стал теоретической основой классицизма), и конечно Овидия (поэмы «Наука любви», «Средства от любви». Мифологический эпос «Метаморфозы» (о «превращениях» людей и богов в животных, созвездия) и «Фасты» (о римских религиозных праздниках) выступают памятниками европей-

ского значения. Самым крупным произведением великого древнеримского поэта Овидия являются «Метаморфозы» («Преобразования») — мифологическая поэма эпического характера, где в виде связного повествования объединены многочисленные эпизоды из римских легенд и мифов. Задумывая это произведение, поэт ставил перед собой задачу создать поэтическую историю Вселенной — с момента превращения первичного Хаоса в материальный мир. Среди многочисленных поэтических рассказов Овидия особое внимание привлекают легенды о Фаэтоне; о самовлюбленном Нарциссе, превратившемся в цветок; о полете Дедала и Икара; новеллы о Пигмалионе и Галатее; сказание об Орфее и Эвридике, а также трактовку очень древнего периода античной мифологии, а именно фиванской мифологии, представленную старинными персонажами Кадма и Гармонии, Актеона, Семелы, Тиресия, которые послужили созданию проектов объектов дизайна (рис. 2 и 3). Браслет Гермафродит и Салмакида, браслет Кадм и Гармония разработаны на кафедре технологии художественной обработки материалов и ювелирных изделий СПбГУПТД, целью которых было исследование культурного кода метафор, как одного из постулатов теории дизайна при формировании художественного образа ювелирного изделия.

Список литературы

1. Жуков В. Л. Антиэнтропийный процесс: гармонизация и разнообразия объектов дизайна на основе гибридных визуальных когнитивных информационных динамических систем / В. Л. Жуков // Известия вузов. Технология легкой промышленности. — т.34. — № 4, 2016. — СПб.: ФГБОУВО «СПГУПТД», 2016. — С. 75 — 82.
2. Жуков В. Л. Эволюционное моделирование в дизайне / В. Л. Жуков // Дизайн. Материалы. Технология. — № 1 (22) 2012. — СПб.: ФГБОУВО «СПГУПТД», 2012. — С. 28 — 30.
3. Жуков В. Л. Футурология в теории и практике дизайна в контексте NBIC - конвергенций на примере разработки композиционного решения и технологии изготовления аксессуаров и ювелирных украшений, определяющих тенденции развития в совершенствовании облика человека / В. Л. Жуков, О. С. Джуромская

// Дтзайн. Материалы. Технология. – № 4 (34) 2014. – СПб.: ФГБОУВО «СПГУТД», 2014. – С. 25 – 32.

4. Мелик-Гайказян, И. В. Миф, мечта, реальность: постнеклассические измерения пространства культуры; под ред. И. В. Мелик-Гайказян. — М.: Научный мир, 2005. — 256 с.

5. Назаретян А. П. Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. Синергетика - психология – прогнозирование / А. П. Назаретян. –М. : Мир, 2004. – 368 с.

6. Игнатъев М. Б. Кибернетическая картина мира. Сложные киберфизические системы: учебное пособие / М. Б. Игнатъев; предисл.

акад. РАН С. В. Емельянова; 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ГУАП, 2014. – 472 с. ил.

7. Жуков В. Л. Визуальная когнитивная информационная динамическая система (вкидс) - «человек – верхняя одежда», в контексте исследования древнегреческой мифологии в создании образа объекта дизайна, представленного женским головным убором сочетания проектно-технических и образных начал / В. Л. Жуков, А. А. Криворучка // Дтзайн. Материалы. Технология. – № 3 (43) 2016. – СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2016. – С. 16 – 28.

8. Гаспаров М. Л. Занимательная Греция / М. Л. Гаспаров. - М.: ТЕРРА – Книжный клуб, 2009. – 416 с.

УДК 7.02

САМООРГАНИЗАЦИЯ И ВНЕШНЕЕ УПРАВЛЕНИЕ СОЗДАНИЕМ ОБРАЗОВ ОБЪЕКТОВ ДИЗАЙНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ

Жуков В. Л., к.т.н., доцент;
Жукова Л. Т., д.т.н., профессор, директор, заведующая кафедрой
Смирнова А. М., магистрант

Институт прикладного искусства Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

© Автор для переписки: Жукова Л. Т. t-mail:
lt_zhukova@mail.ru

Научно-технический прогресс пронизывает всю сферу деятельности цивилизации, и одним из основных его проявлений, которое выходит сегодня на первый план – это эволюция в гармонии внешности и облика человека, и его культурного «ландшафта» в киберпространстве сложных систем, где большую знаковую роль играют ювелирные украшения и аксессуары, способные идентифицировать личность. Реализация этого эволюционного и самоорганизующегося процесса, осуществляется через когнитивное моделирование образов объектов дизайна в

дифференцированном, эксклюзивном, эстетическом, системном, символьном и знаковом подходе к ним, рассматривая их, как сложные визуальные когнитивные информационные динамические системы (ВКИДС) предметной области объектов дизайна.

Ключевые слова: идентификация, знак соответствия (логотип), код, дизайн, эмблема, технология художественной обработки материалов, сложные киберфизические системы.

SELF-ORGANIZATION AND EXTERNALLY MANAGE THE CREATION OF IMAGES OF OBJECTS OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ARTISTIC PROCESSING OF MATERIALS IN CYBERSPACE

Zhukov V. L.;
Zhukova L. V.;
Smirnova A. M.

Institute of applied arts, St. Petersburg state University industrial technology and design

© Author for correspondence: L. T. Zhukova e-mail:
lt_zhukova@mail.ru

Scientific and technological progress pervades the entire scope of civilization, and one of his main shows-year-old that goes to is evolution in harmony of appearance and appearance of man and his cultures-tion of "landscape" in cyberspace complex systems where a large symbolic role of jewelry and accessories, able to identify the person. The implementation of this evolutionary and self-organizing process, is

through cognitive modeling images of objects of design in a differentiated, exclusive, es-thetic, systemic, symbolic, and iconic approach to them, treating them as complex visual information cognitive dynamic systems (VKIDS) subject area designs.

Key words: identification, conformity mark (logo), code, design, emblem, technology, art Noi, material handling, complex cyber-physical systems.

Фундаментальной идеей кибернетического мышления является идея цикличности, самоотнесенности, обратной связи. соответствующее английскому «self» или русскому «собственный», «само», «Я» (eigenbehavior, eigenelement, eigenfunction, eigenprocess, eigenvalue). Ни одна система не могла бы выжить без способности поддерживать и воспроизводить свое собственное поведение и свою собственную организацию. В самоорганизации всегда есть элемент цикличности, это, по сути, организация организации. Окружающий мир в том виде, в котором происходит его восприятие, есть абстракция и изобретение человечества, которые представлены конструктором карт и моделей, и все существующие теории и объяснения являются конструкциями, за которые оно несёт ответственность. При создании образа объекта дизайна происходит освоение, инактивация, конструирование отдельной, когнитивной индивидуальной реальности.

Облик когнитивной науки сегодня – это так называемая телесная когнитивная наука (embodied cognitive science), в которой сейчас происходит концептуальный поворот от вычислительной к динамической стратегии. Динамическая стратегия базируется на семи принципах.

1. Познание инкарнировано (cognition is embodied), познание телесно, воплощено, детерминировано телесной облеченностью человека, мезокосмически обусловлено способностями человеческого тела видеть, слышать, ощущать.

2. Познание ситуационно. Когнитивная система встроена, укоренена как внутренне – в обеспечивающем ее деятельность материальном нейронном субстрате, так и внешне – включена во внешнее ситуативное физическое и социокультурное окружение.

3. Познание инактивировано (cognition is enacted) – познание осуществляется в действии и через действие. Через действия, двигательную активность формируются и когнитивные способности. Познавательная активность в мире создает и саму окружающую среду по отношению к когнитивному агенту, среду – в смысле отбора, вырезания когнитивным агентом из мира именно и только того, что соответствует его когнитивным способностям и установкам.

4. Когнитивные структуры являются эмерджентными (cognition is emergent), они проявляются спонтанно, непредсказуемо и относительно недетерминировано в ходе процессов самоорганизации.

5. Процесс познания индивида протекает во взаимной связи, кодетерминации.

6. Познание динамично и строится в процессе самоорганизации. Когнитивные системы являются динамическими и самоорганизующимися системами. Функционирование познавательных систем принципиально сходно, единственно функционированию познаваемых природных систем, т. е. объектов окружающего мира. Именно поэтому в рамках телесного подхода находят плодотворное использование новейшие достижения в области нелинейной динамики, теории сложных адаптивных систем, теории самоорганизованной критичности, синергетики.

7. В процессе познания имеет место циклическая детерминация субъекта и объекта познания. Сложность и нелинейность сопровождающих всякий акт познания обратных связей означает то, что субъект и объект познания взаимно детерминируют друг друга, т. е. находятся в отношении ко-детерминации, они используют взаимно предоставленные возможности, пробуждают друг друга, сорождаются, сотворяются, изменяются в когнитивном действии и благодаря ему [1].

Очевидно, что, стационарные состояния являются неравновесными состояниями, хотя по своим свойствам они близки к равновесному состоянию, в момент становления когнитивных искажений реальности художественными образами объектов дизайна. Но, если отклонения от рав-

новесного состояния приводит к колебаниям (в общем случае затухающим) динамических параметров системы, то есть предметной области объектов дизайна: геометрических форм, цвета, композиции, сюжета, функциональности, описываемым в фазовом пространстве циклическими или спиральными траекториями, то отклонение от стационарного состояния приводит к колебаниям типа фликкер-шума, характеризующимся стохастическим аттрактором в виде иллюзорного образа [2]. Иначе говоря, стационарные состояния едва устойчивы: пребывая в них, сложные ВКИДС постоянно изменяется, тем расширяя предметную область объектов дизайна, при чём эти изменения самоподобны и носят фрактальный характер. Если величина возмущения достигает некоторого порогового значения, то в системе возможен скачкообразный переход в другое стационарное состояние, то есть из одной зоны адаптационного максимума в другую, который в период перехода создаёт два сюжета этого процесса в дизайне, а именно, это появление новых художественных стилей и технологий художественной обработки материалов и появление иллюзорных образов.

В синергетике под катастрофой или кризисом понимается скачкообразное изменение одного или нескольких динамических параметров системы при монотонном изменении управляющего параметра по достижении некоторого порогового его значения или феномена адаптационного максимума. При этом система скачкообразно переходит из одного стационарного состояния в другое [2]. Исследования их показали, что моделирование этих типов может задавать определённые художественные образы с иллюзорными свойствами образы объектов дизайна в бифуркационных состояниях, соответствующих типам катастроф в универсальном историческом периоде с циклическостью относительно мира [3]. Наглядный образ такого рода даёт философия и творчество голландского художника Маурица Эшера (1898 – 1971), больше известного как Морис Эшер по французскому прочтению его имени, весьма занимала задача составления орнаментов, использующих в качестве повторяю-

щихся элементов изображения реальных объектов: животных, людей и предметов, созданных человеком (рис. 1 - 5).

Гравюрные «мозаики» Эшера заполняют всю плоскость рисунка одинаковыми фигурами, не оставляя между ними ни малейшего зазора. Различие между фигурами достигается их окраской в разные цвета. Иначе говоря, «мозаики» Эшера дают геометрическую интерпретацию *цветной симметрии*, ныне широко применяющейся в кристаллофизике и физике элементарных частиц. На рис. 1 шесть ящериц своими лапками соприкасаются в точках, через которые можно провести поворотные оси 6, 3 и 2-го порядка. Но различие в цветах понижает симметрию этих осей до 2-го, а иногда даже и 1-го порядка.

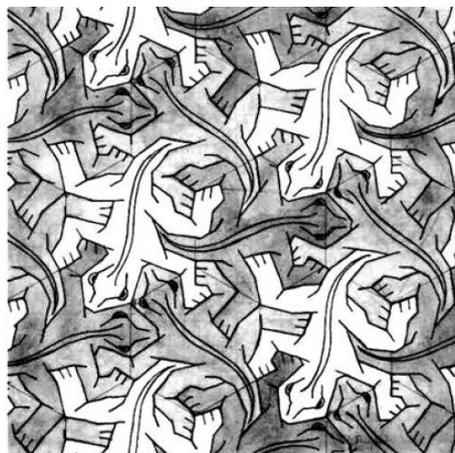


Рис. 1. М. Эшер. «Ящерицы». Симметрия



Рис. 2. М. Эшер. «Рептилии»
узора зависит от цвета ящериц

М. Эшер широко применяет в своих работах и бифуркационные эффекты: на рис. 2 и 3 можно увидеть, как происходит качественная перестройка фигур по цвету или по форме. Отметим, что для получения

этого эффекта мастер использует достигаемый художественными средствами выход в 3-е измерение. Позднее мы остановимся подробнее на синергетической стороне этого приема.

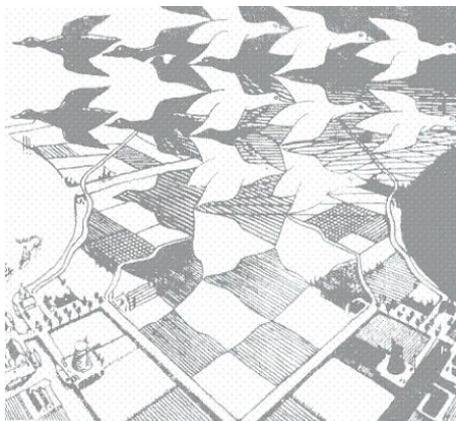


Рис. 3. М. Эшер. «День и ночь»



Рис. 4. М. Эшер. «Круговой предел»

Еще одной особенностью, часто встречающейся в работах М. Эшера, является наличие симметрии подобия. На рис. 4 помимо поворотных осей 3-го порядка, использована трансляция основного элемента структуры на все уменьшающееся расстояние с одновременным уменьшением размеров. Фигурки рыб, постепенно уменьшаясь в размерах по мере приближения к краю круга, представляют пример так называемой фрактальной структуры.

Ещё одним примером является известная литография М. Эшера «Рисующие руки» (1948 г.) (рис. 5).

Правая рука рисует манжету с запонкой. Ее работа не закончена, а справа уже детально прорисована левая рука, которая рисует манжету с запонкой, из которой выступает правая рисующая рука. Эти две

руки взаимно рисуют друг друга, они взаимно полагают условия своего возникновения и составляют некое единство, некое взаимодействие, которое можно назвать креативным кругом.

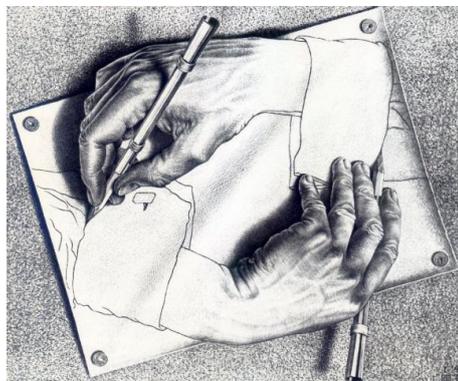


Рис. 5. Литография М. Эшера «Рисующие руки» (1948 г.)

В качестве основного математического аппарата используется лингвокомбинаторное моделирование, которое на основе анализа текстов позволяет выявить возможности управления в самых различных системах. При этом управление может быть, как внутренним, осуществляться блоком управления, действующим внутри системы, так и внешним, когда управление осуществляется извне по отношению к системе. В реальности сочетаются эти оба вида управления [1]. Причём в контексте управления понимается процесс созидания формы и цвета, как функции от когнитивного искажения реальных сложных самоорганизованных систем. Применительно к различным системам предстоит исследовать возможности как внутреннего, так и внешнего управления кинетикой и динамикой структур этих систем, кибернетический и синергетические подходы.

В настоящее время на кафедре технологии художественной обработки материалов и ювелирных изделий идут достаточно полные и глубокие научные исследования в теории дизайна по созданию образов сложных знаковых стилистических систем, на основе богатейшего материала модернизма и постмодернизма, представленных ювелирными изделиями и аксессуарами и сложных систем, которые при этом могут иметь не только символ в художественном образе, но и нести информационные свой-

ства, акцентированные на идентификацию объекта и/или субъекта с адресной направленностью (рис. 6-8), проект Смирновой А. М.



Рис. 6. Парюра

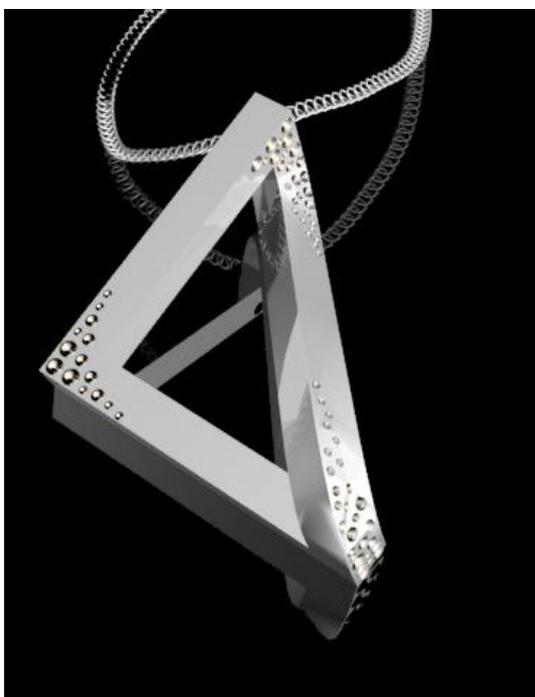


Рис. 7. Кулон



Рис. 8. Кулон

Воссоздание стилистических прототипов и их паттернов в дизайне аксессуаров

нового времени оказалось своеобразной антитезой стабилизации в виде феномена странного аттрактора. Индивидуальное и массовое в художественном образе аксессуаров присутствует в определенных соотношениях, сохраняя необходимое условие существования и развития всех архитектурных видов искусств – гибридизация художественных и функциональных признаков [4].

Конкретным примером этих «шагов» в данном исследовании явилась разработка, проектирование и изготовление аксессуара зажим для галстука (рис. 9).

В композициях изделий были учтены следующие информационные характеристики:

- персональные данные о субъектах;
- символическая семиотика отдельных исторических процессов во времени [5].

Выводы

Рассмотрение изделий, как сложной самоорганизующей ВКИДС позволяют с помощью бинарного процесса сравнения [6], обусловленного нормами классической математической статистики, осуществить для всех компонентов парюры оптимальную гармонизацию единообразия. Очевидно, что результаты проведенных исследований позволят увеличить арсенал для поиска современных инструментов в формообразовании и цветопередаче для объектов дизайна, который должен быть расширен новыми средствами графического поиска по содержанию — контентного поиска (content-based retrieval), основанного на сопоставлении и распознавании зрительных образов. Опыт применения систем, ведущих поиск архетипов и их элементов по заданным свойствам ВКИДС по изображению-образцу, соответствующего обобщенному золотому сечению, показывает их превосходство перед традиционными способами поиска аналогов в ряде событий [7].

При этом с учетом выводов из закона синергии надо иметь в виду особую роль малых факторов (нюансов в стиле и композиции), структурных элементов целого и компонентов распределения с низким удельным весом в обеспечении устойчивого функционирования систем.

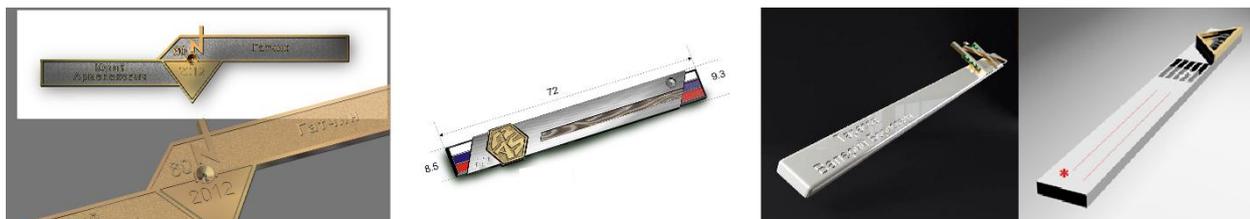


Рис. 9 – Зажимы для галстуков с функцией идентификации субъектов

Дизайн допускает гармонизацию элементов во многих отношениях, но при этом необходимо четко фиксировать отношения и структурные связи, т. е. стилеобразование, в которых этот процесс когнитивного моделирования осуществляется.

Список литературы

1. Игнатъев М. Б. Кибернетическая картина мира. Сложные киберфизические системы: учеб. пособие / М. Б. Игнатъев; предисл. акад. РАН С. В. Емельянова. 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ГУАП, 2014. – 472 с. ил.
2. Браже Р. А. Синергетика и творчество: учеб. пособие / Р. А. Браже. – 2-е изд., испр. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 204 с.
3. Жуков В.Л. Законы синергии в приложении при создании художественного образа визуальной когнитивной информационной динамической системы (ВКИДС) в реализации моделирования явлений иллюзии в предметной области объектов дизайна / в. Л. Жуков, Е. В. Баранова, К. О. Ткачѳв // Дизайн. Материалы.

Технология. – СПб. : ФГБОУВО «СПГУТД», 2015. – С. 109–116.

4. Жуков, В. Л. Гибридные системы когнитивных моделей объектов дизайна на основе нечёткой логики, генетических алгоритмов и методов искусствометрии / В. Л. Жуков, В. В. Жуков, Ю. О. Калласс // Дизайн. Материалы. Технология. – № 4 (24) 2012 – СПб. : ФГБОУВО «СПГУТД», 2012. – С. 17-20.
5. Жуков В. Л. Методы исследования стилистических ориентиров 21-го столетия в дизайне ювелирных изделий и аксессуаров / В. Л. Жуков, Ю. П. Сидоренко // Дизайн. Материалы. Технология. – № 2 (42) 2016 – СПб. : ФГБОУВО «СПГУТД», 2016. – С. 5–11.
6. Жуков В. Л. Фундаментальный сравнительный метод в научных исследованиях в дизайне / В. Л. Жуков // Дизайн. Материалы. Технология. – № 1 (41) 2016 – СПб. : ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2016. – С. 15–20.
7. Мелик-Гайказян, И. В. Миф, мечта, реальность: постнеклассические измерения пространства культуры; под ред. И. В. Мелик-Гайказян. – М.: Научный мир, 2005. – 256 с.

УДК 7.05

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРТИЗЫ В ДИЗАЙНЕ

**Соколова М.Л., профессор кафедры
 компьютерного дизайна.**

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail:
 dssml@rambler.ru

Проанализированы требования к процессу экспертизы объектов дизайна. Приведены особенности экспертизы в случае инклюзивного и эксклюзивного дизайна. Даны

рекомендации по разработке контрольно-измерительных материалов.

Ключевые слова: дизайн, экспертиза, универсальный дизайн, инклюзивный дизайн, эксклюзивный дизайн, контрольно-измерительные материалы.

SOME SPECIAL FEATURES OF THE EXPERT EVALUATION IN DESIGN

Sokolova M.L.

Institute of Physics and Technology of the Moscow Technological University

© Contacts of the author: Sokolova M.L., e-mail:
 dssml@rambler.ru

The author has analyzed the demands for the process of expert evaluation of the design objects. The paper presents special features of the expert evaluation in case of inclusive and exclusive design. The paper contains recommendations for creating the testing and assessment materials.

Key words: design, expert evaluation, universal design, inclusive design, exclusive design, testing and assessment materials

Дизайн – процесс создания нового объекта (единицы или комплекта, элемента пространственной среды или целого комплекса), обладающего рядом функций, которые делают наш мир более комфортным, удобным для человека и сопровождающих его в жизни соратников (домашних животных, механизмов, автоматов, роботов и т.д.). Дизайнер создает миску, в которую человек наливает молоко для кошки (и человеку удобно наливать молоко и мыть потом эту миску, а кошке удобно из нее пить). Дизайнер проектирует гараж, и потребителю удобно ставить в него машину, а машине «комфортно» в нем стоять. Но ни животное (кошка еще может как-то выразить протест и несогласие), ни тем более машина (хотя бы на данном этапе эволюции) не могут сформулировать нам свои потребности, они не могут выступать в роли эксперта. Роль эксперта, определяющего уровень дизайна, принадлежит человеку. Но может ли один отдельно взятый человек выступать в роли окончательного судьи, или это «командная» работа. И каковы должны быть критерии оценки – расчетные, интуитивные, сравнительные, накопленные в результате долгой практики. Эти вопросы встают перед дизайнерами достаточно часто и попытке ответить на них посвящена данная работа.

В эпоху ремесленного дизайна, когда форма изделия формировалась и оттачивалась годами, даже десятилетиями и веками, дизайнер, а тогда скорее художник, ремесленник выходил на образ, который мы сегодня можем признать «эстетической нормой» постепенно, путем последовательных приближений, итераций, консультируясь с потребителем, через обратную связь.

В настоящее время развитие дизайна не позволяет так легковесно тратить время и

деньги, проект должен быть либо признан годным и, соответственно, запущен в производство, либо отвергнут.

Стоит отметить, что говоря об экспертизе надо выделить, как минимум, два класса объектов: эксклюзивные, концептуальные, выполняемые в единственном экземпляре и инклюзивные проекты, которые разрабатываются для запуска в массовое производство, и в соответствии с требованиями настоящего времени должны удовлетворять принципам универсального дизайна. Для первых часто основным экспертом является сам автор и небольшой круг специально подготовленных критиков, а иногда просто заказчик. И ответственность за принятые решения лежит на авторе. Да и сам дизайн-объект редко выходит в жизнь из вставочного пространства. Во втором случае процесс оценки изделия значительно сложнее и на нем лежит больше ответственности, так как изделие предполагается выпускать массово, цена ошибки высока, за ней стоит не только имя разработчика, но и престиж, и экономическое состояние производителя.

Следует отметить, что иногда на экспертном сообществе лежит совершенно противоположная задача – проверить изделие, проект и добиться, чтобы объем нового не превышал некий уровень, обеспечивающий воспроизводство, постоянный интерес, но не меняющий кардинально исторически сложившиеся особенности промысла, способствующий даже некоторой консервации сложившегося стиля, сохраняющий его узнаваемость, то, что мы можем назвать традицией. Это обычно связано с развитием народных промыслов. Трудно представить изделия Гжели, расписанные в черном или ярко красном цвете. Или жестовские подносы, расписанные с применением мотивов холодного оружия или раковин (элементы стилей ампир и рококо).

Итак, принципиальным является разработка стратегии оценки. К стратегическим вопросам, на мой взгляд, можно отнести выбор параметров оценки и выбор экспертов, а к тактическим – способ проведения оценки. Параметры и эксперты являются стратегией, так как неправильно установ-

ленные параметры и ошибочно выбранные эксперты сведут проделанную работу к нулю и даже могут дать отрицательный результат. А выбор способа оценки может изменяться в процессе работы и некоторые неточности в тактике могут устраняться за счет статистической обработки результатов исследования.

Для проведения экспертизы необходимо ответить на вопросы, что меряем и кто это делает. Чтобы не утонуть в переборе параметров, а их в различных учебниках и пособиях приводятся самые разные подборки, выделим, на наш взгляд основные, которые находятся в жестком соотношении с определением дизайна через его признаки. Объект, являющийся результатом, производством дизайна должен обладать новизной, функциональностью, эргономичностью и эстетичностью. Учитывая современное состояние производства в развитых странах, где первичное насыщение рынка товарами уже выполнено, то я бы добавила такой признак как эмоциональность. Так как часто изделие заинтересовывает нас именно на уровне психологии, при остальных равных показателях. Также можно говорить о технологичности, универсальности, экологичности и др.

Приведенные параметры необходимо перевести в специальные протоколы, то что сегодня называется термином «контрольно-измерительные материалы» (КИМ). Распространение КИМ сегодня можно связать как с активизацией проникновения вычислительной техникой в процесс обработки результатов практически любых научных (и не только научных) исследований, что может оцениваться как положительный фактор, так и с попыткой снизить влияние субъективного начала, что далеко не всегда оптимизирует оценку. Если учесть перечисленные выше пара-

метры дизайна, то можно предположить, что КИМ должны обеспечить оценку новизны, функциональности, эстетичности, эмоциональности, эргономичности и ряда других, менее важных параметров. Совокупная оценка дизайнерского изделия по этим параметрам и даст некое представление о целесообразности перевода данного проекта к жизни.

Для выделенных нами ранее двух основных классов вклад каждого из этих параметров в итоговую оценку должен быть разным. Например, для эксклюзивного изделия выше потребность в уровне новизны и эстетичности и ниже требования по технологичности. А для инклюзивного объекта на первое место должны выходить функциональность, универсальность, технологичность и т.д.

Оценку можно давать: качественно (описывая, давая оценку опираясь на опыт, интуицию и т.д.), количественно (измеряя некие характеристики) и полук количественно (сравнивая с некоторыми эталонами, прототипами, аналогами или другими изделиями).

Таким образом, если для проведения оценки эксклюзивное изделия достаточно экспертной оценки, то экспертиза инклюзивного объекта, особенно с учетом принципов универсального дизайна, требует разработки КИМ для дизайна.

Список литературы

1. Куманин В.И. *Антидизайн / Труды Академии Технической Эстетики и Дизайна*, №2, 2015. Томск. ТПУ. – С. 5-6.
2. Соколова М.Л. *Современные проблемы направления «Технология художественной обработки материалов» / Российский технологический журнал*, № 1, т.5, 2017. МИРЭА. Москва. - С. 50-56.

УДК 658.512.23

РОЛЬ ДИЗАЙНА КАК СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И СОЦИАЛИЗАЦИИ ДЕТЕЙ С ОСОБЕННОСТЯМИ РАЗВИТИЯ

Комиссарова Л.А.¹ к.т.н., доцент;
Макарошкина Е.В.² генеральный ди-
ректор

^{1.} *Кафедра компьютерного дизайна Физико-технологического института Московского технологического университета.*

^{2.} *ООО «Деревянные игрушки»*

© Автор для переписки Комиссарова Л.А. e-mail:
Dom44@list.ru

Основной характерной чертой современного дизайна является его социальная направленность. Дизайн так же как искусство является средством социализации и обучения детей с особенностями развития. Современные технологии познания мира и развития для таких детей реализуются через игровые методики с помощью развивающих игр и игрушек.

Ключевые слова: универсальный дизайн, адаптация, игровые методики.

THE ROLE OF DESIGN AS MEANS OF ESTABLISHING A UNIVERSAL MEDIUM FOR THE TRAINING AND SOCIALIZATION OF CHILDREN WITH SPECIAL NEEDS

Komissarova L.A.¹;
Makarochkina E.V.²

^{1.} *Moscow Technological university,
Phisicotechnological institute.*

^{2.} *Firm «Wooden Toys»*

© Corresponding author Komissarova e-mail:
Dom44@list.ru

The main characteristic of modern design is its social orientation. Design as well as the art is a means of socialization and education of children with special needs. Modern Knowledge of the world and the development of technology

for such children is realized through gaming techniques using educational games and toys.

Keywords: universal design, adaptation, Playing methods.

Современный дизайн охватывает практически все сферы деятельности и жизни человека, то есть он универсален по своей сути. Основной характерной чертой современного дизайна является его социальная направленность; таким образом дизайн становится одной из форм государственной идеологии.

Универсальный дизайн подразумевает продукты и услуги для самого широкого круга людей с различными физическими и интеллектуальными возможностями без специальных приспособлений в использовании.

В основе философии универсального дизайна лежит идея создания безопасной и эргономичной среды, отвечающей интересам всех пользователей, а не созданной специально для людей с особыми потребностями.

Универсальный дизайн отрабатывает идею создания продуктов, одинаково необходимых и доступных для всех категорий пользователей.

Все эти идеи и основные принципы универсального дизайна базируются на положениях Конвенции о правах инвалидов, распространяются на пространства и объекты, используемые различными возрастными группами в разном психофизиологическом состоянии.

Использование возможностей универсального пространства и объектов, исключаящих любой патронаж вряд ли может быть реализовано в полной мере, если будет упущен очень важный момент – реабилитация и социализация детей с ограниченными возможностями (ОВ), и особенностями развития (ОР).

Идея просвещения и обучения детей с ОВ и ОР впервые была сформулирована в середине XXв. итальянским педагогом и врачом Марией Монтессори. Главный принцип системы - «обучение через исследование». [1]

Огромную роль в вопросах знакомства с окружающим миром занимают игровые

методики, которые используют игры и игрушки для развития зрительного восприятия и логического мышления, внимания, тренировки памяти, познания формы через тактильные ощущения. Большое значение имеет возможность формирования мелкой моторики у детей с ограниченными физическими возможностями.

Представленные в работе образцы являются результатом совместной деятельности ООО «Деревянные игрушки» и студентов кафедры компьютерного дизайна, которые во время практик принимали активное участие в разработке эскизов, цветовой палитры, создании макетов игрушки.

Игрушки выполнены из натуральной древесины, при производстве используются экологически безвредные клеи и краски. [2]

Все представленные игры и игрушки многофункциональны и, как правило, решают сразу несколько задач.

Игровые панели предназначены для развития мелкой моторики: застёжки (рис.1), открывание окошек и дверей в домике (рис.2) требует точных выверенных движений, помогает при нарушениях координации движений; тренирует логическое мышление через поиск способов открывания замочков. Работа с застёжками и замочками в домике требует внимания и усидчивости.

В системе Марии Монтессори большое внимание уделено развитию тактильных ощущений. Тактильная среда способствует развитию моторики, знакомит с формой, размером, развивает воображение и пространственное мышление (рис.5). Елочки выполнены из древесины с разной текстурой, могут использоваться как счетный материал.

Тематические вкладыши, представленные на рисунках 3 и 4, предназначены для знакомства с формой, размером; воспитывают внимание, развивают память, логическое мышление.

Все представленные образцы изготовлены на современном лазерном оборудовании, являются оригинальными, выполнены с учетом рекомендаций психологов-

педиатров и востребованы на рынке развивающих игр.



Рис.1. Застёжка



Рис.2. Замочки.



Рис.3. Вкладыш - игрушки.



Рис.4. Вкладыш – «Больше-меньше»



Рис.5. Елочки-грибочки

Список литературы.

1. Ассоциация Мантессори педагогов России [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://montessori.ru> (дата обращения 26.02.2017)
2. Макарошкина Е.В., Комиссарова Л.А., Кобзев Д.С. Развивающие игры и игрушки как средства адаптации детей с ограниченными возможностями / Сборник тезисов международной конференции Универсальный дизайн. 2016 МИРЭА. Москва. -с. 74-75

УДК 684.75

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР ИЗДЕЛИЙ ИНТЕРЬЕРНОГО ТЕКСТИЛЯ С ПОЗИЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Иванова О.В., к.т.н., доцент, зав. кафедрой дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров
Казакова Н.А., аспирант

ФГБОУ ВО Костромской государственный университет,

156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17

© Автор для переписки: olgavladivanov@yandex.ru

В данной статье рассматриваются вопросы эмоциональной ориентации помещений и грамотного выбора объектов интерьерного текстиля с точки зрения их восприятия потребителем. Характеристики объектов, которые оказывают влияние на эмоциональную ориентацию, представлены в виде схемы.

Ключевые слова: эмоциональная ориентация, интерьерный текстиль, проектирование, дизайн интерьера, трансформация

RATIONAL CHOICE OF INTERIOR TEXTILE PRODUCTS IN TERMS OF EMOTIONAL ORIENTATION

Ivanova O.V.;
Kazakova N.A.

Kostroma state university,
156005, Kostromacity, Dzerzhinsky str., 17

© Corresponding author: olgavladivanov@yandex.ru

In this article questions of emotional orientation of rooms and the competent choice of objects of interior textiles from the point of view of their emotional perception by the consumer are considered. Characteristics of objects which exert impact on emotional orientation are presented in the scheme form.

Keywords: emotional orientation, interior textiles, design, interior design, transformation

Дизайн среды является сложным много-ступенчатым процессом, который посвящен созданию модели некоего ещё не существующего средового объекта. В ходе проектирования дизайнеру необходимо учитывать большое количество факторов, которые в конечном итоге и формируют образ будущего объекта. В теории проектирования выделяют три класса целевых установок (или интегральных впечатлений), которые дизайнер должен учитывать в ходе реализации проектных идей:

- эмоциональная ориентация;
- масштабность;
- тектоническая организация.

Эмоциональная ориентация представляет собой совокупность ожидаемых и фактических эмоционально-чувственных ха-

рактических характеристик произведения дизайнерского искусства, отражает способность потребителя испытать тот или иной набор чувств и переживаний, вызванных внешним видом и особенностями функционирования данного прибора, инструмента, средовой ситуации [1]. Ожидаемость заключается в том, что человек подготовлен, имеет опыт общения с аналогичными объектами, поэтому его реакция на тот или иной объект предсказуема. Именно от того, совпадут ли «предсказания» дизайнера относительно эмоционального восприятия заказчиком с реальной его реакцией во многом зависит успех проекта. Гармония и общее восприятие интерьера создается с помощью удачного сочетания индивидуальности и стилизованных решений [2].

Одной из главных составляющих дизайна интерьера является текстиль. Интерьерный текстиль включает в себя портьеры, гардинное полотно, обивку для мебели и всевозможные аксессуары. Необходимо отметить значительное влияние интерьерного текстиля на эмоциональную окраску помещения. Характеристики предметов, которые необходимо учитывать для верной эмоциональной ориентации могут быть представлены в виде следующей схемы (рис.1). При этом оказыва-

ют влияние как каждая характеристика в отдельности, так и их сочетание. Воздействие той или иной характеристики на эмоциональное состояние человека подробно изучено психологами, поэтому может быть легко предсказано на стадии проектирования. Например, гладкие блестящие шторы воспринимаются более холодными и строгими, чем аналогичные по форме, но выполненные из ткани с шероховатой фактурой. Ткани с ворсовой поверхностью – теплые и мягкие на вид. Важной характеристикой является также силуэтная форма изделия. В «чистом» виде геометрические фигуры встречаются крайне редко, но, например, криволинейные формы, представляющие из себя какую-то часть круга, овала или имеющие вид параболы, можно объединить в одну группу, в дальнейшем их можно отнести к фигуре «круг» [3]. Следовательно, они будут иметь ту эмоциональную окраску и те качества, которые присущи кругу и в тем большей степени, чем ближе их силуэт приближен к идеальному кругу. Эти, в целом, общеизвестные характеристики помогают задать параметры поиска наилучших вариантов изделий интерьерного текстиля в самом начале проектирования.

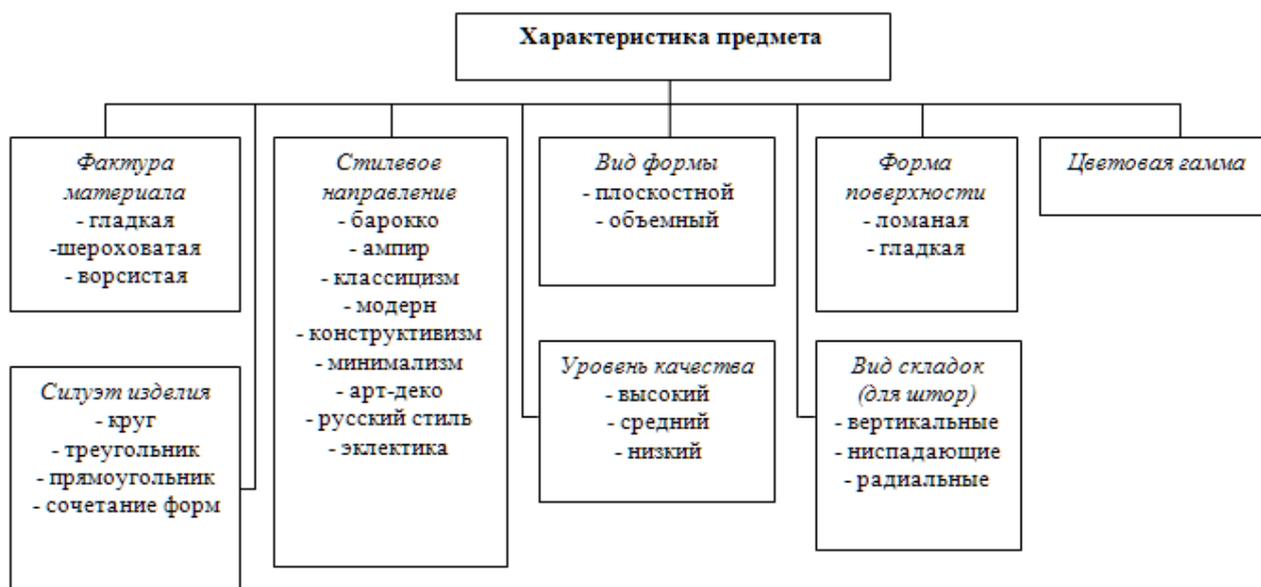


Рисунок 1 – Характеристики предмета, влияющие на эмоциональную ориентацию



Рисунок 2 – Характеристики помещения, влияющие на выбор объектов интерьерного текстиля

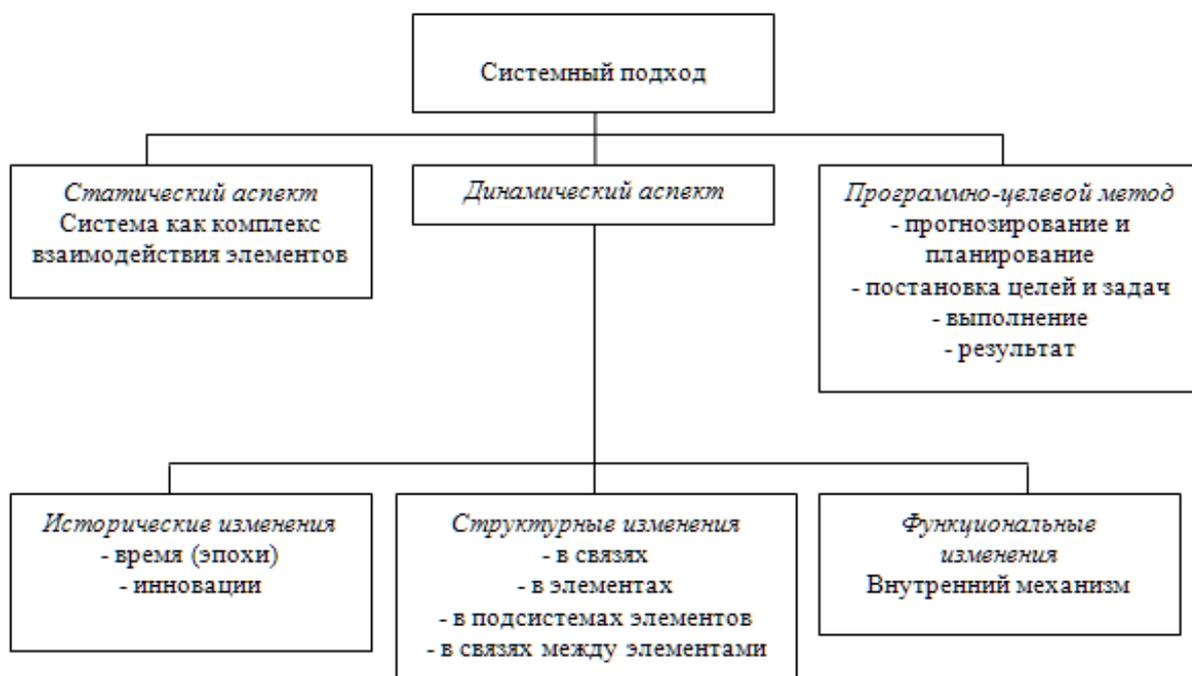


Рисунок 3 – Системный подход к теоретическому основанию трансформации

С другой стороны, как интерьерный текстиль влияет на эмоциональное восприятие помещения, так и само помещение оказывает обратное влияние и задает тон при выборе текстиля (рис. 2).

Быстро изменяющиеся условия жизни современного человека требуют нового подхода к проектированию элементов интерьерного текстиля. При создании изделий должны быть заложены возможности изменения их эмоциональной ориентации: частичное исправление решений принятой к исполнению композиционной схемы или кардинальное преобразование сложивше-

гося в натуре или в проекте предметно-пространственного строя, придание ему новых визуальных и эмоциональных качеств и состояний [1]. Это становится возможным, если проектировать изделия, способные к трансформации по желанию заказчика. Изменение вида и формы предметов интерьера бытового и социокультурного назначения, их превращение и преобразование собственными силами, с минимальными финансовыми вложениями чрезвычайно востребовано потребителями разного уровня дохода [4].

Теоретические основания трансформа-

ции в дизайне интерьера состоят из трёх частей:

- статический аспект;
- динамический аспект;
- программно-целевой метод [5].

Примеры теоретического основания трансформации могут быть представлены в виде следующей схемы:

Статические аспекты – это информация о дизайне в определенный момент времени, т.е. информация в поперечном срезе потока времени. Динамические аспекты – это информация об изменениях, происходящих в дизайне, продолжительных во времени, т.е. информация в продольном срезе потока времени. При проектировании трансформируемых элементов необходимо учитывать оба аспекта.

Программно-целевой метод в планировании - это способ формирования системы плановых решений. Программно-целевой метод обеспечивает конкретику постановки прогнозирования и планирования, постановка целей и задач, выполнение и результат [5].

Дизайнеру при проектировании объекта необходимо учитывать не только текущее эмоциональное состояние заказчика, но и прогнозировать его возможные изменения и, учитывая их, выбирать те или иные варианты трансформации. Простейшим примером могут служить, например, двусторонние шторы со сторонами различного цвета, которые вызывают различные реакции у потребителя. Современные технологии позволяют выполнять объекты интерьерного текстиля, которые могут изменять цвет и свет благодаря особым программам.

Таким образом, для рационального выбора объектов интерьерного текстиля необходимо учитывать изменение эмоционального состояния потребителя во времени. Важным аспектом является увеличение потребительской ценности изделий и запаса конкурентоспособности. Поэтому, рационально использование современных текстильных изделий с возможностями трансформации.

Список литературы

1. Шимко, В.Т. Основы дизайна и средовое проектирование [Текст]: учеб.пособие / В.Т. Шимко. – М.: ИМДТ, 2007. – 58с.
2. Дизайн, текстиль в интерьере [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://styldoma.ru/interer/inter-er-bez-tekstilya-budet-skuchny-m>
3. Казакова, Н.А. Геометрическая классификация сложных пространственных форм в одежде и интерьерном текстиле [Текст] / Н.А. Казакова, О.В. Иванова, Хамматова В.В. // Вестник технологического университета – 2017. – Т. 20, №3
4. Иванова, О.В. Изделия для текстильного оформления интерьера: методы проектирования с учетом технологических, материаловедческих, психологических и социокультурных факторов. Монография [Текст] / О.В. Иванова, Н.А. Смирнова. - Кострома: Изд-во Костромского государственного технологического университета, 2016. – 112с.
5. Петушкова Г.И. Трансформативное формирование в дизайне костюма. Дизайн костюма. Теоретические и экспериментальные основы [Текст] : учебник для студентов направления подготовки 072500 "Дизайн" / Г. И. Петушкова. - Москва : URSS : Ленанд, сор. 2014. - 453 с.

УДК 7.067

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЗДАНИИ КОНЦЕПТ-АРТА

Аккурадова О.Л., доцент кафедры
 ДТМ и ЭПТ;

Роганова Д.А., студентка 3 курса ба-
 калавриата

Институт дизайна и технологий Костром-
 ского государственного университета, г. Ко-
 строма, 156005, Россия

@ Автор для переписки, e-mail:
 oceanodarja@gmail.com

В статье поднимается проблема влияния технологий на современное искусство. Авторы изучают актуальное направление концепт-арт. Рассматривается семантика термина и дается определение данного понятия. Авторы выявили влияние технологического прогресса на внешний вид, выбор материалов и методов создания концептов. В статье описаны возможности и преимущества основных инструментов, которые использует современный концепт-художник: дигитайзеры, графические 2D и 3D редакторы. Авторы поднимают проблему идентификации изучаемого вида искусства.

Ключевые слова: современное искусство, технологии, концепт-арт, графический редактор, цифровая живопись, концепт-художник

COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE CREATION OF CONCEPT-ART

Akkuratova O.L.;
Roganova D.A.

Kostroma state university, Design and technology institute, Kostroma, 156005, Russia

*© Corresponding author, e-mail:
oceanodarja@gmail.com*

The article raises the problem of the influence of technologies to the contemporary art. The authors study the actual direct of the concept-art. It is considering the semantics of the term and giving a definition of this concept. The authors revealed the influence of technological progress on the appearance, choice of materials and methods for creating concepts. The article describes the features and benefits of the main tools that the modern concept-artist uses: digitizers, 2D and 3D graphics editors. The authors raise the problem of identification the studying kind of art.

Keywords: contemporary art, technologies, concept-art, graphics editor, digital painting, concept-artist

В современном дизайне технологии играют важную роль, их развитие способствует появлению новых направлений искусства. В наше время художники и дизайнеры оперируют различными техниками и материалами в процессе разработки проектов [1,2]. Развитие компьютерных технологий и применение их в современном дизайне повлияло на внешний вид продуктов данной сферы и, соответственно, на дальнейшее восприятие их потребителем. Графический дизайн и цифровое искусство влияют на формирование вкуса общества. Складываются определенные

представления и требования к внешнему виду произведений современного искусства, к тому, как они должны визуализироваться и в каких материалах воплощаться.

Технологический прогресс не обошел стороной популярное направление искусства концепт-арт. Оно является активно развивающимся, актуальным на сегодняшний день видом цифровой живописи. Концепт-художники изначально выполняли свою работу пользуясь традиционными техниками рисования, но, с внедрением компьютеров и дигитайзеров в процесс создания концепт-арта, они начали придавать своим концептам иной вид с помощью новых возможностей, которые появились благодаря технологическому прогрессу [1,3]. Таким образом, в современном мире сформировались определенные требования к произведениям данного вида искусства, к их внешнему виду.

Термин «концепт-арт» появился не так давно, в 30-е годы XX века. История данного направления искусства уходит корнями в далекое прошлое. Изначально, концепт-арт – это создание эскиза. Художники во все времена создавали наброски, предшествующие написанию картин, которые позволяли найти более удачное композиционное решение еще на начальном этапе работы [1-3]. В современном представлении концепт-арт приобрел более широкое значение, благодаря развитию технологий. Концепт-арт – это направление в современном искусстве, целью которого является визуальная передача идеи проекта медиа-индустрии, оно является начальным и фундаментальным этапом разработки фильма, игры, анимации, в процессе которого создается большое количество вариантов проектируемого объекта, из которых впоследствии выбирается лучший, формируется единая стилистика проекта в целом. Основным назначением концепт-арта является разработка макета объекта за кратчайшее время. Данное направление искусства решает проблему коммуникации разработчика с заказчиком и потребительской аудиторией, с помощью системы визуальных образов, отражающей основную идею проекта [4].

Популярность концепт-арта объясняется развитием медиа-индустрии, в создании проектов которой принимают непосредственное участие концепт-художники. Их работа является фундаментом в разработке продуктов данной сферы. Создание концептов позволяет сформировать единую стилистику проекта, систему визуальных образов, а создание множества вариантов, из которых будет реализован лучший, позволяет минимизировать риск и затраты на производство. Такая высокая производительность была бы невозможна или же труднодостижима без современных компьютерных технологий. Концепт-художники в процессе работы пользуются в основном ПК и графическим планшетом, практически отказываясь от традиционных техник рисования [3,4]. Данный факт значительно экономит время. Дигитайзеры обеспечивают комфортную работу с электронными файлами в редакторах. Существует два вида графических планшетов: с вводом изображения на рабочую область и выводом на экран монитора, с вводом и выводом информации непосредственно на самом планшете. Последний вид, пьезоэлектрические модели, считается наиболее удобным в работе. Таким образом, перо заменяет художнику карандаш, маркер или кисть, а дигитайзер имитирует поверхность листа.

Современное программное обеспечение дает художнику большие возможности: от создания эскиза, его 2D визуализации, до воплощения объекта в 3D и его последующей анимации. В начале работы концепт-арт чаще всего имеет вид наброска с малым уровнем детализации, далее происходит подбор нескольких цветовых решений для того или иного объекта, прорабатываются отдельные элементы [3-5]. Данный этап выполняется в таких программах, как Gimp или Adobe Photoshop. Растровые редакторы хорошо подходят для создания эскизов, художник вырабатывает единую стилистику, учитывая предназначение или историю проектируемого объекта. Функционал данных программ позволяет манипулировать формой объекта за долю секунды, масштабировать изображение, дублировать детали, изме-

нять цветовое решение, редактировать каждый элемент иллюстрации на новом слое. Работа концепт-художника в большинстве проектов медиа-индустрии ограничивается созданием 2D концепта и его детализацией. В разработке фильмов также задействуют 3D модели, которые позволяют воспроизвести определенный персонаж в объеме. Такой концепт-арт минимизирует затраты на производство и риски, связанные, например, с выбором правильного материала для реквизита, костюма, позволяет сформировать большую вариативную базу и реализовать лучший образец. Также 3D концепты необходимы для визуализации макетов локаций, сооружений, которые впоследствии создаются в реальном размере из материалов. Программы для моделирования, такие, как 3DS Max, ZBrush, Maya, Blender, дают художникам неограниченные возможности в разработке объектов. Их инструментарий позволяет создать 3D модель персонажа, существа, какого-либо сооружения, придать ей необходимую форму, детализировать, покрасить и поработать с текстурами [4,5]. Последний пункт очень важен для концепт-арта в киноиндустрии, так как программы позволяют воссоздать модель в том материале, который будет задействован при создании реального реквизита, что позволяет значительно сэкономить время и уменьшить риски.

Развитие технологий не только повлияло на внешний вид концепт-арта, но и способствовало появлению различных видов цифровой живописи. Поэтому проблема идентификации концепт-арта среди множества направлений digital painting является актуальной в современном искусстве. Промо-арты, фан-арты, иллюстрации и просто картины, которые выполнены с помощью компьютерной графики, часто путают с концепт-артом. Это связано с техникой исполнения, внешним видом и искажением восприятия у потребителя, так как все вышеперечисленные продукты маркетологи выдают за концепты в рекламных целях. Таким образом, развитие компьютерных технологий повлияло на формирование современного концепт-арта и дало художником большие возможности

в работе над проектами, благодаря появлению дигитайзеров и созданию графических редакторов. Однако, кроме положительного влияния, технологический прогресс способствовал возникновению проблемы идентификации данного вида искусства среди развивающихся и популяризирующихся на сегодняшний день направлений digitalart.

Список литературы

1. Фазылзянова, Г. *Концепт-арт в дизайне мультимедиа: учебное пособие* / Г. . Фазылзянова. и др. // – М.: МПГУ, 2016, с. 287.

2. Лепешкин, И. А. *История развития концепт-артов и концептов в транспортном дизайне* / И. А. Лепешкин, С. М. Круглов. // *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2014, № 2(20), с. 82-87.

3. Автюшенко, А. *Мультимедиа и компьютерная графика в цифровом искусстве* / А. . Автюшенко. и др., СПб. : СПбГПУ Петра Великого, 2015, с. 172.

4. B. Stoneham *How to create fantasy art for computer games/ Stoneham Bill.* — London: A&C Black Publishers, 2010, p. 128.

5. S.Robertson. *How to design: Concept Design Process, Styling, Inspiration, and Methodology* / Robertson. Scott. : TitanBooks, London, 2014, p. 176.

УДК 7. 067

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО НАПОЛНЕНИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНУЮ ИГРУ

Уточкина Е. М., студент;
Аккуратова О.Л., доцент

Костромской государственный университет

© Автор для переписки: Уточкина Е. М. e-mail:
hidannaart@gmail.com ; Аккуратова О. Л. e-mail:
akkuratowa.olga@yandex.ru

Статья повествует об актуальности такого направления, как дизайн в компьютерных играх. Автор обращает внимание на возможность использования компьютерных игр в качестве учебных пособий. Анализируя визуальную составляющую современных игр, автор выявляет вектор развития, направленный в сторону улучшения качества, в том числе, художественной и графической составляющей. Актуальность исследования обуславливается повышенным интересом к компьютерным играм среди детей и подростков.

Ключевые слова: компьютерная игра, учебное пособие, концепт-арт, дизайн персонажа, 3D графика

DEVELOPMENT OF GRAPHIC FILLING FOR IMPLEMENTATION IN THE COMPUTER GAME

Utochkina E. M.;
Akkuratova O.L.

Kostroma State University

@ Corresponding author e-mail:
hidannaart@gmail.com; akkuratowa.olga@yandex.ru

The work tells about the relevance of such a direction as design in computer games. The author draws attention to the possibility of using computer games as teaching aids. Analyzing the visual component of modern games, the author reveals a vector of development aimed at improving the quality, including the artistic and graphic component. The relevance of the research is determined by the increased interest in computer games among children and adolescents.

Keywords: computer game, study guide, concept art, character design, 3D graphics

Игровая деятельность является ведущей у детей дошкольного возраста и представляет собой значимое социальное явление. Через игру ребенок познает окружающий мир и примеряет на себя различные модели поведения [1, с. 7]. Научно доказано, что игровая деятельность актуальна на протяжении всей жизни. Любая информация в контексте игры запоминается гораздо лучше, чем стандартная лекция. Многие игры, такие, как шахматы, sudoku, маджонг, оказывают положительное воздействие на мозговую активность. Люди, отдающие предпочтение логическим играм,

значительно сокращают риски проявления старческой деменции [2, с. 139].

Со времен информационной революции, игры претерпели огромные изменения. Они обогатились за счет новейших технологий. В разработке современной игры премиум-класса задействуется целая команда специалистов. Как пример, можно привести серию игр «Assassin's Creed», сюжет которой базируется на существующих исторических событиях. В визуальной части присутствует частичная реконструкция.

Главным ключом к быстрому запоминанию является создание прочных ассоциативных связей, а качественно сделанный визуальный ряд этому помогает. Основой разработки графической части является выбор творческого источника и определение исходного сеттинга игры. Сеттинг предполагает условную среду, в которой будет разворачиваться сюжет. В качестве творческого источника рассматривается реально существующий промежуток времени. В соответствии с ним разрабатывается визуальная составляющая: архитектура, предметы, персонажи, одежда.

Таким образом, анализ современных игр позволил выявить вектор развития, направленный в сторону улучшения художественно-графической составляющей. Подводя итог, можно отметить, что игровая индустрия, на сегодняшний день, находится наравне с киноиндустрией [6].

Наиболее значимой частью работы является визуализация персонажа, предназначенного для внедрения в компьютерную игру. Визуальная часть проекта самая обширная, перед художником по персонажам стоит сложная задача и для ее выполнения необходимо пройти несколько этапов. Первостепенно необходимо определить исходный сеттинг игры, который будет взят за основу. На этом этапе проводится работа по подбору визуальных источников, историческая справка. В качестве творческого источника для проекта был выбран период позднего Средневековья.

Вторым этапом является создание концепции персонажа. Визуально персонаж должен соответствовать сеттингу игры и

отражать в своем образе общую идею и сюжет. Работа строится на основе предыдущих исследований. Для реализации идеи ролевой игры с элементами стратегии, в качестве персонажа-проводника идеально подходит оруженосец. В соответствии с механикой игры, такой персонаж может служить в качестве помощника. После определения общей концепции персонажа, был проработан более детальный образ: молодой человек, 17-22 года, запоминающийся персонаж, обладающий оптимистичным настроением. Данный этап предполагает создание концепт-артов (Рис. 1).

Для создания более выразительного образа, следует акцентировать внимание на деталях, которые могли бы указать на характер персонажа и его род занятий [3, с.92].

Дальнейшая работа проходит в 3D-редакторах. Наброски помогают определить, как следует далее построить работу в 3D. Посредством редакторов 3DsMax и Z-brush были созданы модели, предназначенные для последующего внедрения в игру. По портретному рисунку, создавалась голова персонажа [5, с. 48] (Рис. 2-3).

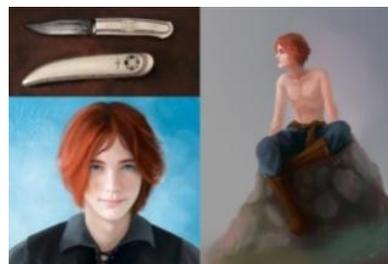


Рис. 1. Коллаж из концепт-артов



Рис. 2-3. Создание модели головы персонажа

Следующий этап – создание тела, стоящего в Т-позе. Эта стандартная поза применяется при моделировании любого персонажа, которого впоследствии планируется анимировать. Она облегчает привязку 3D модели к «скелету», который будет задавать движение [7, с. 179] (Рис. 4).

Далее идет разработка элементов одежды. Разработка дизайна одежды ведется на основе исследований по творческому источнику. (Рис. 5-7, 8-9).

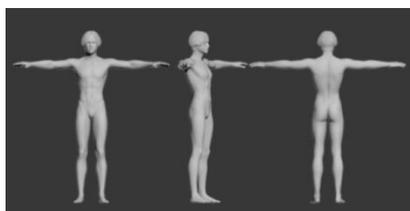


Рис. 4. Тело персонажа, T-поза



Рис. 5-7. Модель обуви (в разработке)



Рис. 8-9. Модели одежды и некоторых аксессуаров (в разработке)



Рис. 10. Текстурные карты для одной из моделей

После разработки моделей, в 2D редакторе Photoshop для них создаются текстурные карты [4, с. 72]. Творческий источник является основой для выбора цвета, материалов и фактуры (Рис. 10).

Создание персонажа для компьютерной игры, является сложным процессом и включает в себя множество этапов. В каждом этапе есть свои задачи, которые должен выполнить графический дизайнер. В ходе исследования была выявлена общая тенденция по улучшению качества визуализации современных игр. Красочная графика способствует повышению интереса и длительному удержанию внимания, что позволяет более эффективно усвоить любую информацию. Современные игры могут сформировать интерес подрастающего поколения к различным видам искусства, подтолкнуть к углубленному изучению истории и других наук.

Список литературы

1. Выготский, Л. С. *Воображение и творчество в детском возрасте [Текст]: психол. очерк: Кн. для учителя / [Послесл. В. В. Давыдова], 3-е изд., М.: Просвещение, 1991, с. 90.*
2. Эльконин, Д. Б. *Психология игры [Текст] / Д. Б. Эльконин, 2. изд., М.: ВЛАДОС, 1999. с. 358.*
3. *Bill Fleming 3D Creature Workshop [Текст] / Charles River Media; 1 edition, 1998, с.445.*
4. *Bill Fleming 3D Texture Workshop [Текст] / Cromland, 2002, с.116.*
5. *Eric Keller Introducing ZBrush [Текст] / Sybex; 1 edition, 2008, с. 472.*
6. *RENDERmagazine [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://render.ru/download/> (дата обращения: 20.02.2017)*
7. *Steve Roberts Character animation: 2D skills for better 3D [Текст] / Focal Press; 2 edition, 2007, с. 298.*

УДК 554.653.2:669.7

АНОДНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ СПЛАВА ТИТАНА VT-20

Макшанчиков И.А.¹, к.т.н., доцент;
Гой М.В.², к.т.н., доцент
Дрюкова А.Э.², к.т.н., доцент

¹Костромской Государственный Университет,

²Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Макшанчиков И.А. e-mail: masterilyama@mail.ru

Рассмотрены различные режимы оксидирования металлической поверхности титана, для получения различных цветов покрытий. Приведены рекомендации по выбору плотности тока с целью формирования покрытия с заданными свойствами.

Ключевые слова: анодное оксидирование, титан, электрохимический.

ANODIC ELECTROCHEMICAL OXIDATION OF TITANIUM ALLOY VT-20

Makshanchikov I.A.¹;
Goy M.V.²
Dryukova A.E.²

¹Kostroma state university,

²Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: masterilyama@mail.ru

Consider the different modes of oxidation of the metal surface of titanium, to produce different colors. Recommendations on the choice of the current density with the aim of forming coatings with desired properties.

Key words: anodic oxidation, titanium, electrochemical.

Титановое анодирование создает высо-

копрочную пленку на поверхности металла, которая может выполнять художественно-эстетические задачи. Цветное декоративное анодирование титановых сплавов позволяет получать непосредственно в процессе электролиза цветные окисные пленки толщиной до 1000 мкм, относящиеся по своей природе к интерференционно – окрашенным. Декоративное анодирование увеличивает коррозионную стойкость изделий и обеспечивает высокую светостойкость окрашенной поверхности с сохранением блеска исходной поверхности.

Декоративное анодирование титановых сплавов позволяет получить различные интерференционно — окрашенные окисные пленки (коричнево-желтые, синие, голубые, различные оттенки желтого цвета, включая розовый, малиновый, а также различные оттенки зеленого цвета). Решающее влияние на цветность пленки оказывает напряжение анодирования и выбранный сплав титана. Наибольшая цветовая гамма и насыщение тона могут быть получены на сплавах титана VT-20 (псевдо- α -сплав) и VT-6 ($\alpha+\beta$ сплав). На $\alpha+\beta$ -сплавах, содержащих молибден (Mo) и хром (Cr), качество анодных пленок более низкое. На технически чистом титане цветовая гамма ограничена. Сплавы, содержащие марганец (Mn), OT4, OT4-1 не рекомендуются для декоративного анодирования[1].

Актуален вопрос об исследовании процессов, сопровождающих формирование плёнок, и установлении взаимосвязи между временем обработки, плотности тока и изменении RGB показателей титановых образцов[2].

Эксперимент

Образцы из сплава VT-20 анодно оксидировались в слабо процентном растворе ортофосфорной кислоты (температура электролита комнатная). Поверхность титановых образцов предварительно промылась в дистиллированной воде.

В ходе экспериментов плотность тока изменялась от 0,05 А/дм² до 1,5 А/дм², а время обработки от 1 секунды до 10 минут. На каждом образце получалась пленка определенного цвета, который подлежит дальнейшему изучению. Цвет рассматри-

вали по RGB показателю, раскладывая его на три составляющих.

Рассматривая зависимость RGB показателя от времени обработки на определенной плотности тока можно вывести определенные закономерности. На рис. 1 представлено изменение RGB показателя в зависимости от времени на плотности тока равной $0,05 \text{ А/дм}^2$.

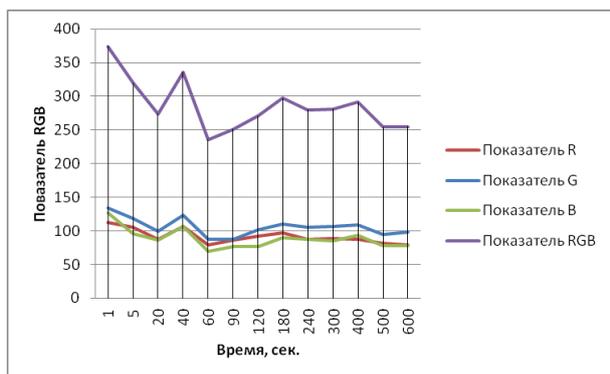


Рис.1 Диаграмма изменения RGB показателя при $i=0,05 \text{ А/дм}^2$

Показатель RGB постоянно меняет свое значение в зависимости от времени обработки металла. При обработке за 20 секунд резко уменьшается значение показателя, еще через 20 секунд он наоборот резко возрастает, через следующие 20 секунд также происходит большое снижение значения. Можно проследить закономерность в резком изменении значения RGB через каждые 20 секунд. Затем происходит повышение показателя, и далее он меняется без резких скачков.

При оксидировании на плотности тока равной $0,15 \text{ А/дм}^2$ закономерность в резком изменении значения RGB прослеживается через 60 секунд. Затем происходит повышение показателя, и далее он меняется без резких скачков. При обработке происходит плавное уменьшение значение показателя, но на 120 секундах можно увидеть резкий скачок значения, затем через 60 секунд происходит большое снижение, а еще через 60 секунд значительное увеличение, затем снижение. Данная закономерность представлена на рис. 2.

При обработке на плотности тока $0,5 \text{ А/дм}^2$ за 5 секунд резко уменьшается значение показателя, еще через 15 секунд он наоборот резко возрастает, следующий

скачок происходит на 180 секундах оксидирования. Затем происходит повышение показателя, и далее он меняется без резких скачков (рис. 3).

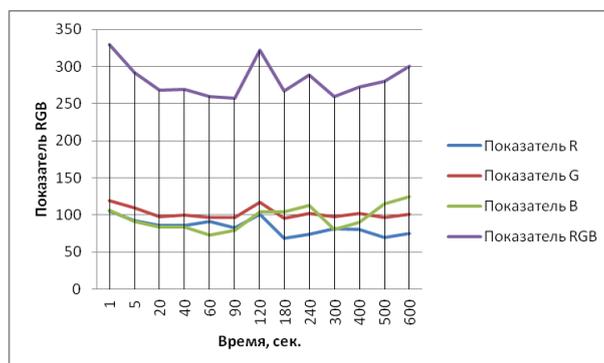


Рис.2 Диаграмма изменения RGB показателя при $i=0,15 \text{ А/дм}^2$

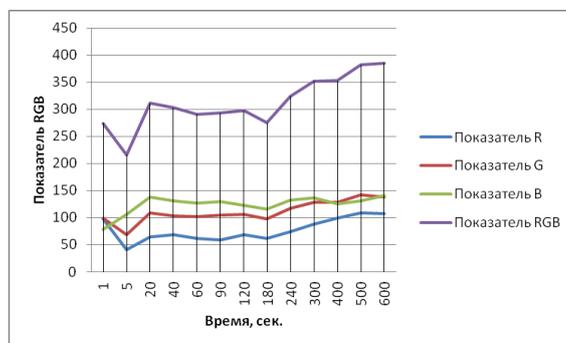


Рис.3 Диаграмма изменения RGB показателя при $i=0,5 \text{ А/дм}^2$

При смене плотности тока на значение равное 1 А/дм^2 происходит плавное повышение значение показателя, на 40 секундах можно увидеть резкий скачок значения в низ, затем происходит плавное снижение, на 120 и 300 секундах резкие повышения, а уже на 500 секундах скачок в низ. Можем проследить закономерность скачкообразных изменений через 200 секунд (рис. 4).

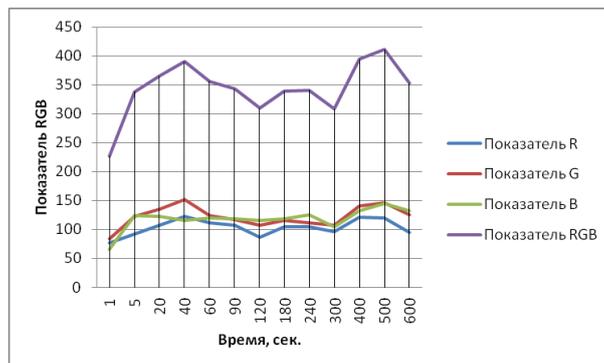


Рис.4 Диаграмма изменения RGB показателя при $i=1 \text{ А/дм}^2$

Устанавливая плотность тока равную $1,5 \text{ А/дм}^2$ получим плавное повышение значения показателя, на 60 секундах можно увидеть резкий скачок значения в верх, затем через 30 секунд происходит резкое снижение. В целом же прослеживается плавное повышение значения показателя. При оксидировании на плотности тока равной $1,5 \text{ А/дм}^2$ существует значительное изменение значения RGB между 60 и 120 секундами обработки металла.

Оптимальные результаты достигнуты на плотности тока равной $1,5 \text{ А/дм}^2$ и времени обработки 60 секунд.

Выводы

Можно сделать ряд выводов и предложить определённые критерии выбора па-

раметров плотности тока и времени обработки с целью получения оксидных плёнок с заданными характеристиками. Наиболее плавное изменение показателя RGB достигается при плотности тока в $1,5 \text{ А/дм}^2$, при этом значительное изменение происходит во временном промежутке от 60 до 120 сек. обработки металла.

Список литературы

1. Голубев А.И. Анодное окисление алюминиевых сплавов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 192 с.

2. Галанин С.И. Теория и практика анодной электрохимической обработки короткими импульсами тока: Дисс.... докт. техн. наук. - Кострома, 2001. – 277с.

УДК 536.423

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОЛСТОСТЕННОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ СВЕТИЛЬНИКА

Холин Н.Н., д.т.н., профессор;
Головешкин В.А., д.м.н., профессор;
Константинов А.Н., ст. преподаватель

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Константинов А.Н., e-mail: konstantinov@mirea.ru

Исследуются температурные напряжения в светильнике сферической формы, как центральном источнике тепла. Определяются критические напряжения, приводящие к разрушению толстостенной сферической оболочки светильника

Ключевые слова: оболочка, сферический светильник, температурные напряжения, предел прочности, дизайн светильника, художественный декор

INTRODUCTION OF LASER TECHNOLOGY CONTROLLED THERMOCRACKING IN RUSSIA

Holine N.N.;
Goloveshkin V.A.;
Konstantinov A.N.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: konstantinov@mirea.ru

We study the thermal stresses in the lamp spherical shape as the central heat source. To determine the critical stress, leading to the destruction of a thick-walled spherical shell lamp.

Key words: Shell, spherical lamp, thermal stress, tensile strength, design lamp, artistic decor.

В практике создания светопропускающих элементов световых приборов широко применяются уравнения теплового расчёта [1], однако при изготовлении сферических колпаков светильников со сложным художественным декором требуется более точное определение температурных напряжений и критических температурных напряжений.

Рассмотрим задачу определения напряженно-деформированного состояния упругого шарового слоя при наличии неоднородного температурного поля $T(r,t)$ (r –

расстояние от центра шара, t – время) и внешней и внутренней границами, соответственно, при $r=R_1$ и R_2 [1]. Задачу термоупругости для определения напряженно-деформированного состояния в шаровом слое рассматриваем в квазистатической постановке, то есть пренебрегаем волновыми процессами, а время t рассматриваем как некоторый параметр. В силу сферической симметрии имеются только радиальные перемещения. Обозначим соответствующую неизвестную функцию $u(r)$. Остальные перемещения равны нулю. Тогда граничные условия и уравнение для определения этой функции имеют вид [2]:

$$(\lambda + 2G) \left[\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{du}{dr} - \frac{2}{r^2} u \right] = (3\lambda + 2G) \alpha \frac{dT}{dr}, \quad (1)$$

при $r = R_1$, $\sigma_r = 0$; при $r = R_2$, $\sigma_r = 0$;

где λ , G – постоянные Ламе; α – коэффициент температурного расширения.

Используя теорему линейной теории упругости о суперпозиции решений, проведем оценки напряжений, возникающих в результате: неравномерного распределения температур по толщине.

При условии отсутствия силы тяжести, равенства нулю давления атмосферы, следовательно, равенства нулю радиальных напряжений на внешней границе, решение данного уравнения имеет вид:

$$u = \frac{\alpha}{r^2} \frac{(3\lambda + 2G)}{(\lambda + 2G)} \int_{R_1}^r T z^2 dz + \frac{Ar}{\lambda + 2G} + \frac{B}{\lambda + 2G r^2}. \quad (2)$$

Для констант интегрирования A и B из граничных условий имеем:

$$A = \frac{4\alpha G}{R_2^3 - R_1^3} \int_{R_1}^{R_2} T z^2 dz, \quad (3)$$

$$B = \frac{(3\lambda + 2G)\alpha R_1^3}{R_2^3 - R_1^3} \int_{R_1}^{R_2} T z^2 dz \quad (4)$$

В силу сферической симметрии для оценки напряженного состояния достаточ-

но оценить только значения σ_r и σ_φ . Их значения определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= -\frac{4\alpha G}{r^3} \alpha \int_{R_1}^{R_2} T z^2 dz \\ &+ 4G \frac{(3\lambda + 2G)\alpha}{(\lambda + 2G)(R_2^3 - R_1^3)} \int_{R_1}^{R_2} T z^2 dz - \\ &- 4G \frac{(3\lambda + 2G)}{(\lambda + 2G)} \frac{1}{R_2^3 - R_1^3} \frac{R_1^3}{r^3} \alpha \int_{R_1}^{R_2} T z^2 dz \end{aligned} \quad (5)$$

Известно, что для большинства материалов наибольшую опасность представляют сдвиговые напряжения. Оценку максимального сдвигового напряжения дает разность:

$$\tau_m = \frac{1}{2} (\sigma_r - \sigma_\varphi) = G \left(\frac{du}{dr} - \frac{u}{r} \right), \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \tau_m &= \frac{G}{\lambda + 2G} \left[(3\lambda + 2G) \alpha T \right. \\ &\quad \left. - \frac{3\alpha}{r^3} (3\lambda + 2G) \int_{R_1}^r T z^2 dz - \frac{B}{r^3} \right] \end{aligned}$$

На внешней границе растягивающее напряжение, с учётом малости толщины охлаждённого слоя $\frac{\sqrt{2\alpha t}}{R_2} \ll 1$ запишется в виде:

$$\sigma_\varphi = 2G \frac{3\lambda + 2G}{\lambda + 2G} \alpha T_0 \quad (T_0 < 0). \quad (7)$$

Из соотношений (6) и (7) следует соотношение для максимального напряжения сдвига:

$$\tau_m = -G \frac{3\lambda + 2G}{\lambda + 2G} \alpha T(R_2). \quad (8)$$

Согласно статистической теории зависимость предела прочности от размера оценивается формулой:

$$\tau = \tau_1 \left(\frac{l_1}{l} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (9)$$

Где τ и τ_1 – предельные значения прочности тела при значении размера l и l_1 соответственно. Масштабный фактор n для стекла равен 6 (растяжение) и 12 (сжатие), для металла – 25. Из (9) следует, что для стекла при увеличении размера на порядок предельная прочность уменьшается в два раза.

Используя параметры, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, формулу (9) можно переписать в виде:

$$\tau_{max} = \frac{-E}{1 - \nu} \alpha T_0 \quad (10)$$

Разработанная методика определения температурных напряжений в толстостенных сферических светильниках и критических напряжений, приводящих к локальному разрушению, в зависимости от размера светильника и отношении толщины его стенок к радиусу.

Получено соотношение для максимального напряжения сдвига в случае толсто-

стенных оболочек, когда отношение толщины к радиусу много меньше единицы.

Список литературы

1. Нигматулин Р.И. *Механика сплошной среды*, М., Гэотар, 2014 г.
2. Холин Н.Н., Головешкин В.А., Андрущенко В.А. *Математические модели волновых явлений в конденсированных средах и динамика метеороидов*. М., Ленанд, 2015, с. 216.

УДК 667.7+661.8

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ КРАСОК ПОСРЕДСТВОМ ВВЕДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОСТАВЛЯЮЩЕГО

**Драгунова Е.П., преподаватель, член
 Творческого Союза Художников Рос-
 сии;**
Бойко Ю.А., доцент, к.т.н.

*Физико-технологический институт Москов-
 ского технологического университета*

© Автор для переписки Бойко Ю.А. e-mail:
 Boyko2007@yandex.ru

В статье рассматриваются технологии изготовления красок с первобытного времени до современного производства. Для улучшения оптических свойств художественных красок авторы предлагают вводить кристаллическую составляющую. На основе проведенных исследований даются рекомендации по процентному соотношению пигмента и кристаллической составляющей.

Ключевые слова: художественные краски; кристаллическое связующее; минеральные краски

CHANGE THE PROPERTIES OF DECORATIVE PAINTS BY INTRODUCING A CRYSTALLINE COMPONENT

Dragunova E.P.;
Boyko Yu.A.

*Moscow technological university. Physico-
 technological institute*

© Corresponding author Boyko Yu.A. e-mail:
 Boyko2007@yandex.ru

The article discusses the technology of manufacture of paints from prehistoric time to a modern production. To improve the optical properties of artistic paints the authors propose to introduce crystalline component. On the basis of the research recommendations for the percentage of the pigment and crystalline component.

Keywords: Art paint; Crystal binding; Mineral paint

С начала зарождения изобразительных искусств, производство красок было важной составляющей труда живописца. Первые сведения об использовании человеком красок из минералов относятся к каменному веку. Красочные изображения на стенах пещерных жилищ сохранились до нашего времени в относительно хорошем состоянии. Археологи нашли не только палитру древнего художника, на которой сохранились остатки краски, но и маленькие плоские жернова, и пестики, предназначенные для растирания цветных земель, а также чашечки для разведения красок.

Минеральные краски древних египтян, ассирийцев, греков и других древних народов, до сих пор поражают своей яркостью и стойкостью. Еще во II в. до н.э. древние китайцы преодолевали перевалы Памира, чтобы добыть и привезти к себе на родину драгоценную киноварь из известных уже тогда месторождений нынешнего Киргизстана (в районе Хайдаркан

до сих пор сохранились их древние выработки). А Бадахшанский лазурит для красок доставлялся большим караванным путём в средневековую Европу, а оттуда уже и в Византию и в Россию. В средние века он обменивался купцами на золото по весу.

Исследование минералов пригодных для получения красок; их химическое строение, особенности взаимодействия с различными связующими веществами и технические характеристики описывались художниками древности, начиная с Ираклия (VIII-IX в.) и Теофила (X-XI в.). Дионисий Фурнографиот, написавший в начале XVIII века свою «Ерминию», подробно описывал в ней приготовление красок, связующих и лаков [1].

Культура производства красок шлифовалась художниками столетиями. Виденье художника во многом формируется возможностями того материала, которым он работает. Результат работы художника напрямую зависит от качества красок, и в одном случае красочный материал может подсказать более интересное решение творческой задачи, а в другом - мешать художнику, оказывая сопротивление и изменяя первоначальный замысел. Поэтому первичной задачей живописца всегда было грамотное приготовление красок.

Сегодня, пользуясь готовыми красками, художники зачастую не интересуются техническими характеристиками красок, считая эту информацию лишней и обременительной. В результате современный художник зачастую не знаком, ни с их химическими и оптическими свойствами, ни с особенностями их приготовления, ни с изменениями их свойств в течение времени.

Сырьевые материалы, используемые для производства современных красок претерпели кардинальные изменения в связи с тем, что природные пигменты, применяемые ранее, добавляют в очень небольшом количестве или не используют совсем. Технологии приготовления красок в постсоветском пространстве уже не имеют жестко выверенных ГОСТов и изготавливаются преимущественно по ТУ (техническим условиям). Большая часть

месторождений, где получали красочное сырьё, оказалась или за рубежом или закрыта за нерентабельностью.

Сейчас основным сырьем для производства красок служат отходы цветной металлургии. Поэтому изменились и основные характеристики красок, такие как дисперсность, насыщенность по цвету, показатели преломления, которые являются важнейшей характеристикой качества художественных красок. Синтетические пигменты имеют высокую дисперсность и кроющую способность, но при этом у них очень низкие показатели преломления. В связи с этим, они создают глухую и непроницаемую для света красочную пленку, имеющую низкие эстетические свойства. В живописи же, очень важно иметь возможность использовать прием лессировок, которые позволяют получить прозрачные красочные слои, проходя через которые, свет, многократно преломляясь, создает эффекты глубины и внутреннего свечения.

Попытки придать синтетическим красочным материалам новые качества и изменения по такому показателю, как преломление света, подтолкнули нас к исследованиям в этой области. Основываясь на работах Овчинникова А.Н. и др. [2-5] для улучшения оптических свойств художественных красок и увеличения их показателя преломления, авторы предложили введение в пигмент кристаллической составляющей в виде кварцевой пудры. Для проведения исследования, в качестве образца, был выбран пигмент оксида хрома, так как этот пигмент обладает всеми теми недостатками, которые делают его мало пригодным для живописи.

Проведенные работы показали, что введение добавок менее 50% существенного влияния на оптические свойства пигмента оксида хрома практически не оказывает. Добавление измельченного порошка в большем процентном соотношении позволило получить более чистые и вместе с тем мягкие и проницаемые для света красочные слои, что улучшило общее эстетическое восприятие краски, сделало ее пригодной для работы в технике лессировки.

Новизна работы состоит в том, что в синтетической краске с высокими крою-

щими способностями, создающей глухую и непроницаемую для света красочную пленку, после введения в нее 100% кварцевой пудры в качестве добавки, удалось получить снижение плотности каждого красочного слоя и изменение оптических свойств исходного синтетического красочного сырья, за счет изменения показателя преломления (рис.1).

Кроме того, свойства кварцевой пудры медленно оседать в жидкостях позволило получить высококачественную художественную краску, в которой связующее не расслаивается с пигментом, за счет чего однородность и прочность краски многократно увеличивается.

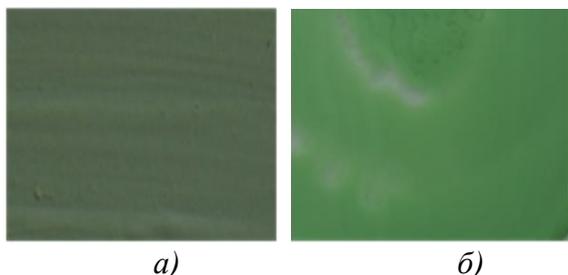


Рис. 1. Оксид хрома (100%) (а); оксид хрома (50%) с добавлением кварцевой пудры (50%)

Полученные, в результате проведенных исследований, новые характеристики высококроющей синтетической краски, позволяющей использовать ее в различных технических приемах живописи, как пастозных, так и лессировочных. Кроме того, более высокая прочность и однородность полученной краски делают ее пригодной к использованию в сложных текстурных техниках.

В данном исследовании авторы не ставили перед собой задачу исследовать все факторы, влияющие на оптические характеристики художественных красок. Характеристик несколько; это и показатели преломления связующего, которое соединяет частицы краски и оптические показатели лака, которым эта краска будет впоследствии покрыта. Это послужит темами будущим исследованиям.

Список литературы

1. Дионисий Фурноаграфиот. *Ерминия, или наставление в живописном искусстве, составленное иеромонахом и живописцем Дионисием Фурноаграфиотом, 1701 - 1733 гг.* Киев: перевод: Порфирия епископа Чигиринского, типография Киево-Печерской Лавры, 1868. 250 с. // М.: Издательство Свято-Владимирского Братства, 1993, с. 238.
2. Овчинников А.Н. Кристаллические пигменты // *Техника и материалы* // «Художественный совет» №4, 2010, с. 14-19.
3. Слётов В.А. Минеральные пигменты в иконописной традиции. Как приготовить из минералов качественные краски? Практические сведения и рекомендации по работе с минералами – пигментами [Электронный ресурс]: *Православие и церковное искусство. Икона, минеральные пигменты, иконопись.* URL:<http://mindraw.web.ru> (дата обращения: 17.03.2017).
4. Щавинский В. А. *Очерки по истории техники живописи и технологии красок в Древней Руси.* Москва; Ленинград : Гос. соц. - экон. изд., 1935, с. 158.
5. Алексеев-Алюрви Ю.В. *Красочное сырье и краски, используемые в живописи.* М.: ЦИТИ, 2004, с. 308.

УДК 68.739.75

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПУСТОТЕЛЫХ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ

Кобзев Д.С.¹ преподаватель;
Лившиц В.Б.² к.т.н., доцент, эксперт

¹*Кафедра компьютерного дизайна Физико-технологического института Московского технологического университета.*

²*ООО «Полимод-Сертификат».*

© Автор для переписки Кобзев Д.С. e-mail:
dcrgrlm@mail.ru

В статье рассматриваются технологии изготовления художественных изделий. Представлен новый способ получения пустотелых художественных изделий бесстержневым способом. Разработанная технология увеличивает производительность труда, экономит модельный материал, заливаемый металл и уменьшает количество применяемых приспособлений и существенно влияет на дизайн художественных изделий.

Ключевые слова: художественное литье, литейные стержни, выплавляемые модели, вибровакuumная установка, жидкая формовочная смесь.

TECHNOLOGY OF THE SHAPING OF HOLLOW ART CASTINGS WITH USE OF LIQUID FORMING MIX

Kobzev D.S.¹;
Livshits V.B.²

¹*Moscow Technological university.
Phisicotechnological institute.*

²*Firm «Polimd-Sertifikat»*

© Corresponding author Kobzev D.S. e-mail:
dcrgrlm@mail.ru

Manufacturing techniques of foundry metal ware in relation to art products are considered. The article presents a new

method to produce hollow art products. The developed technology increases labor productivity, saves the model material, filled-in metal and reduces number of applied adaptations.

Keywords: artistic founding; castings cores; investment casting; mixture model(wax); investement mixing mashine; ceramic shell.

Известно, что в художественной отливке чистота поверхности и её соответствие оригиналу зависят от толщины стенки отливки. Установлено, что чем тоньше стенка отливки, тем выше точность размеров, чище поверхность, меньше масса и возможность искажения от усадки. Уменьшая толщину стенки, влияние усадки на точность воспроизведения мелких деталей поверхности уменьшается и понижается возможность появления дефектов отливки.

Предложен метод заполнения пустотелых моделей с использованием жидкой формовочной смеси (ЖФС) для формирования внутренней полости. В основе предлагаемой технологии лежит принцип восковой формовки. Способ позволяет получать форму вокруг модели, а затем удалять её с образованием полости для литья. Сущность метода заключается в формовке наружного контура модели с одновременным заполнением внутренней полости.

Для этого изготавливается пустотелая восковая модель, имеющая небольшие отверстия снизу и сверху, внутрь которой стержень не устанавливается. Модель помещается в опоку, которая заполняется формовочной массой. Было замечено, что даже при атмосферном давлении модель незначительно заполняется формовочной массой.

Залитую формовочной массой опоку помещают в вибровакuumную установку и создают разрежение для удаления воздуха из формовочной массы (основное назначение установки). В этом случае под действием разрежения и вибрации восковая модель полностью заполняется формовочной массой. Пузырьки воздуха удаляются, а формовочная масса полностью заполняет внутренний объём модели. Следует отметить, что когда давление воздуха одинаково в рабочей камере и внутренней полости модели, заполнение всё-таки частично

происходит, ровно настолько, насколько позволяет поверхностное натяжение формовочной массы. Под разным давлением в камере установки и объёме модели при наличии вибрации, воздух из полости модели удаляется и заполняется формовочной массой. Схемы технологий изготовления фигуры «неваляшка» приведены на рисунке 1.

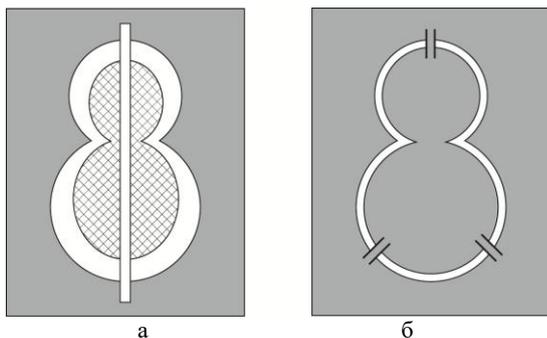


Рис. 1. Схемы технологий изготовления фигуры «неваляшка»: с применением стержня (а) и новая технология с применением ЖФС (б).

Следует отметить, что способ с применением ЖФС позволяет получать внутреннюю полость модели любой формы. Таким образом, был разработан технологический процесс литья пустотелых изделий малой пластики в единые гипсовые смеси с помощью ЖФС.

Далее приводится полностью технологический процесс изготовления пустотелой отливки с тонкой равномерно расположенной оболочкой по контуру отливки методом литья по выплавляемым моделям бесстержневым способом.

В начале процесса выплавляемые модели получали методом заливки эластичных форм жидким модельным составом. Тем же способом изготавливали литниковую систему, которую припаивали к модели отливки. Для получения восковых моделей художественных отливок изготавливали эластичные формы из резины, ласила или виксинта. Для сложных моделей со сложным контуром изготавливали пресс-формы из силиконового герметика, помещённого в гипсовый кожух.

Процесс получения комбинированных пресс-форм состоял из двух этапов: изготовления вкладыша самой формы и изго-

товления кожуха пресс-формы. Для удобства снятия сложной формы прамодель формовали отдельными участками методом кусковой формовки. Затем на виксинт наносили слой гипса, в количестве, соответствующем размеру изготавливаемого кожуха. В результате получали две самостоятельные формы с открытыми полостями.

Пресс-форму заполняли модельным составом, который выдерживали в течение 10-15сек. до получения тонкого слоя. Оставшийся в полости формы модельный состав выливали. Эту операцию повторяли несколько раз до получения слоя необходимой толщины. Полученные части моделей извлекали из пресс-форм и спаивали вместе. В результате получали пустотелую восковую модель. Далее в полученной модели делали отверстия и вставляли металлические трубки длиной ~20мм. диаметром от 5 до 8мм. В дальнейшем из легкоплавкой массы изготавливали литниковую систему и производили сборку блока.

Для изготовления литейных форм изготавливали жидкую формовочную смесь. Для этого песок просеивали через мелкое сито (0,4-0,16мм.), взвешивали и перемешивали в барабане совместно с маршалитом и гипсом. Полученную массу добавляли в воду в соотношении 1кг. массы на 360-400мл. раствора (воды с замедлителем). Для удаления пузырьков воздуха перемешивание в миксере производили при давлении 10^{-4} Па (0,1атм.).

Затем жидкую смесь заливали в опоку с установленным модельным блоком чашей вниз. Опоки с залитой смесью помещали в вибровакуумную установку на 3-4мин. при остаточном давлении 10^{-4} Па. Опоку надставляли манжетами, чтобы избежать перелива жидкой массы через края опоки при образовании пузырей. Перед сушкой и прокаливанием формы манжеты удаляли.

После схватывания гипсовой составляющей модель вытапливали при 150°C . Часть модельного состава, впитываемая формой, удалялась во время прокаливании форм при температуре $750-800^{\circ}\text{C}$.

Плавку бронз и латуни производили, загружая древесный уголь, красную медь, и фосфористую медь в количестве 0,2-0,3%

от веса шихты. Затем загружали лигатуры, цинк, олово, свинец. Металл перемешивали графитовой мешалкой, нагревали до необходимой температуры, очищали от шлака и древесного угля, вторично раскисляли фосфористой медью в количестве 0,1-0,2% от массы шихты, после чего выпускали.

Формы заливали на установке «Вакуум-металл». После кристаллизации и достаточного остывания в форме отливки проходили выбивку из форм, отделение литников, предварительную и окончательную очистки.

В заключение следует отметить, что формообразование с получением пустотелых отливок предложенным способом существенно влияет на дизайн сложнопрофильных изделий, так как при формирова-

нии тонкостенной отливки образуется тонкая оболочка, которая позволяет дизайнеру реализовать наружные очертания изделия любой сложности вследствие меньшего влияния литейных дефектов.

Список литературы

1. Кобзев Д.С. Новый способ изготовления пустотелых художественных отливок [Текст] / Кобзев Д.С., Лившиц В.Б. // Электронное научное издание «Дизайн. Теория и практика». - 2014. - №15. - С.43-47.
2. Кобзев Д.С. Изготовление пустотелых художественных отливок с использованием жидкой формовочной смеси [Текст] / Кобзев Д.С., Лившиц В.Б., Кушнир А.П. // Электронное научное издание «Дизайн. Теория и практика». - 2015. - №18. - С.62-73.

УДК 688.78 (045)

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИГРУШКИ

**Кузнецова Н.А., магистрант;
Черных М.М., д.т.н., профессор**

Россия, 426069, г. Ижевск, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

@Автор для переписки: Кузнецова Н.А. e-mail: knatalia@me.com.

Цель данной статьи – повышение эффективности проектирования игрушки, за счет анализа одной из составной части математической модели игрушки – параметров производственных систем изготовления игрушки.

Ключевые слова: игрушка, производственная система, функциональность, математическая модель.

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF PRODUCTION SYSTEMS OF MANUFACTURE

OF THE TOY

**Kuznetsova N.A.;
Chernykh M.M.**

Russia, 426069, Izhevsk, Kalashnikov Izhevsk State Technical University.

@ Corresponding author: Кузнецова Н.А. e-mail: knatalia@me.com.

The purpose of this article is to increase the efficiency of designing a toy, by analyzing one of the components of the mathematical model of a toy - the parameters of the manufacturing systems of making toys.

Keywords: toy, production system, functionality, mathematical model.

Формально математическая модель игрушки определяется следующим образом [1]:

$$\phi_I \xrightarrow{\psi} \max \begin{cases} SB_q \\ ST_q \\ PR_i \end{cases}$$

где ϕ_i – эффективность игрушки; SB_q – субстантная характеристика q -го параметра игрушки; ST_q – структурная характеристика q -го параметра игрушки; PR_i – параметры i -ой производственной системы изготовления игрушки.

В работе [1] декомпозированы субстантные и структурные характеристики параметров игрушки. В настоящей статье рассмотрены PR_i – параметры i -ой производственной системы изготовления игрушки (ПС).

Если мы говорим о параметрах ПС, то необходимо говорить и об ее эффективности, которая функционально зависит от параметров номенклатурной модели изделий, изготавливаемой в данной ПС [2, 3]. Другими словами, параметры деталей игрушки значимо влияют на ПС и, определяют ее наполнение.

На основе анализа литературных источников были определены следующие значимые параметры деталей [2, 3, 4]: размерная характеристика; группа материала; вид детали по технологическому методу изготовления; вид исходной заготовки; качество; параметр шероховатости; характеристика технологических требований; характеристика термической обработки; толщина покрытия; поверхность покрытия; характеристика толщины; площадь формования; характеристика массы. Данный набор параметров был проранжирован по степени значимости на эффективность ПС. В качестве экспертов выступали специалисты предприятий машиностроения – технологи, нормировщики.

Для полученной ранжировки был определен коэффициент конкордации Кендалла W для случая нестрогого ранжирования по формуле [5]:

$$W = \frac{12}{k^2(n^3 - n)} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k R_{ij} - \frac{k(n+1)}{2} \right)^2 \quad (1)$$

где n – количество параметров значимо влияющих на эффективность ПС, k – количество экспертов входящих в экспертный совет по принятию решений, R_{ij} – ранг i -го элемента в X_i .

В результате получено значение коэффициента конкордации для данной ранжировки $W=0,619$. Проверка гипотезы о согласии экспертов проводилась по критерию Пирсона χ^2 . Значение χ^2_n , вычислено по формуле [5]:

$$\chi^2_n = k(n-1) \cdot W, \quad (2)$$

где k – количество экспертов, входящих в экспертный совет, n – количество факторов, значимо влияющих на эффективность ПС.

При уровне значимости $\alpha=0,05$, $\chi^2_n=35,8$ больше табличного значения $\chi^2_m=9,48$, при степени свободы $\nu=4$, что позволяет считать ранжировку статистически значимой.

При этом, в результате экспертного оценивания параметров деталей были отобраны следующие параметры, наиболее значимо влияющие на выбор технологического обеспечения: размерная характеристика; параметр шероховатости; характеристика массы; вид детали по технологическому методу изготовления.

В результате проведенного экспертного оценивания были выбраны параметры деталей номенклатурной модели предприятия по изготовлению игрушек.

Список литературы

1. Кузнецова Н.А., Черных М.М. Математическая модель игрушки [Текст] / Н.А. Кузнецова, М.М. Черных // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2016. – №3(71), с. 86-88.
2. Данилевский В.В. Технология машиностроения. Изд. 3-е, перераб. и доп. Учебник для техникумов. М. «Высшая школа» 1972, с.544.
3. Кузнецов А.П. Теоретическое обеспечение разработки программ технического развития производственных систем // Технология машиностроения. – 2007. – №10 – М.: «Издательство «Технология машиностроения», с.82-85.
3. Кузнецов А.П. Общие определения и понимание проблемы выбора структур-стратегий производственных систем машиностроения // Автоматизация и современные технологии. – 2007. – №4. – М.: «Издательство «Машиностроение», с. 40-42.
4. Математическое моделирование в управлении производством. А.А.Первозванский, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1975, с.616.

УДК 621.74.02

@Corresponding author e-mail: e-mail: mariy-kodzaeva@yandex.ru

СИМВОЛИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДРЕВНЕЙ ОСЕТИИ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ДИЗАЙНА СОВРЕМЕННОЙ СУВЕНИРНОЙ ПРОДУКЦИИ

**Кодзаева М.Б.¹, ассистент;
Мамедова И.Ю.², к.т.н., заведующий
кафедрой;
Лившиц В.Б.³, к.т.н., доцент, эксперт**

¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, Россия

² Физико-технологический институт Московского технологического университета

³ ООО «Полимод-Сертификат»

@Автор для переписки: Кодзаева М.Б. e-mail: mariy-kodzaeva@yandex.ru

Работа посвящена анализу основных символических моделей Осетии, приведены дизайнерские решения по использованию данных моделей в современной сувенирной продукции из различных материалов.

Ключевые слова: символические модели, солярный символ, Богиня-Мать

SYMBOLIC MODEL OF ANCIENT OSSETIA AS AN ESSENTIAL COMPONENT OF THE MODERN DESIGN OF SOUVENIR PRODUCTION

**Kodzaeva M. B.¹ ;
Mamedova I. Yu.² ;
Livshits V. B.³**

¹North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University); 362021, Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, street of Nikolaev, 44

²Moscow technological university. Physico-technological institute

³Firm «Polimod-Sertivikat»

The work is devoted to analysis of the main symbolic models Ossetia, given the design decision to use data models in modern Souvenirs from various materials.

Key words: a symbolic model, a solar symbol, the Mother Goddess

Элементы дизайна являются теми отдельными кирпичиками, из которых строится вся композиция в дизайне. А различные комбинации элементов и расставленные акценты обеспечивают неповторимость и уникальность всего дизайна. При создании дизайна национального сувенира, для лучшего результата, необходимо уделять внимание каждому элементу, с целью анализа, изучения и преобразования, т.е. переработав внешний вид, а также при необходимости отдельные элементы структуры объекта, получить его усовершенствованный вариант. Что касается объектов данной творческой деятельности, то они могут быть самыми разнообразными.

Анализируя ассортимент современного осетинского сувенира, следует отметить следующее: несоответствие целей нанесения символических моделей в традиционной и современной культурах, а также новые (несвойственные) сферы применения, которые выявляют сложность корректного подбора национального декора, также имеет место творческая проблема художников, дизайнеров, архитекторов найти, «выловить» в океане информации материал, необходимый для выражения их замысла, и грамотно применить.

Анализ орнаментального искусства подтверждает, что с момента возникновения орнамента, он был неотделим от вещи, выражал духовный мир автора на основе его представлений о Вселенной, Земле, Боге, человеку, его окружении, жизни, смерти. Согласно мифологическим представлениям человека о создании мира, из земли вырастает Дерево, которое соединяет землю с небом. На вершине Древа появляется цветок, который олицетворяет рождение Солнца. Охраняют Дерево птицы и другие образы зооморфного вида или же ему по-

клоняются антропоморфные образы, т.е. основные священные символы, являющиеся, как правило, наиболее консервативной частью традиционного орнамента. Все эти символические знаки (модели) в изобилии присутствуют в материальной культуре Осетии.

Сравнивая произведения орнаментального искусства осетин с образцами орнаментов других народов, нельзя не обратить внимания на контраст, который обуславливается традиционной структурой и индивидуальной пластикой узора. Внутренний характер орнаментального рисунка, фона, ритмические паузы, участвующие в процессе формообразования, попеременно чередуются с основным фоном.

Основным символом мироздания осетин выступает образ Мирового Древа - Древа жизни, ярко фиксированного в алано — осетинском орнаменте. В его основе лежат культ плодородия, почитания женского плодоносящего начала, либо Мировое Древо (опора солнца) само служит воплощением женщины – Богини-матери.

Солярные знаки в осетинском орнаменте изображались на разнообразных предметах - архитектурных элементах, одежде, утвари. Солярный знак венчал изобразительный образ Мирового Древа как вершину мира, но при этом присутствовал и солярный образ подземного мира – Солнце мертвых. Именно такое гармоничное ощущение солнечного божества присутствует в изобразительной структуре осетинского солярного орнамента.

Верховное скифское женское божество – Апи (Богиня-мать) обозначено Геродотом (и не только им) как «некое существо – полудева, полужмея». Изучение этого образа привело к выводу, что скифская Богиня маркировала особенностями формы своего тела три вертикальные зоны мира: небесную – крылья, земную – человеческое тело, подземную – растительные и змеиные отростки или рыбий хвост, или их имитацию. Приобретая достаточную условность, орнаментированные фигурки сохранили при этом основную структурную символику священного образа Богини — матери. Во всех орнаментальных изображениях присутствуют хорошо прояв-

ленные крылатые руки, змеевидные ноги и ромбовидная голова. Птицы в осетинском орнаменте символизировали свет, тепло, весеннее пробуждение, сулили урожай и богатство. Являясь посредником между небом и землёй, Священные птицы соотносятся с самим Древом, с образом Богини, обозначая собой как троичную вертикаль мира (три птицы; две птицы и Древо), так и его четверичную горизонталь (две птицы; четыре птицы; пять птиц, одна из которых в центре) [1].

На рисунке 1 представлены символические модели Солярного божества, Богини Матери-земли, Мирового Древа, Священных птиц существовавшие в осетинском этнокультурном пространстве вплоть до XXI века.

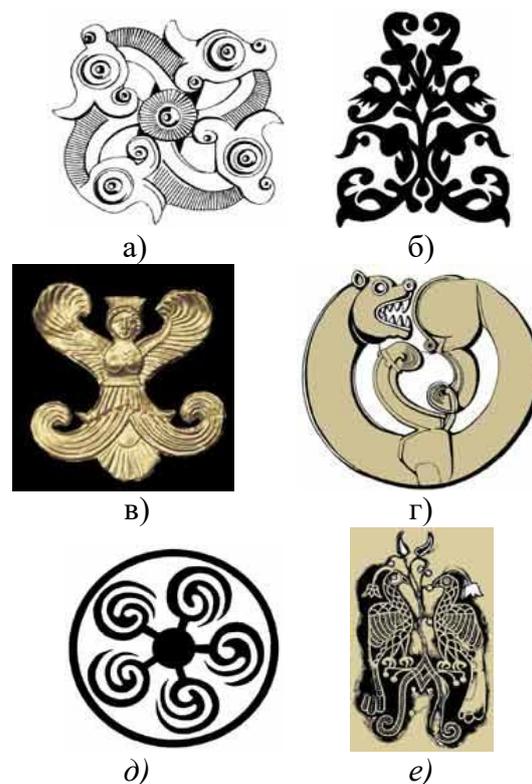


Рисунок 1. Символические модели искусства Осетии: а) Фракийская солярная фибула, IV в. до н. э.; б) Канонический образ Мирового древа с. Ольгинское, XIX в.; в) Золотая бляшка с классическим изображением скифской Богини, V в. до н. э.; г) Свернувшийся барс (солярный знак), VIII в. до н. э.; д) Солярные орнаменты воспродуцированные на цырте. Селение Гизель.; е) Священные птицы на Мировом древе с. Змейской. X – XI в.

Анализ орнаментального искусства подтверждает, что основные священные символы, являются, как правило, наиболее консервативной частью традиционного орнамента. Все эти символические знаки (модели) в изобилии присутствуют в материальной культуре Осетии - в кобанском, скифо-сарматском зверином стиле, а в дальнейшем уже в традиционном алано-осетинском орнаменте[2].

В настоящее время с ростом спроса на разработку современных национальных художественных изделий с использованием символических моделей искусства Осетии, было установлено, что современная культура, заимствуя традиционные мотивы, расширяет области использования материальной культуры - преобразует традиционные сферы, вводит новые: реклама, архитектура, урбодизайн, создание логотипов, сувениров и другие.

Технология изготовления национальной продукции и стиль должны соответствовать традиционным. Допустимо использование новых приемов сборки, ускоряющих процесс изготовления художественных изделий и придающий изделию эстетически приятный вид. В работе были разработаны такие авторские изделия, как: комплект шахматных фигур, сувенирные фляги «День» и «Ночь»[3] представленные на рисунке 2.

Символические модели, перемещаясь, и воплощаясь в новых формах, изменяют и свои функции, и дают возможность появления новых видов декора. Дизайн - проектирование современных национальных художественных изделий с символическими моделями Осетии способствуют популяризации традиционной культуры Осетии.



Рисунок 2. Авторские разработки

Список литературы

1. Валерий Цагараев «Искусство и время» изд. «ИР». Владикавказ, 2003, с. 463.
2. Величко Л.Н., Кодзаева М.Б. «Изготовление художественных изделий. Монография», Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015
3. М.Б. Кодзаева, И.Ю. Мамедова, В.Б. Лившиц «Изготовление художественных изделий кобанской культуры современным методом псевдофилиграни» Дизайн. Теория и практика (электронный журнал). Москва, 2016, Выпуск 25, с.37 – 43.

УДК 621.373.8

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИКЛАДА ДЛЯ АРБАЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D ТЕХНОЛОГИЙ И ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА

Соколова М.Л., д.т.н., профессор;
Смирнов Д.А., магистр

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@ Автор для переписки: Смирнов Д.А e-mail: dimonwar@mail.ru

В статье представлены возможности применения нового метода проектирования прикладов для арбалета генеративным способом, дана разработка рациональных формы. Предложены материал и технология изготовления.

Ключевые слова: Генеративный дизайн, Промышленный дизайн, 3d графика, Оптимизация форм

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE BUTT FOR A CROSSBOW USING 3D TECHNOLOGIES AND GENERATIVE DESIGN

Sokolova M.L.;
Smirnov D.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@Corresponding author: Smirnov D.A. e-mail: dimonwar@mail.ru

In the article the possibilities of using a new method of designing butts for a crossbow in a generative way, the development of rational forms are substituted. The material and manufacturing technology are proposed.

Keywords: Generative design, Industrial design, 3d graphics, Form optimization

Технологии проектирования прикладов классическим методом имеют ряд проблем:

1. Сложность проектирования рациональной формы.

2. Отсутствие гибкости 3d модели.

Поэтому целесообразно применить новый подход проектирования изделий данного типа. Современные программные пакеты на основе нейросетей позволяют упростить процесс проектирования и оптимизации форм. Данный подход к формообразованию обладает высокой гибкостью и вариативностью, что позволят создавать необычные формы за короткий промежуток времени.

Разработка приклада для арбалета с использованием 3d технологий и генеративного дизайна имеет следующие основные этапы:

1. Создание начальной формы
2. Анализ формы и выбор материала в Autodesk Inventor Professional
3. Создание новой формы на основе исследований.

Разработана 3d модель (рис. 1) изделия в программном пакете 3ds Max 2014. Использовался инструмент Edit poly.

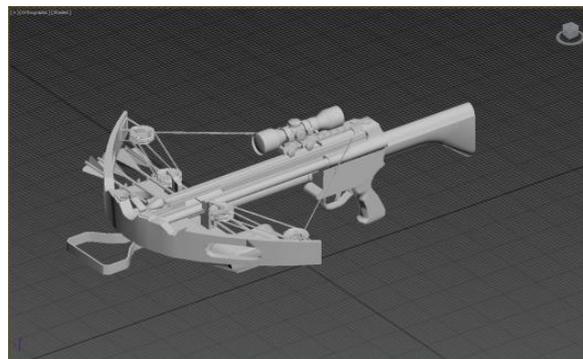


Рис. 1. 3d модель изделия в среде 3D max.

За основу приклада была взята классическая форма изделий данного типа.

Далее полученную модель приклада экспортируем в Autodesk Inventor Professional 2017.

Устанавливаем материал для 3d модели. Выбираем ABS пластик для наиболее точного расчета модели в материале (рис. 2).

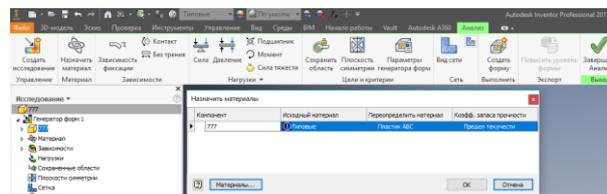


Рис. 2. Выбор материалов в Autodesk Inventor.

Устанавливаем зависимости фиксации модели. Оптимальное место крепления модели — это задняя панель приклад (рис. 3).

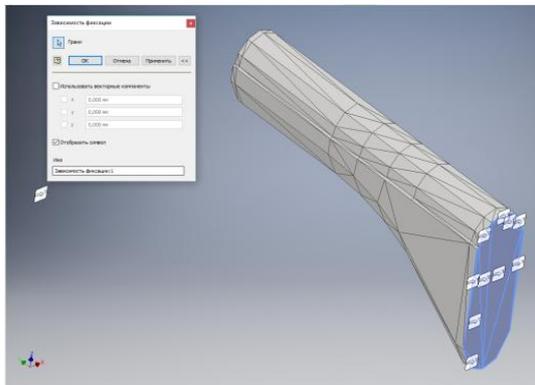


Рис. 3. Выбор зависимостей фиксации в Autodesk Inventor.

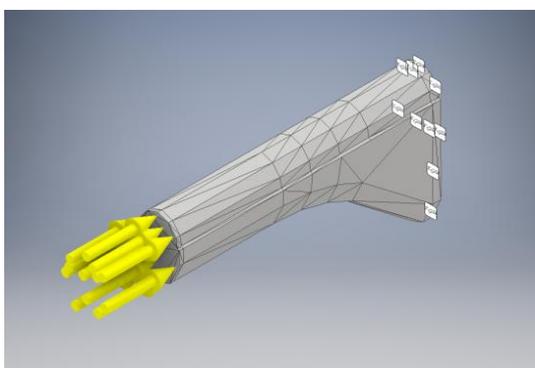


Рис. 4. Выбор направления действия сил в Autodesk Inventor.

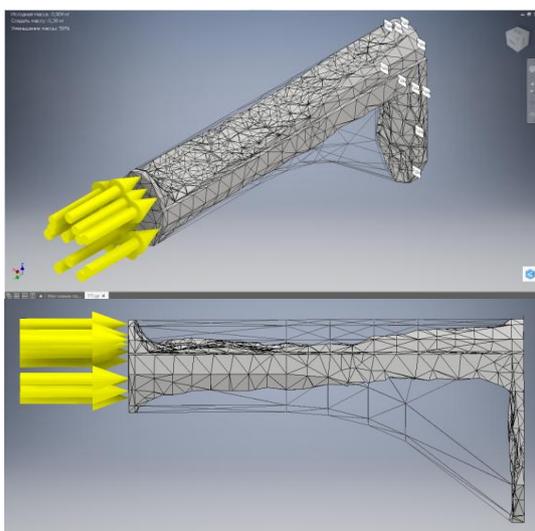


Рис. 5. Результат вычислений в 3d модели Autodesk Inventor.

Производим расчеты на основе представленных данных.

Назначаем силу, с которой происходит воздействие на приклад. Как правило, сила

воздействия не превышает 4Н. Необходимо заложить запас прочности в 10%. В итоге укажем силу равную 4,5Н (рис. 4)

Производим расчеты на основе представленных данных.

Форма получилась оригинальной и нетрадиционной. В дальнейшем, возможно увеличивать или понижать нагрузку на 3d модель, получать новые оптимальные формы (рис. 5).

Результатом работы является экономия материала за счет уменьшения веса на 58%.

Полученная 3d модель имеет грубую форму и требует доработки. Для получения более лаконичных форм загружаем модель из Autodesk Inventor в 3d max.

После необходимой доработки модель полностью готова к производственному циклу. Изделие имеет необычную форму, обладает высокими технологическими характеристиками. Гибкость формообразования позволит получить множество вариаций изделия на последнем этапе разработки 3d модели (рис. 6).

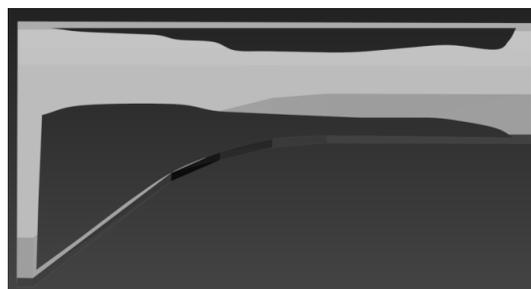
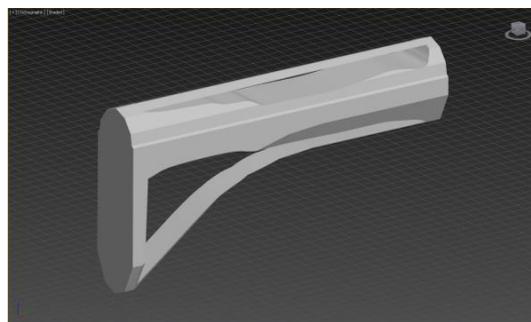


Рис. 6. Результат обработанной модели, итоговая форма.

В настоящее время самый популярный пластик для прикладов – это ABS пластик. АБС пластик – это термопластическая ударопрочная техническая смола, сополимер акрилонитрил-бутадиен-стирол. Это

пластический материал с желтоватым оттенком, хотя имеются и прозрачные модификации продукта. АБС-пластики легко окрашиваются в любые цвета.

Преимущества АБС пластика:

1. высокая стабильность размеров;
2. хорошая коррозионная стойкость, в том числе к жиру, смазочным маслам, бензину и углеводородам;
3. блеск (имеются марки, как с пониженным, так и с повышенным уровнем блеска, а также матовые).
4. высокая ударопрочность.

Так как выбранный пластик обладает хорошими литейными свойствами, то создания приклада рекомендуется применение технологии вакуумного литья.

Таким образом, в работе методами генеративного дизайна получена 3d модель приклада арбалета и предложена технология ее материализации.

Список литературы

1. Мэрдок, К. Л. *Autodesk 3ds Max 2013. Библия пользователя: книга* / К. Л. Мэрдок – М.: Вильямс, 2013. – 816 с.
2. Дрюкова, А.Э. *Исследования структуры и свойств художественных отливок из алюминиевых сплавов в литом и термообработанном состоянии.* / А.Э. Дрюкова, В.Б. Лившиц. - *Дизайн. Теория и практика (Пополняемое электронное научное издание).* - 2016 – выпуск 23. Режим доступа: <http://www.enidtp.ru>
3. Тозик, В. *3ds Max. Трехмерное моделирование и анимация на примерах: книга* / Тозик В., К. Звягин – СПб.: БХВ – Петербург, 2009. – 880 с.
4. Трембли, Т. *Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013: Официальный учебный курс* / Т. Трембли. – М.: ДМК Пресс. 2012. – 344 с.
5. Джонс, Т. *Autodesk Inventor: книга* / Т. Б. Дэниэл, Д. Трэвис – М.: Лори, 2012 – 752 с.

УДК 7.02

ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УКРАШЕНИЙ- ТРАНСФОРМЕРОВ

Жигунова А. И., студентка 4 курса
 бакалавриата;
Соколова М. Л., д.т.н., профессор

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Жигунова А. И., e-mail: alissiazhigunova@yandex.ru

В работе обозначены проблемы ювелирного дизайна на примере явления трансформации и приведена интерпретация термина «трансформация», понимание которого поможет современным дизайнерам более рационально подходить к процессу проектирования украшений-трансформеров. Предложен авторский проект гарнитура-трансформера и выделены особенности разработки.

Ключевые слова: ювелирный дизайн, украшение-трансформер, гарнитур-трансформер, трансформация

в дизайне.

PROBLEMS IN JEWELRY TRANSFORMERS DESIGN AND FEATURES OF JEWELRY TRANSFORMERS

Zhigunova A. I.;
Sokolova M. L.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: Zhigunova A. I., alissiazhigunova@yandex.ru

The paper analyzes the phenomenon of transformation in jewelry design and identifies the problems of jewelry design using the example of the transformation phenomenon and provides an interpretation of the term "transformation", understanding of which will help modern designers to approach the jewelry design projects more rationally. The article describes jewelry set-transformer's development process. The set consists of a pair of earrings, a ring and a pendant.

Key words: jewelry design, jewelry transformer, transformer set, transformation in design, jewelry engineering.

Многие интересные с позиций дизайна украшения не способны обратить на себя внимание покупателя и стать частью его образа, т.к. рынок ювелирных изделий перенасыщен. Поэтому ювелирные компании прибегают к использованию инновационных решений. Сформировались два основных направления разработки и создания ювелирных изделий нового типа: носимая электроника [1] и украшения-трансформеры [2, 3]. Оба направления являются перспективными и представляют интерес как для современных дизайнеров, так и для потребителей. Рассмотрим далее особенности разработки украшений-трансформеров.

Данное направление имеет две взаимосвязанные проблемы: трудности в интерпретации термина «трансформер» (производители часто присваивают изделиям ярлык «трансформер» в маркетинговых целях, это поощряет распространение ошибочно именуемых «трансформерами» изделий и формирует неверные представления у потребителя) и замедленное развитие украшений, которые действительно способны трансформироваться. Понимание дизайнерами и ювелирами термина «трансформация» поможет решить обозначенные проблемы.

В дизайне и искусстве понятие «трансформация» обычно используется как метафора и имеет ряд значений: перемена, преобразование, модификация, развитие, изменение, переход, перерождение, перевоплощение, метаморфоза. Например, в дизайне мебели трансформерами называют объекты, способные менять свою форму и функцию: шкаф-кровать, кровать-стол. Таким образом, можно утверждать, что трансформация – качественное преобразование, подразумевающее перемену функции изделия. В предметном мире кроме качественных преобразований существуют количественные, которые в ювелирном дизайне проявляются как изменение числа второстепенных элементов, не влияющих на конструкцию изделия. Перемена функции благодаря таким преобразованиям не происходит. Ювелирные изделия, в которых вместо качественного преобразования – перемены функции, происходит количе-

ственное, предлагается далее называть псевдотрансформерами.

Часто ювелирные псевдотрансформеры имеют в основе принцип комбинирования декоративных элементов. Изделия такого типа содержат заменяемые вставки или съемные подвесные элементы (Рис. 1), количество которых потребитель регулирует самостоятельно. Также псевдотрансформерами могут считаться ювелирные изделия с поворачивающимися деталями, в том случае, если изделие при повороте детали не меняет своей функции.



Рис. 1 – Серьги-псевдотрансформеры со съемными подвесными элементами [4]

Необходимо отметить, что понятие «псевдотрансформер» не несет отрицательного посыла и не указывает на низкое качество изделия, а лишь подчеркивает, что в подобных украшениях не происходит качественных изменений и присутствуют только количественные изменения элементов или же их комбинирование.

Проиллюстрируем явление трансформации на примерах гарнитуров (Рис. 2, 3), в которых происходят качественные преобразования (перемена функции). Колье-трансформер (Рис.2) представляет собой комбинацию элементов, которые по отдельности являются самостоятельными украшениями (подвеска, серьги, кольцо).



Рис. 2 – Колье-трансформер [5]

Сфера-трансформер «Perle au Trésor» (Рис. 3) от французского ювелирного дома

Вoucheron [6] является не только изделием-трансформером, но и оригинальной формой хранения украшений, т.к. в собранном состоянии изделие содержит жемчужный сотуар. В разобранном состоянии сфера трансформируется в браслет и две броши.



Рис. 3 – Сфера-трансформер «Perle au Trésor» [6]

Обозначив проблемы дизайна украшений-трансформеров и проанализировав явление трансформации на примерах, мы можем предложить авторский проект гарнитура-трансформера. Разработка выполнена на базе ювелирной мастерской «Артефакториум» (руководитель А.Г. Ефимов) [7]. В качестве основы конструкции была выбрана сфера. Далее с помощью программного обеспечения Rhinoceros 5.0 и Keyshot были созданы 3D-эскизы будущего гарнитура (Рис. 4, 5).

Размер сферы зависит от размера кольца и для дальнейшего тиражирования может регулироваться с помощью 3D-моделирования. За основу был взят 18-й

размер кольца. С целью оптимизации конструкции изделия, был найден оригинальный способ соединения элементов гарнитура между собой за счет расположения кулона (Рис.4, п.5) на внешней поверхности сферы (Рис.4, п.1). Такая концепция обеспечивает надежность конструкции гарнитура и избавляет от необходимости в создании дополнительных элементов, так как предусматривает на кольце и серьгах конструктивные выемки, в которые вставляется кулон; в разобранном состоянии сфера представляет собой пару серег, кольцо и кулон (Рис.4, п.2-5). Далее были более детально проработаны детали кулона и выбран замок для серег – пуссета (Рис. 5).

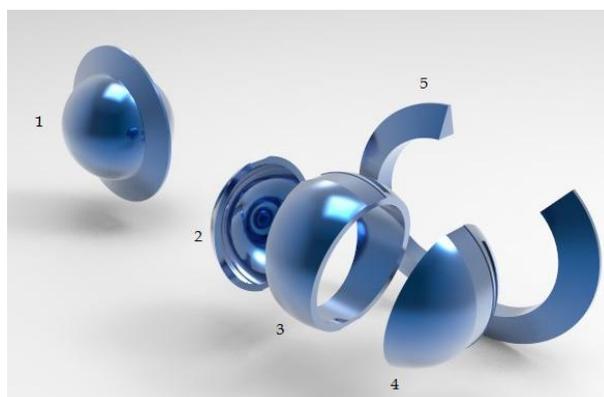


Рис. 4 – Модель сферы-трансформера



Рис. 5 – Итоговый вариант модели сферы-трансформера

В заключение отметим, что трехмерное моделирование позволяет оптимизировать процессы разработки и производства ювелирных изделий: совершенствовать конструкцию и устранять мелкие недочеты еще на стадии проектирования. Но несмотря на широкие технологические возможности, изготовление украшений-трансформеров является трудной дизайнерской задачей. Понимание явления трансформации и рациональное использование принципов трансформации могут быть дополнитель-

ными методами решения дизайнерских задач, связанных с проектированием ювелирных изделий.

Список литературы

1. Соколова М. Л., Казачкова О. А., Жигунова А.И. Эволюция функций носимой электроники на примере «умных» колец // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. вузов России/ ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2016. – 331 с.
2. Куманин В.И. Ювелирные украшения — трансформеры, дизайн и классификация. / В.И. Куманин, О.А. Зябнева // Дизайн. Материалы. Технология. Санкт - Петербург, 2011. - № 1-С. 14-15
3. Галанин С.И., Баринова Л.Е. Принципы видоизменения ювелирных изделий-

трансформеров // Сборник трудов XVIII всероссийской научно-практической конференции и смотра-конкурса творческих работ студентов, аспирантов и преподавателей по направлению «технология художественной обработки материалов» 12-15 октября 2015 года: Сб. науч. тр./Кострома: КГТУ, 2015. –С. 79-84

4. Официальный сайт компании «Ювелирные традиции», (дата обращения: 22.10.2016).

5. Ресурс «Навигатор ювелирной торговли», URL: <http://www.njt.ru/news/21129/>, (дата обращения: 10.12.2016).

6. Официальный сайт ювелирного дома Boucheron, URL: http://ru.boucheron.com/ru_ru/, (дата обращения: 27.12.2016).

7. Ювелирная мастерская «Артефакториум», URL: <http://artefactorium.ru/>, (дата обращения: 27.12.2016).

УДК 621.373.8

ДИЗАЙН МОСКОВСКОГО МЕТРО

**Афремова И. Б., магистрант ,1 курс;
Соколова М. Л., д.т.н., профессор**

Физико-технический институт Московского Технологического университета, г. Москва, индекс 107996

@Автор для переписки: Афремова И. Бе-mail: afremus@yandex.ru

Работа посвящена: дизайн московского метро.

Ключевые слова: Московское метро, дизайн, история

THE DESIGN OF THE MOSCOW METRO

**Afremova I.B;
Sokolova M. L.**

Moscow technological university. Physico-technological institute. Moscow, 107996

@Corresponding author Afremova I. B. :e-mail: Rogov_AY@mgupi.ru

The work is dedicated to the Moscow metro,

Key words: The Moscow metro, design, history

Московский метрополитен,— это не только важнейшая транспортная артерия столицы — это необъемлемая часть всей нашей жизни. В 1931 году заложили первую шахту. За 4 года полностью построили первую очередь в 16 мая 1935 года, московский метрополитен открыл свои двери. Была открыта первая линия, от Сокольников до Парка Культуры, с ответвлением до Смоленской, всего 13 станций. Сейчас в составе метрополитена 12 линий и более 200 станций. Каждая станция уникальна в своем оформлении, дизайне и наполнении. Уникальность социальной и эстетической значимости образов метро никогда не оспаривалось. Отношение москвичей к архитектуре метро за долгие годы его существования практически не подвергалось изменениям. Существенно меняются требования к дизайну.

Современные дизайнерские требования:

Функциональность- удобство пользования

- Вход в метро (пандус или лифт)
- Световая подсветка станций (показывающая прибытие поезда)
- Купить билет (в кассе или автомате)
- Подход к поезду (разметка на полу где откроется дверь)
- Появление безопасных турникетов
- Новые составы в метро (хорошее кондиционирование)

Эстетика

- Расширение пространства платформы
- Цветовая разметка посадочных узлов на полу (навигационная система)

Световая навигация

Информативность

- Информационные голосовые столбы красно-синего цвета
- Справочно-информационные стойки «живое общение»

Рассмотрим, как эти положения реализовывались на различных этапах.

На первом этапе строительства метро

Для первых станций была выбрана островная система платформы. Станции мелкого заложения имели плоские перекрытия. Станции глубокого заложения сводчатые. Основной задачей, стоявшей перед архитекторами, - преодоление ощущения подземелья при проектировании подземных залов станций. При работе с объектами архитекторы выявляли в первую очередь функциональную принадлежность (вход и выход метро), и только во вторую очередь награждали станции какими-либо отличительными чертами. Внутреннее пространство станций первой очереди не были роскошными, но при этом оставались комфортными и уютными. Облицовка станций требовала особого внимания архитекторов. Использовали высококачественные материалы – мрамор, гранит, лабрадор, порфир и др. Это было обусловлено тем, что нужно было сделать износостойкие поверхности, которые легко поддаются чистке, не дают скапливаться пыли, не подвергаются быстрому изнашиванию. Например, «Сокольники» (рис. 1)



Рис. 1 Станция Сокольники

На втором этапе строительства метро. Например «Площадь Революции» (рис. 2). Станция Арбатско-Покровской линии Московского метрополитена Открыта 13 марта 1938 года. Станция украшена скульптурами. Изначально скульптур было 80, но в 1947 году, в связи с сооружением гермозатвора перед восточным выходом, четыре были сняты. Всего на станции 20 различных образов, часть из них повторяется. Скульптурные изваяния расставлены в хронологическом порядке от событий октября 1917 до декабря 1937. Достаточно тяжелая и темная станция. Пилонная, глубокого заложения. Построена по типовому проекту второй очереди. В северном конце центрального зала стоит колонна экстренного вызова. Станция имеет два наземных вестибюля. Станция старая и не удобная для людей с ограниченными возможностями. Единственное нововведение это информационные столбы и новые турникеты в вестибюле станции. Переделка не возможна т. к. станция является историческим объектом.



Рис. 2. Станция Площадь Революции

Станции метро третьей очереди были сданы в эксплуатацию в годы Великой Отечественной войны. Здесь характерна большая высота, гигантский шаг колонн,

немаленькое платформенное пространство. На этих станциях даже пустота носит монументально – высокий характер. Все станции имеют конкретную историю связанную с героями прошедших войн. Так, например: «Автозаводская» (рис. 3)



Рис. 3. Станция Автозаводская

Путевые стены станции облицованы мозаичными полотнами и мрамором теплых тонов. Колонны облицованы плитами алтайского мрамора «ороктой», основание колонн - черный диабаз. За счет яркого освещения у пассажиров нет ощущения, что они находятся под землей.

Современное метро получило индивидуальную образность. Для этого используется широкий арсенал языковых средств: архитектурная пластика, игра пространств, скульптурная декорация, дизайнерское оформление. Именно поиск конструктивной правды порождает в последние годы наиболее интересные композиции подземных залов. Современный этап развития архитектуры метро многогранен и противоречив. Например, станция «Жулебино» (рис. 4) расположена - прямо в центре района. Построена в современном стиле: мелкого заложения, с двумя пролетами и колоннами. Наземные павильоны решены в едином стиле и представляют собой композиции параллелепипедов разного размера с наклонными стенами и плоской кровлей, облицованные керамическим камнем в сочетании двух цветов с решётками из стального профиля. Станция выполнена в духе минимализма. Выход удобный, проходы широкие, турникеты новые. Имеется лифт для инвалидов для удобного выезда на поверхность.



Рис. 4 Станция Жулебино

Для улучшения пользования и перемещения людей по метро предусматривается:

1. Завершение формирования действующей радиально-кольцевой системы метрополитена, увеличение плотности сети метрополитена в городе, обеспечение обслуживания периферийных территорий города и разгрузки пересадочных узлов.

2. Формирование новой системы экспрессных линий для обеспечения скоростными связями Москвы и МО. Разгрузки радиальных линий действующей системы, сокращения затрат времени на поездку пассажиров.

3. Дооборудование действующих станций, с учётом интересов категорий населения с ограниченными физическими возможностями: шпц-линиями, лифтами, перилами, пандусами, оповещением звуковыми сигналами и бегущей строкой, повышение общего уровня освещённости на станциях.. Новые станции полностью приспособлены для удобного перемещения инвалидов.

4. Замена старых модификаций поездов на новые.

5. Строительство новых станций на действующих линиях.

6. Строительство вторых входов на действующих станциях.

7. Замена устаревшего вентиляционного оборудования.

Список литературы

1. *Московский метрополитен как памятник архитектуры. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/425300>. Дата обращения: 14.03.17*

2. Метрострой. [Электронный ресурс] –
 Режим доступа: <http://www.rosmetrostroy.ru/>

planmosmetro2016.htm. Дата обращения:
 14.03.17

УДК 656.078

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН МОСКОВСКИХ АВТОБУСОВ

Соколова М. Л., д.т.н., профессор
 Мильчакова Н. Е., к.т.н., доцент
 Легошина А. А.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Легошина А.А. e-mail:
Antoninalegoshina@mail.ru

Работа посвящена адаптации наземного транспорта под возможности слабовидящих людей методом кодирования цифр номера маршрута автобуса цветовыми полосами.

Ключевые слова: универсальный дизайн, наземный транспорт, автобус, слабовидящие люди.

UNIVERSAL MOSCOW BUS DESIGN

Sokolova M. L.
 Milchakova N. E.
 Legoshina A. A.

Moscow technological university. Physico-
 technological institute

© Corresponding author e-
 mail: Antoninalegoshina@mail.ru

The work is dedicated to the adaptation of ground transportation to the capabilities of visually impaired people by the method of coding the numbers of the bus number by color lines.

Key words: universal design, ground transportation, bus, visually impaired people.

Универсальный дизайн – это дизайн предметов, обстановок, программ и услуг,

делающий их в максимально возможной степени пригодными к пользованию для всех людей. Главные принципы универсального дизайна – это равенство и удобство для всех.[2]

Городским пространствам необходимы комфортные и привлекательные элементы общественных зон для разных людей — это даст любому человеку возможность почувствовать себя равным участником событий.[1] Одной из сложнейших общественных зон для адаптации согласно принципам универсальности является пассажирский транспорт.

Общественный транспорт имеет ряд преимуществ перед личным транспортом, однако людям с ограниченными способностями не удобно либо невозможно передвигаться на нем самостоятельно.[3] В данной статье предложено решение проблемы трудности использования наземного транспорта слабовидящими людьми, которое не вредит эстетике передвижного средства и удобству остальных пассажиров.

Суть предложенного метода.



Рис. 1. Стенд с расшифровкой и демонстрацией применения метода на московском автобусе ЛиАЗ-5292.

Метод достижения цели заключается в кодировке цифр номера маршрута автобу-

са разными цветами, которые будут нанесены на автобус. Стенды с расшифровкой цифры-цвета должны быть расположены на всех остановках (рис. 1).

Цветовые полосы на наземном транспорте будут сигнализировать людям на остановке о маршруте приближающегося автобуса, а слабовидящие люди смогут обходиться без цифр для понимания номера маршрута. Таким образом, решаются задачи универсального дизайна: равенство слабовидящих и зрячих, также дополнительное удобство для основной половины пользователей городского транспорта.

Плюсы данного метода:

- Повышение мобильности пользователей наземного транспорта;
 - Предоставление возможности безбарьерного использования общественного транспорта слабовидящим людям;
 - Эстетика решения проблемы.
- Минусы данного метода решения проблемы:
- Дополнительные затраты на пере-

крашивание или приклеивания цветowych линий стендов с расшифровкой;

- Необходимость запоминания соотношений цветов и цифр;
- Снижается эффективность в темное время суток.

Таким образом, данное решение является достаточно эффективным даже для людей с небольшим снижением остроты зрения, удовлетворяет основным принципам универсального дизайна и позволяет расставить яркие акценты в урбанистическом дизайне больших городов.

Список литературы

1. URL: <https://www.mirea.ru/news/at-the-site-of-the-university-held-a-plenary-meeting-of-the-international-scientific-practical-confe/> (дата обращения 19.03.17) интернет ресурс
2. URL: <http://bezpregrad.com/universal-design.html> (дата обращения 19.03.17) интернет ресурс
3. Соколова М.Л., Мильчакова Н.Е. и др., Дизайн/ - М.: МГУПИ, 2013. – 142 с., ил.

УДК 7.021.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДИЗАЙНА В ЛАЗЕРНОМ ДЕКОРИРОВАНИИ ВНУТРИ СТЕКЛА

Мильчакова Н.Е., доцент, кандидат технических наук;
Остапчук В.В., магистрант

Физико-технологический институт Московского технологического университета, г. Москва, 105275, Россия

@Автор для переписки: Остапчук В.В. e-mail: vitost1990@mail.ru

В статье рассматривается возможность автоматизации лазерного декорирования с применением дополнительного программного обеспечения, в котором разработан специализированный алгоритм для создания художественного рисунка.

Ключевые слова: лазерная гравировка внутри стекла, алгоритм

AUTOMATION OF DESIGN PROCESSES IN LASER DECORATION INSIDE GLASS

Milchakova N.E.;
Ostapchuk V.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@Corresponding V.V. Ostapchuk e-mail: vitost1990@mail.ru

The work considers the possibility of automation of laser decoration with using of additional software, in which a specialized algorithm for the creation of artistic design is developed.

Key words: Laser engraving inside the glass, algorithm

В настоящее время множество российских предприятий вынуждено адаптироваться к постоянно изменяющимся внешним условиям и ужесточению конкурентной борьбы. Промышленная индустрия активно диктует необходимость перехода к массовому производству, при этом сохраняя традиции эстетики дизайна.

В сфере лазерной гравировки внутри стекла дизайнеры и художники являются неотъемлемым звеном в создании рисунка и эстетики изображения (рис. 1). Придавая уникальность одному или даже целой серии изображений тратится не малое количество времени на формулировку новых идей и их реализацию [1].



Рис. 1. Пример лазерной гравировки внутри стекла

Чтобы «держаться на плаву», компании должны иметь наивысшие показатели эффективности своей работы. Возникает необходимость перехода к такой производственной системе, где имелась бы возможность производить больше продукции, при этом имея минимальные затраты на производство. Необходимость применения уникальной технологии, способной заменить собой даже художника.

Такая технология должна просто интегрироваться в производственный процесс, предоставлять за минимальное количество шагов оригинальный дизайн на каждое изделие или группу изделий, иметь гибкий и интуитивно понятный механизм её использования. Этот вопрос особенно актуален для стекольной продукции, когда возникает необходимость привнести уникальность в изделия сложной формы, такие как вазы, кружки и прочие стеклянные пред-

меты интерьера.

Процесс разработки рисунка внутри стекла происходит при использовании программ, ориентированных для работы с трёхмерной графикой [2]. Созданная дизайнером модель в последствии переводится в понятную для станка лазерной гравировки форму. Именно эту трехмерную модель и можно получить автоматическим путём с применением алгоритма, представленного в виде задач-операторов. Для осуществления задуманного используется программа для работы с трёхмерной графикой SideFX Houdini, ориентированная на процедурную симуляцию поведения частиц. Благодаря процедурности рабочий процесс достаточно гибок, и изменение параметров в любом операторе программы не ведёт к нарушениям результатов или ошибкам (рис. 2).

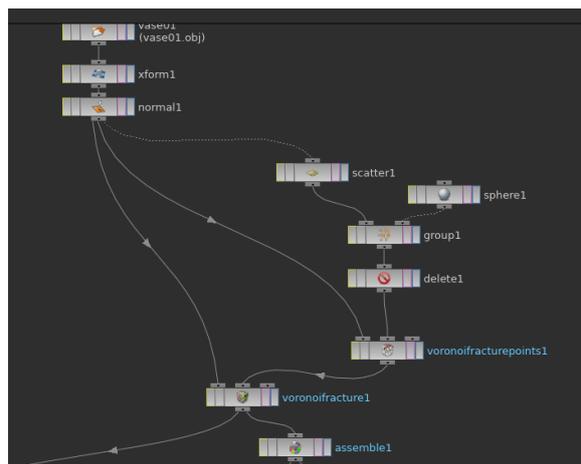


Рис. 2. Тело алгоритма.



Рис. 3. Результат алгоритма.

Суть алгоритма в том, что моделируется

поведение частиц, схожее с природным, хаотическим[3]. Благодаря возможностям программного обеспечения поведение частиц может регулироваться разнообразными способами. По желанию дизайнера рисунок получится плотным, насыщенным, угловатым или плавным, высоким или коротким. Достаточно только загрузить исходное изделие, внутри которого будет планироваться нанесение рисунка, и алгоритм автоматически создает модель сложной высоко-полигональной формы (рис. 3). В кратчайшие сроки моделируется уникальный дизайн рисунка под выбранный тип изделия, выдаваемого компанией. Предоставляется возможность сохранить рисунок для одного изделия или для целой серии. По алгоритму создается природный рисунок, параметры плотности, интенсивности и чёткости которого может изменять один оператор на предприятии по своему выбору. Трёхмерная модель имеет форму, идентичную с формой изделия. Габариты изделий ограничиваются только возможностями станков для лазерной гравировки (рис. 4).

В итоге безликое стеклянное изделие приобретает свой уникальный дизайн, прекрасно подходящий как искусственным

любителям стилей, вдохновленных природой или абстракционизмом, так и обычному непритязательному взгляду.



Рис. 4. Применение автоматизации процессов лазерной гравировки на вазе.

Список литературы

1. Скворцов К.А., *Художественная обработка металла, стекла, пластмассы*/ - М.: профиздат, 2004. – 144 с.
2. Литвиненко С., «Технология гравирования»/ Сергей Литвиненко; издательство: Витражная мастерская, - 112 с.
3. Craig Zerouni, *Houdini on the spot: power user tips and techniques*/ - USA: Elsevier Inc, 2007. – p.303.

УДК 67.02

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ КРЕПЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВСТАВОК В КОВАНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Дрюкова А.Э., к.т.н., доцент, научный руководитель;
 Подкорытов М.А., студент
 магистратуры 1 курса

Физико-технологический институт
 Московского технологического университета

© Автор переписки: Дрюкова А.Э. E-mail: amatush@mail.ru

Работа посвящена технологическим приемам крепления неметаллических вставок в художественные кованые конструкции. В статье рассмотрены популярно используемые материалы и методы их фиксации к металлическим изделиям. Поставлена задача разработать технологический прием фиксации для выбранного материала в кованом изделии.)

Ключевые слова: художественная ковка, перламутр, стекло, дерево, камень.

TECHNOLOGICAL METHODS OF FASTENING NON-METALLIC INSERTS IN A WROUGHT IRON DESIGN

**Drukova A. E.,
Podkorytov, M. A.**

Physico-technological Institute, Moscow technological University

@Author of correspondence: drokova A. N. E-mail: amatush@mail.ru

The work is dedicated technological methods of fastening non-metallic inserts in artistic wrought iron design. In the article popularly used materials and methods of their fixation to the metal products. Tasked to develop a technological method of fixation for selected material in the forged product.

Keywords: metal art, mother of pearl, glass, wood, stone.

Введение

Ковка - одно из древнейших направлений термической обработки металлов. С тех пор как человек подружился с огнем и, вслед за ним, с металлом, их союз крепчал и раскрывал перед ним все большие возможности, делая его сильнее и могущественнее.

С давних пор на Руси кузнец был многоуважаемым селянином. Ему приписывали сверхъестественные способности: считалось, что он может лечить людей, а вышедшая из-под его молота подкова, защищала дом ее обладателя от нечистой силы, злых духов и других непрошенных гостей.

Ковка — способ обработки металла путем его деформирования при высоких температурах. Ковка применяется для обработки многих металлов (железо, медь, титан, алюминий и их сплавы) нагретых до ковочной температуры, но чаще этот термин связывают с кузнечным ремеслом и с обработкой сталей. Объясняется это тем, что сталь по сравнению с другими сплавами хуже поддается холодной обработке, и для более комфортной работы её необходимо разогреть до высоких температур.

Актуальность темы

Для декорирования кованых изделий используют разнообразные неметаллические материалы, такие как древесина, стекло (витраж), драгоценные камни или просто горные породы. Сочетание металла с разнородными материалами позволяет

находить необычные композиционные решения.

Неповторимым сочетанием является комбинация металла с витражом. Такие предметы приобретают яркий и праздничный вид и создают немного загадочную атмосферу в помещении. Наиболее распространенный элемент оформления интерьера, где встречаются ковка и витраж — это лестничные перила и ограждения второго света. Витраж или цветное стекло в доме сами по себе несут большую декоративную нагрузку, а в обрамлении художественно кованого металла превращаются в поистине уникальный элемент декора (рисунки 1).



Рис. 1. Элемент кованых перил с витражной вставкой



Рис. 2. Деревянные перила на кованых стойках



Рис. 3 Кованая решётка с каменными вставками

Соединение ковки и дерева часто используется и в экстерьере. Теплое дерево, оттеняющее металлический блеск, делает изделие более уютным. Всегда хочется погладить деревянную поверхность. Поэтому металлические кованые перила для лестниц нередко украшают деревянными поручнями (рисунок 2).

Камень и ковка – одно из самых удачных сочетаний в дизайне интерьера и не только. Ковка прекрасна сама по себе и часто сочетается с такими материалами, как стекло или дерево. Но, ничто не смотрится так богато и монолитно, как сочетание ковки с камнем. Преимущества соединения камня с коваными каркасами давно оценили дизайнеры со всех уголков мира, и часто используют такой вариант дизайна интерьера при строительстве современных домов и офисов (рисунок 3).

Технологические приемы крепления

Для фиксации разнородных элементов используются разнообразные технологические приемы и приспособления. К массивным деревянным воротам кованые ручки крепят с помощью подготовленных заранее гвоздей. Витраж, изготовленный для кованой решетки, крепят на стальные штифты или припаивают на медные листы или свинцовую ленту, так же используют разнообразные клеевые составляющие и металлические лапки. Камни обычно крепят с помощью оправы, которая прочно удерживает камень. В качестве оправы используют пластичные металлы, которые оформляют в глухой каст. Так же применяют сканые и ажурные касты.

Перспективы научной работы

При изучении орнаментации и декорирования кованых изделий была выявлена проблема крепления более хрупких и нежных природных материалов в кованые изделия. Хрупкий перламутр, называемый в народе «живой камень», смягчал бы общую композицию из кованого металла, и, не хуже чем стекло, придавал бы ей празд-

ничный и нарядный вид. Традиционно перламутр используют как ювелирный и поделочный материал, не рассматривая возможность вставки его в монументальные кованые изделия. На сегодня фактически отсутствуют изделия, сочетающие в себе нежную фактуру перламутра с грубой текстурой кованого металла.

Поэтому была поставлена задача изучить технологические приемы крепления перламутра в изделиях, выполненных в технике художественной ковки.

Список литературы

1. А.Г.Навроцкий. *Ковка. Москва: «ООО Издательство АСТ»: Кладезь, 2014, с.160.*
2. С.В. Ухин . *Кузнечное дело. М.: ООО «Издательство АСТ», Донецк, «Сталкер», 2004, с. 79.*
3. Ю.А Титов, В.Н. Кокорин, И.Н. Гудков, А.Ю. Титов В.Н. *Свободная ковка. Исходные материалы и заготовительные операции: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2006, с.53.*
4. . О. Новоселова . *Художественный металл России. Выпуск 4. Издательство: Металлургиздат ЗАО, 2005, с. 96.*
5. *Металлическое кружево: ворота и решетки/Пер. с исп. – М.: Издательский дом «Ниола 21-й век», 2004. 112 с.: ил.*
6. *Лестничные перила/Пер. с исп. – М.: Издательский дом «Ниола 21-й век», 2005. – 112 с.: ил. (Художественный металл)*
7. *Интернет ресурс – http://www.kefa.ru/article/kovat/fromhi/ictoria_kovki.htm, дата обращения: 18.03.2017*
8. *Интернет ресурс – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ковка>, дата обращения: 18.03.2017*
9. *Интернет ресурс – <http://kovkafm.ru/ukrasheniya-kovanyh-izdelij-pri-pomoshhi-stekla-dereva-i-drugih-materialov.html>, дата обращения: 18.03.2017*
10. *Интернет ресурс – <http://www.amskovka.ru/statyi/kovka-i-derevo-funkcionalnaya-kombinaciya>, дата обращения: 18.03.2017*

УДК 67.02

Key words: bow, technology, the organization of production, the decoration of bows.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РУКОЯТЕЙ ЛУКОВ

Дрюкова А. Э. доцент, к.т.н.;
Пустыгин А. А. студент, группа
 ДТБО-01-13

*Физико-технологический институт
 Московского технологического университета*

@Автор для переписки: Пустыгин Алексей, e-mail: pustigyn.a@gmail.com

На сегодняшний день в России практически отсутствуют производства, занимающиеся изготовлением классических и спортивных луков. Как правило, компании, производящие луки, закупают комплектующие за рубежом, что сказывается на стоимости готовых изделий. Разработка технологии изготовления отдельных деталей лука и последующей их сборки в условиях единого производства снизит уровень затрат и позволит покупателям приобретать качественные отечественные изделия по более низким ценам.

Ключевые слова: лук, технология, организация производства, декор луков.

FEATURES OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR MANUFACTURING HANDLES OF BOWS

**Drukova A. E., Associate Professor,
 Candidate of Technical Sciences;
 Pustygin A. A. student**

*Institute of Physics and Technology of Moscow
 Technological University*

© Corresponding author e-mail: pustigyn.a@gmail.com

Today in Russia there are practically no productions which are engaged in production of classical and sport bows. As a rule, the companies making bows buy accessories abroad. That affects the cost of finished products. Development of manufacturing techniques of separate details of bows and the subsequent their assembly in the conditions of uniform production will reduce the level of expenses and will allow buyers to get qualitative domestic products at lower prices.

Благодаря достижениям технологии, в наше время любой желающий способен сделать или заказать себе лук. Разных людей интересуют разные свойства луков, но большинство из тех, кто когда-либо увлекался их историей, пробовал стрелять из него или, хотя бы, видел их, к примеру, на витринах, были очарованы гибкостью и плавностью их конструкции. Совершив запрос “куплю лук” в большинстве поисковиков, очень часто можно наткнуться на магазины, которые продают композитные луки и комплектующие к ним, или на частных предпринимателей, которые вручную изготавливают подобные луки, но из нескольких сортов древесины с минимальным использованием сторонних современных материалов. Цена, как у первых, так и у вторых луков довольно высокая. Те луки, что изготовлены вручную, являются эксклюзивными изделиями, которые создаются с учетом требований определенного заказчика, и их цена вполне оправдана. А вот цены в магазинах поражают своими размерами. Некоторые комплектующие к профессиональным и полупрофессиональным лукам продаются по цене, которая начинается с 7 тысяч рублей. Это связано в первую очередь с тем, что они, в большинстве своем, заказываются из-за границы.

Из-за таких расценок довольно быстро появляется желание попробовать самому сделать лук, и здесь можно практически с уверенностью сказать, что большинство из нас пыталось сделать лук в домашних условиях. Кто-то впервые пытался заняться этим, будучи ребенком, чтобы впечатлить своих товарищей, а кто-то, уже в сознательном возрасте, чтобы попробовать заняться чем-то новым и необычным. Существует множество форумов, на которых обсуждается тема создания луков, где предлагаются различные варианты конструкции или модернизации этого метательного орудия. В основном, на подобных форумах встречаются советы по созданию луков только из древесины, что представляет собой трудоемкий и длительный про-

цесс, начинающийся от поиска древесины и её обработки, и заканчивающийся пошаговыми инструкциями по приданию форм заготовке. Некоторые из этих процессов, в зависимости от находящегося под рукой оборудования, могут длиться, - как в давние времена, - в течение нескольких лет.

Куда более интересным выглядит создание лука из материалов, которые появились и совершенствуются уже в наше время: углеродное волокно, стеклоткань, пластик и текстолит. Эти материалы позволяют усовершенствовать внешний вид и характеристики лука, а так же продлить срок его службы. Благодаря этим материалам лук становится куда менее требовательным к уходу, поскольку детали из них проще заменить. Одним из наиболее рациональных материалов, который вполне возможно изготовить даже в домашних условиях, является текстолит, который так же называют «микарта».

«Micarta» – товарный знак фирмы Paper International. Это электроизоляционный материал, состоящий из полимерных смол и слоёв бумаги или ткани (как правило, льна). В России аналогичные материалы известны как гетинаксы и текстолиты. Цвет микарты зависит от состава основного полимера (это могут быть крезолоальдегидные, ксиленолоальдегидные или другие смолы) и расцветки армирующего материала.

Микарта обладает высокой водостойкостью, хорошими показателями стойкости к температурным перепадам, технологичностью, плотностью. Эти текстолиты не впитывают запахи и, благодаря особой, обусловленной текстурой тканевых слоёв, фактуре, изделия из них не скользят в руке даже при увлажнении поверхности [2].

Поскольку свойства текстолита не обеспечат плечи лука необходимой гибкостью, целесообразно использовать его в качестве материала рукояти, что обеспечит ее необходимой легкостью, жесткостью и выносливостью. Рукоять из текстолита можно создать двумя способами: сделать цельный брусок текстолита и обработать его с помощью подручных средств или станков, или, используя вакуумный пресс,

задать основную форму рукояти, а затем обработать ее.

Таблица 1
 Технические характеристики текстолита электротехнического листового [3]

Параметры	А	Б	ШТ	ШТ
Предельное напряжение при изгибе, МПа	90	10	15	14
Предельное напряжение при растяжении, МПа	35	45	-	-
Напряжение при сжатии, Мпа	-	-	16	15
Ударная вязкость, кДж/м ²	7	7	3	3
Объемное электрическое сопротивление, Ом×м	10	10	-	-
Пробивное напряжение в трансформаторном масле, кВ	15	15	-	-
Плотность текстолита, г/м ³	1	1	1	1

Если изготавливать брусок текстолита, то для этого, потребуется площадка, на которой будет раскладываться ткань и промазываться адгезивом. Оптимальным вариантом, в домашних условиях, будет эпоксидная смола: она является легкодоступным адгезивом, довольно проста в обращении, гарантирует необходимое качество склеивания слоев ткани, а так же прочность будущей рукояти. После того, как каждый слой ткани будет промазан эпоксидной смолой, необходимо зажать ткань между импровизированным прессом, к примеру, между двумя досками, после чего, дать смоле схватиться. Последующие действия, проводятся с бруском затвердевшего текстолита, и представляют собой шлифовку с целью задать форму рукояти. Конечный результат часто зависит от цвета ткани, так как, при использовании нескольких оттенков рукоять, в обработан-

ных местах будет обладать интересным рисунком.

Второй способ отличается от первого тем, что перед тем как обрабатывать ткань эпоксидной смолой, нужно сделать специальную форму, по которой будет выкладываться ткань, а затем и спрессуется по ней же. Вакуумный пресс необходим для того, чтобы заготовка максимально пропиталась смолой и сохранила ту форму, которую задают с его помощью. После отверждения смолы будущую рукоять необходимо обработать с помощью шлифовального или токарного станка. Этот метод больше подходит для массового производства, поскольку не каждый может себе позволить приобрести станок.

Благодаря фактуре рукояти из текстолита можно не покрывать дополнительными материалами, которые не позволяли бы рукояти выскальзывать из руки лучника. Для усиления этой способности изделия из микарты подвергают микроабразивной (пескоструйной) обработке[2]. В домашних условиях можно воспользоваться наждачной бумагой и пройти только по тому месту, за которое будет держаться лучник. Дальнейшая обработка рукояти зависит целиком и полностью от предпочтений изготовителя.

Процесс создания рукояти из текстолита

та в домашних условиях не представляет никакой сложности, необходимо лишь купить материалы, а так же, организовать рабочее место.

Список источников

1. Дрюкова А.Э, Лившиц В.Б. Специальные технологии художественной обработки материалов. (Изготовление художественных изделий из дерева и металла). – М.: Издательство Онопринт, Москва 2016. - 270 с.
2. Обзор по самостоятельному изготовлению микарты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forum.fonarevka.ru/showthread.php?t=7092> (дата обращения: 16.03.2017);
3. MICARTA И G10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gearshout.net/micarta-i-g10/> (дата обращения: 16.03.2017).
4. Эксплуатационные свойства и сфера применения листового текстолита. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://promresursy.com/materialy/polimery/kompozitnye-materialy/listovoy-tekstolit.html> (дата обращения: 18.03.2017).
5. KnifeHelp / Micarta. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.knifehelp.net/pages/materialy/drugie-materialy/micarta.php> (дата обращения: 16.03.2017).
6. Текстолит. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://supercross.ru/page332362> (дата обращения: 18.03.2017).

УДК 684.4-182.7

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕБЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Дрюкова А. Э. доцент, к.т.н.;
Митин Г.С. студент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Митин Георгий, e-mail:
cronnus_electro@mail.ru

Мебельное производство, по большей части, ориентировано на изготовление постоянных конструкций, имеющих вполне определённые габариты и выполняющих конечный набор функций. Статья посвящена рассмотрению принципиально иного подхода к проектированию мебели, основанного на трансформации конструкций с целью экономии средств, времени и пространства.

Ключевые слова: мебель, сборная конструкция, инженерия

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF FURNITURE TRANSFORMABLE STRUCTURES

Drukova A. E.;

Mitin G. S.

*Institute of Physics and Technology of Moscow
Technological University*

*@Corresponding author e-mail:
cronnus_electro@mail.ru*

Furniture production, mostly, is focused on production of the constant designs having quite certain dimensions and performing a final set of functions. Article is devoted to consideration essentially of other approach to design of furniture based on transformation of designs for the purpose of economy of means, time and space.

Key words: Furniture, prefabricated structure, engineering.

Мебель, как важнейший элемент функциональной организации пространства, окружает человека всю жизнь. И на каждом этапе жизни человека мебель выполняет определенную, поставленную перед ней задачу. Своим целям служат, к примеру, письменный стол, кухонный стол, кровать, книжный шкаф и т.д. И, скажем, рабочий стол, как место, за которым люди выполняют свою узконаправленную деятельность в зависимости от рода занятий, может быть обустроен как специализированное пространство, предназначенное для работы с ЭВМ, так и может быть решён просто как письменный стол. Столы для работы с ЭВМ должны включать в себя место для устройств ввода информации, место для монитора и место для размещения системного блока, так же столы могут иметь место для различной оргтехники, мест для хранения бумаг и прочие функциональные поверхности. Помимо различного количества и размеров функциональных плоскостей, столы для работы с ЭВМ часто обладают возможностью вариативности расположения этих поверхностей. Например, расположение системного блока и оргтехники могут быть поменяны местами.

Из всего представленного перед ним разнообразия человек выбирает ту мебель, которая отвечает важнейшим для него параметрам. Он может ориентироваться на эргономику мебели, основываясь на удобстве пользования, или на экономию пространства, выбирая менее удобную, но бо-

лее компактную модель. Важно учесть изменение требований владельца к мебели с течением времени, обусловленные переменами в жизни хозяина. Смена образа жизни, семейного положения, рода деятельности или уровня дохода неизменно приводит к потребности в замене мебели.

Разработка и создание мебели, в конструкцию которой заложен потенциал модернизации и изменений, позволит решить проблемы, к которым может привести необходимость срочной замены мебели. Реализация данного потенциала отбрасывает необходимость в покупке потребителем новой мебели, позволяя определённым образом трансформировать уже имеющийся набор за счёт установки или демонтажа части конструкции.

Приведём пример. В начальной школе ребенок нуждается в письменном столе, за которым он сможет выполнять письменную домашнюю работу. Соответственно, ему необходим стол, оснащённый поверхностью, достаточной для расположения предметов, необходимых для письменной деятельности и размещения учебного материала. Так же стол должен быть оснащён полками (ящиками) для хранения канцелярских принадлежностей и учебного материала (рисунок 1).

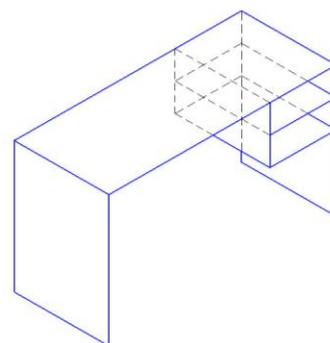


Рис.1. Стандартный письменный стол

В последующем ученик, переходя в старшие классы, будет все чаще сталкиваться необходимостью работы на компьютере, что вызывает необходимость его размещения в зоне рабочего пространства стола. Так же растет необходимость в полезных плоскостях из-за увеличения изучаемых предметов и повышением их сложности (рисунок 2).

Данный пример рассматривает изменение необходимости в различных функциональных поверхностях стола ввиду взросления пользователя, а, следовательно, изменения рода деятельности и условий для её реализации. В приведённом примере фигурируют два стола, предназначенных для одного пользователя. Вне всяких сомнений, такая ситуация может доставить много неудобств как самому ученику, так его семье, поскольку на замену стола придется потратить много времени, сил и денег. В случае же, если в ранее приобретённый стол заложена функция трансформирования (увеличивая, уменьшая, комбинирования функциональных плоскостей и др.) экономические издержки производства снижаются за счет того что предприятие, произведя первый стол, не производит второй, а изготавливает детали для модернизации первой модели.

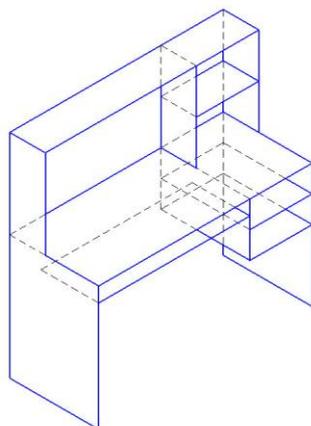


Рис.2. Стандартный компьютерный стол

Одним из путей решения задачи разработки мебели с функцией трансформирования является использование принципа модульности конструкции. Используя набор стандартных изделий разного размера, можно быстро собирать и разбирать всю конструкцию, изменять взаимное расположение деталей, увеличивать или уменьшать те или иные зоны. Для соединения деталей целесообразно использовать со-

единительные элементы, формирующие узел по принципу посадки с натягом, обладающие четвертой степенью симметрии ортогональной плоскости к оси, образуемой пересечением функциональных плоскостей. За счет применения соединительных элементов разрабатываемой на данный момент конструкции можно обеспечить разнообразие векторных креплений. Применение общего соединительного элемента и набора панелей разного размера позволяет собирать разнообразные конструкции. (рисунок 3).

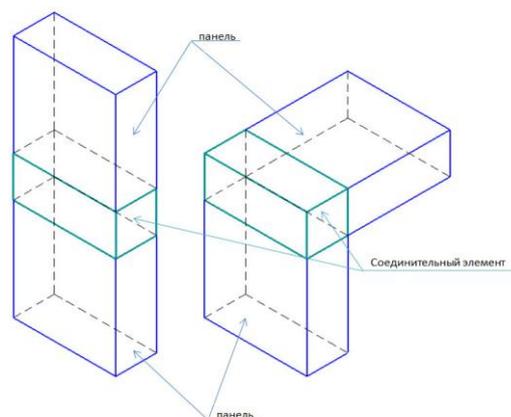


Рис. 3. Возможные соединения функциональных плоскостей соединительным элементом

Список источников

1. Дрюкова А.Э, Лившиц В.Б. Специальные технологии художественной обработки материалов. (Изготовление художественных изделий из дерева и металла). – М.: Издательство Онопринт, Москва 2016. - 270 с.
2. Мебельный конструктор Д-Тек: как построить свою мебель? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yapokupayu.ru/blogs/post/kak-postroit-svoyu-mebel> (дата обращения 20.03.2017).
3. Мебельный конструктор: создание мобильной мебели. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.business101.ru/article/mebel> (дата обращения 20.03.2017).

УДК 658.512.2

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА

Мустафаева Ю.Ф., студентка магистратуры 1 курса

Гой М.В., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Гой М.В. e-mail: aleandr84@inbox.ru, Мустафаева Ю.Ф. e-mail: iuma@bk.ru

Работа посвящена исследованию вопроса основных тенденций развития промышленного дизайна и поиска ответа на вопрос, что же есть современный промышленный дизайн: искусство или техника?

Ключевые слова: промышленный дизайн, изделие, техника, технологии, тенденции дизайна.

THE MAIN TRENDS OF MODERN INDUSTRIAL DESIGN

Mustafaeva Y.F.;

Goy M.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: Goy M.V. e-mail: aleandr84@inbox.ru, Mustafaeva Y. e-mail: iuma@bk.ru

The work is devoted to study the main trends in the development of industrial design and seeking an answer to the question, what is modern industrial design: art or technique?

Key words: industrial design, product, machinery, technologies, and design trends.

До последнего времени в нашей стране дизайну уделялось недостаточно внимания, были другие, более насущные проблемы промышленности. Специалистов по дизайну в России традиционно готовили и готовят гуманитарные ВУЗы. Превратить рисунок в готовый продукт – главная проблема для выпускников гуманитарных

ВУЗов[4]. Часто в понятие «промышленный дизайн» вкладывают весьма упрощенный смысл, сводя все к одной из его характеристик – эстетическому качеству изделия. **Промышленный дизайн** – проектная по своей сути деятельность, это творческий образ и оружие конкуренции, способ сократить издержки и расширить ассортимент.

Промышленный дизайн, прежде всего, исходит к истокам идеи создания продуктов для массового производства и доступных среднему человеку. Если переходить от идеи и чертежа промышленного образца к результату, то почему в большинстве случаев конечный продукт работы больше похож на произведение искусства, чем на обычную вещь, которую может себе позволить средний человек?

Pascal Mourgue – известный французский дизайнер современности – заметил: «Все, что мы делаем, — это работа над стилем жизни, над «бытием». Объект, как таковой, не очень интересен» [1]. Данная мысль характеризует состояние современного промышленного дизайна. Изменяясь под влиянием временных рамок, культурных ориентиров и потребностей людей, используя современные достижения технологий и материалов, промышленный дизайн стал средством «придания многогранного высокого качества объектам, процессам, услугам, системам на протяжении всех их жизненных циклов» [6].

Если посмотреть на многие модельные образцы, представленные на выставках и международных ярмарках, то с первого взгляда возникает мысль: «Да, это красивые вещи, но люди не будут их покупать, так как они не могут позволить себе такую дорогостоящую, не функциональную вещь, которую, в принципе, планируют использовать в быту». И если брать более широкое понятие доступности, то такие вещи с точки зрения технологии изготовления будет слишком дорого производить при сегодняшних уровнях производства и технологиях.

Все забыли, что используют часть механики, техники и технологии. Обратив внимание на эргономичность обычного стула, это может быть один из самых про-

стых стульев, но дизайнер учился и работал с профессионалами в области эргономики, чтобы сделать его максимально комфортным для пользования, не только чтобы сидеть на нем, но производить, сделать его максимально дешевым и экологически чистым, насколько это возможно, не нарушая целостности конструкции. Именно инженерия играет большую роль в промышленном дизайне, но меньше всего оценена с точки зрения всего пути от эскиза до изделия. Если посмотреть на компьютерные мышь и клавиатуру, которые используют все, то ни у кого не возникает мысли о том, что дизайнеры много часов учились, работали и проектировали внешний вид, технологию и производство, изучали эргономику, чтобы сделать их удобными в использовании и на это не давались кредиты, они не выставляли результаты на конкурсы, не выигрывали гранты. Для окончательного дизайна должен быть изготовлен один образец для завершения комплексных технологических чертежей, необходимых производителям как инструмента, так и оборудования, чтобы понять, какие вопросы ещё необходимо решить перед массовым производством изделия. Если рассматривать вариант самостоятельного изготовления дизайнерского изделия как студентом-выпускником, начинающим дизайнером, так и профессионалом, то сразу возникает проблема: как после завершения художественного процесса воплотить и претворить изделие в жизнь с точки зрения технического исполнения, так как результат будет либо сложен в изготовлении, либо дорог

Экспериментируя с бытовой и промышленной техникой, производственными установками и транспортом, мебелью и оборудованием, кухонной утварью, дизайнеры порой до неузнаваемости изменяют структурные и функциональные особенности объектов. При этом вектор направлен, прежде всего, на изменение предметного мира, и лишь потом на людей. Поэтому, если глубже рассматривать этот вопрос, то хороший дизайн должен выглядеть не только как искусство, но и должен быть хорошо спроектирован, чтобы использоваться в жизни и быть простым при произ-

водстве, чтобы сделать его доступным для обычного человека. Многие дизайнеры передают свои рисунки - эскизы сразу конструкторам для проработки деталей и окончательного чертежа. Для них дизайн – это искусство, потому что они не занимаются решением каких-либо технических проблем.

Е. Храмова, руководитель отдела развития бизнеса Product Development Group Smirnov Design, отмечает: «Очевидна тенденция обращения к дизайну на гораздо более ранних этапах разработки нового продукта – разительный контраст по сравнению с предыдущими бизнес-моделями, когда дизайнеру «спускали» заказ из отделов маркетинга, рекламы и технической поддержки проекта» [5]. Таким образом, формируется потребность в принципиально новом типе промышленного дизайнера - он должен уметь синтезировать и интерпретировать многочисленную информацию и на её основе разрабатывать единую дизайн-концепцию. С подготовкой такого уровня хорошо справляются в высших учебных заведениях Японии и Китая, Италии и Франции, где процесс обучения напрямую связан с инженерной сферой и реальным производством. Обучение же российских студентов направления «промышленный дизайн» пока еще не отвечает данному стандарту [4].

Основополагающей тенденцией современного промышленного дизайна является объединение на базе одного предприятия всех этапов по разработке и внедрению на рынок инновационного продукта. Данная особенность проявляется на примере крупных производственных компаний Китая. Руководствуясь принципом «Design Thinking» (дизайн мышление) производители могут в максимально короткие сроки разработать, презентовать и выпускать на мировой рынок принципиально новый эксклюзивный продукт. Такие компании могут предложить своим клиентам широкий спектр самых разнообразных услуг:

1. Дизайнеры определяют ценность отдельных продуктов и услуг, разрабатывают брендинговые стратегии, программы действия и управляют проектом по вне-

дрению в производство (и продажу) новинок.

2. Для лучшего понимания потребителя проводится тщательный анализ повседневной жизни людей, выявление тенденций культурного развития, видеоэтнография.

3. В процессе разработки инновационных продуктов определяется архитектура и дизайн изделия [5].

В качестве научной деятельности промышленный дизайн создаёт функциональные приоритеты в инжиниринге, сетевой кооперации, трансфере технологий и подготовке кадров. Дизайн как искусство поддерживает социальные приоритеты, выпуская инклюзивные инновации, используемые в интересах общества [1].

Если конкретизировать сущность современного промышленного дизайна, то можно определить, что он направлен на «комплексное формирование у различных объектов – изделий, сооружений и систем, таких функциональных свойств, которые обеспечивают высокое качество пользования объектами, и свойств культурных, обеспечивающих соответствие объектов эстетическим критериям, ценностным ориентациям людей, их этническим и другим социокультурным особенностям» [2, с.10].

Являясь синтезом художественного конструирования и эргономики, промышленный дизайн выступает как: процесс производства, научная деятельность, постоянный поиск инновации технологий и материалов искусства, так как «формальные, визуальные, эстетические и концептуальные элементы являются главными инструментами для данного направления проектной деятельности».

Подводя итоги, можно отметить, что основным направлением современного промышленного дизайна является использование специалиста-дизайнера как многофункционального координатора. Поэтому подготовка специалистов нового типа

должна осуществляться не только в учебных заведениях, но и на производстве, где они будут принимать активное участие на всех этапах художественно-производственного процесса. В связи с этим вся образовательная деятельность должна шагать в ногу со временем и включать в себя не только художественные дисциплины, но и широчайший спектр дисциплин по изучению инжиниринга, техники, технологий, а также психологии, маркетинга, рекламы и продвижения. Отдельным направлением обучения промышленных дизайнеров должно стать изучение современных материалов и новейших технологий производства.

Список литературы

1. Бурова Т.А., Воробьев А.В., Зараковский Г.М., Пенова И.В. *Возможный вклад дизайна в экономическое и социокультурное развитие России [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://rud.exdat.com/docs/index-815236.html>*
2. Задесенец Е.Е., Сергеева Г.К. *Дизайн-технологии создания и продвижения инновационной продукции на потребительский рынок. - М.: ВНИИТЭ, 2009.*
3. Крохалев В. С. *Инновации и традиции в культуре на примере деятельности промышленных дизайнеров // Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. - 2012. - № 5.*
4. Трунв Е. *Проблемы развития промышленного дизайна - [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://www.nakedart.ru/about-studio/articles/prom-design.html>*
5. Храмова Е. *Промышленный дизайн: в поисках productidentity - [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://www.executive.ru/knowledge/announcement/632886/>*
6. *Commission of the European Communities. Brussels. 7.4.2009 (Commission Staff Working Document: Design as driver of user-centered innovation). [Электронный ресурс] -Режим доступа. - URL: http://ec.europa.eu/enterprise/newsroom/cf/_getdocument.cfm?doc_id=2784*

УДК 621.74.045

СОЗДАНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ДИЗАЙН КОТОРЫХ ОСНОВАН НА ТОЧНОМ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ФОРМЫ И ФАКТУРЫ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Казачкова О.А., к.фил.н., доцент;
Кулишова Е.А., бакалавр

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Казачкова О.А., e-mail: kazachkova@mirea.ru

Анализ технологий, используемых для изготовления ювелирных изделий на основе природных объектов малых и крупных форм позволил выявить их возможности и недостатки. Приведена технология, позволяющая их избежать и наиболее точно передать форму и фактуру природных объектов — формообразование из металлической пластичной массы (на примере РМСЗ, фирма-производитель Mitsubishi Materials).

Ключевые слова: дизайн ювелирных изделий, природный объект, 3D-прототипирование, художественное литье металлической пластичной массы.

CREATING JEWELRY DESIGN BY MAKING REPLICAS OF NATURAL OBJECTS'S SHAPE AND TEXTURE

Kazachkova O.A.;
Kulichova E.A.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Казачкова О.А., e-mail: kazachkova@mirea.ru

Technologies for creating jewelry design on the base of big and small natural objects are analysed. Possibilities of each of technologies and shortcomings of them are revealed. Technology that allows to avoid them and make replicas of natural objects accurately conveying their shape and texture — using precious metal clay (PMСЗ by Mitsubishi Materials) for shaping .

Keywords: jewelery design, natural objects, 3d-prototyping, art casting, precious metal clay.

Один из главных трендов последних лет — тема флоры и фауны: огромное количество украшений выполнено в форме шишек, листьев, цветков и переплетенных ветвей. Растительная тема находит свое воплощение в эффектном дизайне, который может быть как традиционным — драгоценные камни, оформленные в виде цветка, так и современным простота форм, необычность в отделке. Современный мир ювелирных изделий претерпел кардинальные изменения. Сегодня на первом месте индивидуальность и оригинальность изделия, естественность и натуральность образов. Чем ближе мастер приближается к оригиналу, тем прекрасней и изысканней становится украшение. Этому способствует постоянное совершенствование технологий и появление новых материалов и способов их обработки.

На схеме (рис.1) представлен анализ технологий изготовления ювелирных изделий на основе природных материалов крупной и мелкой форм [1-6]. Природные объекты, в том числе листья и плоды, по размеру можно условно разделить на объекты крупной и мелкой формы. При этом к природным объектам мелкой формы относятся такие объекты, размеры которых соотносимы с ювелирными изделиями, то есть без изменения размера могут быть использованы в качестве их элементов (листья крыжовника, цветки ландыша, ягоды, шишки ольхи и т.д.). В качестве природных объектов крупных форм рассматриваются такие объекты, размеры которых в несколько раз превышают размеры ювелирного изделия в дизайне которого они используются (листья каштана, крупные фрукты и т.д.).

Для создания флористического дизайна ювелирных изделий используют гальванопластику, которая позволяет практически точно передать форму объекта, но имеет существенные минусы: рельеф поверхности сглаживается, наличие внутри изделия органического материала. Так как фактура природного материала точно не воспроизводится, то данную технологию не вошла в рассматриваемую схему (рис.1).

можно получать при литье по выжигаемым моделям, где моделью является сам

природный объект. Данная технология рассмотрена подробно в работах Хрущевой [3, 4]. Метод литья по выжигаемым моделям имеет ряд недостатков, среди которых дефекты литья: трещины различных размеров, поры, мелкие сквозные отверстия, не пролитые тонкие края растений, не пролитые части растений [3].

В настоящее время точные копии любых объектов получают 3D-сканированием. Добрыниной И.Г. было отмечено, что данная технология при сканировании природных объектов имеет ряд ограничений, основным из которых является необходимость довольно трудоемкой доработки 3D-моделей в редакторе (так как плохо передаются мелкие детали) [5]. Информация о форме поверхности объекта содержится в искажениях формы проецируемого изображения. При сканировании природного объекта малой формы (например, листочка растения) получаемая 3D-модель очень сложна и содержит избыточную информацию о координатах, с которыми зачастую отказываются корректно работать CAD-программы. Форма CAD-объектов, построенная по STL-данным со сканера, иногда значительно отличается от фактической поверхности, что объясняется применением при её построении функции математической аппроксимации, сглаживания и упрощения поверхности. Но при сканировании крупногабаритных объектов, например головы человека, получается более точная детализация объекта. К тому же для использования природных объектов крупных форм как элементов

ювелирных изделий потребуется уменьшение размера модели, что также повысит точность. Можно исследовать возможность сканирования объектов крупных форм (крупных листьев растений, животных и т.п.) с последующим уменьшением их в CAD-программах и печатью на 3D-принтерах. Таким же способом можно создавать 3D-модели по фотографиям.

Литьё по выплавляемым моделям, полученных 3D-печатью из воска, еще недавно рассматривалось как единственный недорогой и выгодный, с экономической точки зрения. В настоящее время в качестве одной из перспективных технологий рассматривается технология 3D-печати металлом. С 2015 г. выпускается FDM-принтер Mini Metal Maker для печати металлическими пластичными массами путем экструдирования тонких нитей из них. При достаточной для экструзии текучести, масса довольно плотная, поэтому хорошо сохраняет форму по мере накладывания слоев. После термической обработки напечатанные объекты можно сгибать, полировать и сверлить, они также отличаются хорошей износостойкостью. При использовании существующих сегодня пластичных металлических масс для распечатки ювелирных изделий отмечается излишняя шероховатость поверхности, что допустимо только в случае, если фактура самого объекта соответствующая. Недостатками данной технологии на данном этапе также является низкая точность распечаток и высокая усадка.

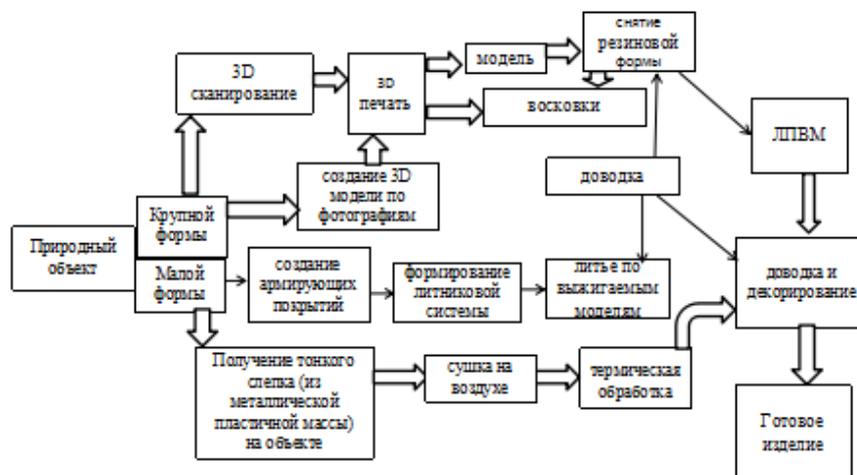


Рис.1. Схема: Анализ технологий изготовления ювелирных изделий.

Точные копии природных материалов

Рассмотренные 3D технологии изготовления ювелирных изделий по природным объектам в настоящее время находятся на стадии разработки: работают над созданием новых материалов (в том числе металлических паст), повышением точности сканирования объектов и качеством получаемой поверхности при печати.

Повторить созданный природой рельеф и структуру поверхности очень сложно, поэтому ювелирных изделий с не стилизованными флористическими элементами очень мало, а спроектированных с помощью 3D-программ практически нет.

Техника формообразования изделий из металлической пластичной массы на основе растительных материалов позволяет получать оригинальные ювелирные изделия. Для изготовления ювелирного изделия выбирается природный объект красивой формы - листья крыжовника и клена сахарного - с четко выраженными прожилками и рельефом и серебряная пластическая масса РМСЗ в виде пасты, производства корпорации Mitsubishi Materials (Япония).

Работа с металлической пластичной массой (в виде пасты) состоит из нескольких этапов: моделирование на природном объекте (первый слой - наносят разбавленную до жидкого состояния пасту РМСЗ на всю поверхность природного объекта с четко выраженной фактурой (рис.2); основной слой (рис.3) - наносят неразбавленную РМСЗ послойно до толщины заготовки 1 мм), сушка на воздухе до полного высыхания, обжиг, чистовая обработка и декорирование.

Стоит отметить, что до обжига заготовку, можно подвергать механической обработки (напильниками, надфилями, насадками для бормашины, шкурками), сверлить, для получения более сложных форм и дизайна их можно склеивать друг с другом разведенной массой, устанавливать фурнитуру, камни.

С развитием новых технологий появляются новые возможности получения ювелирных изделий в точности повторяющих природные формы и рельеф поверхности. Технологии 3D сканирования и 3D печати

постоянно совершенствуются, что в будущем позволит снизить погрешности STL-модели и повысить точность распечаток 3D моделей. Производители также работают над усовершенствованием состава пластичных металлических масс, над уменьшением процента усадки материала после обжига. Метод изготовления изделий из пластичных металлических масс позволяет использовать готовое изделие в качестве мастер-модели, для последующего тиражирования литьём по выплавляемым моделям.



Рис.2. Моделирование на объекте.



а) б)

Рис. 3. Готовые изделия: подвеска «Лист крыжовника», вес 3,79 г (а) и подвеска «Лист клена», вес 3,16 г (б) (работы автора).

Список литературы

1. Бойко Ю.А., Дрюкова А.Э., Казачкова О.А., Комиссарова Л.А., Лившиц В.Б., Навроцкий А.Г. Технология обработки материалов. М.:

Онто-Принт, 2016.

2. *Moldable mixture for use in the manufacturing of precious metal articles: пат. 5328775 США; заяв. 18.11.1992; выдан 12.07.1994. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.google.com.ua/patents/US5328775?hl=ru> (дата обращения 26.02.2017)*

3. Хрущева И.Г. Эксперименты по технологии отливок для дизайна ювелирных изделий на базе природных цветов и листьев // И.Г. Хрущёва, Р.М. Лобацкая. Дизайн. Теория и практика. 2012 г. №9. С. 77-87. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://enidtp.ru/ru_RU/588 (дата обращения 26.02.2017)

4. Хрущева И.Г. Создание ювелирных изделий способом вакуумного литья по природным моделям // И.Г. Хрущёва, Р.М. Лобацкая. Труды академии технической эстетики и дизайна. 2014 г. Т.2. №1. С. 36-43. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22457765> (дата обращения 26.02.2017)

5. Добрынина И.Г. Технологические приемы получения точных копий природных объектов в дизайне ювелирных изделий. Дизайн. Теория и практика. 2015 г. №22. С. 17-25. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://enidtp.ru/ru_RU/1676 (дата обращения 26.02.2017).

УДК 74.01/.09

**ЭКОДИЗАЙН, КАК
ЭФФЕКТИВНЫЙ
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ РЕДИЗАЙНА
ЗОН КОМФОРТНОГО
ПРЕБЫВАНИЯ В ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ (НА
ПРИМЕРЕ РЕКРЕАЦИЙ И
ТЕРРИТОРИЙ
ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ
В КАМПУСАХ МОСКОВСКОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА)**

**Дыгин А.В., студент магистратуры
курса
Голубкова Е.А., студентка магистратуры 1 курса
Казачкова О.А., к.фил.н., доцент;**

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Голубкова Е.А. e-mail: Solar_cat@inbox.ru

Экодизайн как средство создания комфортной зоны отдыха в учебных заведениях и как один из эффективных инструментов для проведения их редизайна (на примере

рекреационных зон, территорий кафе и столовых в кампусах Московского технологического университета).

Ключевые слова: Редизайн, экодизайн, рекреация, проектирование, цветовая гамма.

**ECODESIGN AS THE EFFECTIVE
TOOL FOR CARRYING OUT
REDESIGN OF ZONES OF
COMFORTABLE STAY IN
HIGHER EDUCATIONAL
INSTITUTIONS (ON THE
EXAMPLE OF RECREATIONS
AND TERRITORIES OF PUBLIC
CATERING IN CAMPUSES OF
THE MOSCOW
TECHNOLOGICAL UNIVERSITY)**

**Dygin A. V.,
Golubkova E.A.,
Kazachkova O.A.**

Moscow technological university. Physico-technological institute

@avtor for correspondence: Golubkova E. A. e-mail: Solar_cat@inbox.ru

Ecodesign as a tool for a comfortable recreation area in educational institutions and as one of effective tools for carrying out their redesign (on the example of recreational zones, territories of cafe and dining rooms in campuses of the Moscow technological university).

Keywords: Redesign, ecodesign, recreation, design, color scale.

Со временем все меняется, в том числе и дизайн общественных государственных учреждений: библиотек, поликлиник, больниц и учебных заведений. Основные тенденции, которым следуют, проводя редизайн - это удобство и комфортность среды для всех (основы универсального дизайна), в том числе комфортной психологически, экологичной среды (основы экодизайна). Особенно внимание уделяется зонам отдыха. Организуются зоны комфорта с местами для отдыха, дизайн которых удовлетворяет основным аспектам экодизайна, при этом основное внимание уделяется связи психологического и физиологического состояния человека и окружающего его пространства. Не менее важными при этом являются и органолептические факторы: мягкая удобная мебель, приятная тихая музыка, кондиционеры (иногда добавляются элементы ароматерапии), кулеры с холодной и горячей водой, аппараты с продуктами питания. Так сегодня выглядят или пытаются этому соответствовать большинство общественных учреждений города Москвы, в основном этому начали уделять внимание в библиотеках, больницах и поликлиниках. Предприняты попытки реорганизации в данном направлении и пространств учебных заведений. Вопросу зон комфортного пребывания в высших учебных заведениях посвящено и наше исследование, также предпринята попытка редизайна зон отдыха на примере рекреаций и территорий общественного питания в кампусах Московского технологического университета.

Сложность сочетания разных стилей разноплановых помещений при минимальном влиянии на их дизайн и ограничении капитальных вложений обуславливает логичность внесения локальных изменений. Экодизайн помещений, базирующийся на эффективном использовании натуральных материалов (например, натурального камня, бамбукового тростника, древесины и элементов озеленения), гармонично сочетается с концепцией мини-

мализма, хайтека, или любого другого современного стиля. «Экодизайн» или иными словами «зеленый дизайн» – «Environmental sustainable design» (с англ. sustainable – приемлемый, обоснованный; environmental – относящийся к окружающей среде) – это дизайн, который учитывает интересы окружающей среды. Слова «Sustainable design» можно перевести, как «зеленый дизайн» или «экологически рациональное проектирование» [1].

Миссия экодизайна в проектировании предметно-пространственной среды состоит, прежде всего, в обеспечении неразрывности социальных, утилитарно-функциональных, экологических и эстетических требований к «второй природе», органического единства искусства и расчета на основе объективных законов творческой проектной деятельности, в исключении конфликта природной и искусственной среды человека» [2]. Таким образом, экодизайн — это проектная деятельность, включающая комплексность подход к задачам проектирования (системное проектирование); сочетание в проектировании технико-экономических, экологических и иных критериев эффективности и эстетических требований (художественное конструирование); конечная ориентация на человека в совокупности его физиологических (эргономических) и духовных характеристик, разнообразных потребностей [3].

Проектирование — это целенаправленная деятельность, которая обладает последовательностью процедур, ведущих к достижению эффективных решений.

Первым этапом работы над дизайном помещения является изучение его особенностей, целостности уже существующего дизайна, в данном случае в учебном учреждении, и влияние его на психику человека. Проводится анализ преимущественно утилитарно-полезных функций среды, ее комфортности, целесообразности, удобства пользования, отмечаются в том числе и необходимые санитарно-гигиенические условия, и экологическая безопасность. Обращается внимание на возможное символическое значение среды для обучающихся, «выявляются ее знаковые, символические функции, а сама она рассматри-

вается как символ и воплощенные определенных социально-культурных ожиданий и ценностей» [4]. Необходимо изучение жизнедеятельности человека в среде данного вуза, в данном случае жизнедеятельность студентов, во всех ее проявлениях, в том числе возрастных и социальных.

Одной из проблем учебных заведений, являются тяжелые физические и психоэмоциональные нагрузки, которые приводят к отрицательному состоянию учащихся и влекущие за собой в последствии серьезные проблемы со здоровьем. Для того, чтобы избежать и/или облегчить тяжелое психологическое давление, требуется уделять особенное внимание цветовому дизайну зон комфортного пребывания, опираясь на законы влияния цвета на эмоции и психологическое состояние человека. Отмечается, что цветовые гармонии с одной стороны отвечают за те или иные сочетания цветов или цветовых множеств, с другой стороны, немаловажно разделение цветов на тона. Эти группы действуют на физиологические функции и психику противоположно. Также необходимо учитывать то, что длительное восприятие одного цвета или группы цветов приводит к цветовому утомлению, и действия цветов сменяются на противоположное. Поэтому стоит обращать внимание на нейтральную палитру цветов, которая начинает относиться к тому или иному тону, только при воздействии другого цвета.

Для повышения функциональности помещений, их полезности, для того чтобы они успокаивали и умиротворяли психику учащихся и сохраняли их нервную систему, при выборе цветового дизайна помещения, стоит обратить внимание на натуральные (природные) цвета, которые чаще всего встречаются в окружающей среде. Одним из таких цветов является зеленый. В природе он встречается чаще других, и поэтому хорошо воспринимается в интерьере, делая его более естественным, усиливая связь человека с природой, а в отношении цветовой терапии считается нейтральным цветом. На эмоционально-психологическое состояние человека зеленый цвет оказывает следующее влияние:

успокаивает и положительно сказывается на работе мозга и концентрации внимания, благотворно влияет на зрение, даёт ощущение полной безопасности, помогает избавиться от тревожности и волнений, позволяет избавиться от плохих мыслей и негативных эмоций, повышает аппетит.

Целесообразно в нашем случае остановить выбор именно на этом цвете и его оттенках, как цвете наиболее предпочтительном для общественных мест, где эмоциональная нагрузка нестабильна и люди испытывают большое количество стресса. В том числе учитывая то, что именно зелёный цвет является характерной чертой экологического дизайна, - вида проектной деятельности, «имеющий целью достижение гармоничного равновесия взаимодействия человека и природы»[5].

Другими словами, экодизайн призван создавать эмоционально-социальную среду для личностных коммуникаций и деятельности индивидуума, с элементами единства с природой.

Но выбор цветовой гаммы проекта - это только начало в обустройстве помещения. Для того, чтобы воплотить в жизнь «зеленый дизайн» стоит обращать внимание на выбор материалов. Поэтому требуется изначально ознакомиться с действующими на сегодняшний день требованиями служб Рособнадзора и Роспотребнадзора, касающимися использования материалов в учебных заведениях: высокое качество, подтвержденное сертификатами; экологическая безопасность материалов; соответствие нормам и требованиям, представленным санитарно-эпидемиологическими службами; устойчивость к износу; отсутствие запахов; соответствие требованиям пожарной безопасности; прочность; цветовая гамма, располагающая к учебе; большая скорость высыхания смесей, растворов и красок. Эти, на первый взгляд общие требования, являются отправной точкой для выбора необходимых материалов. Именно такие на первый взгляд поверхностные критерии позволяют отсеивать 1/3 предоставленных на рынке товаров. Поэтому, одними из самых рекомендуемых материалов остаются: лакокрасочные материалы (шпаклевки, грунтовки, штукатурки, крас-

ки), обои, вагонка, природные декоративные облицовочные материалы, древесина, ламинат, паркет или линолеум.

Исследования британских ученых показали, что наилучшим катализатором успешности для учащихся является отделка учебных помещений деревом. Натуральная древесина источает приятный аромат, пары которого улучшают кровообращение и способствуют мыслительному процессу, а также увеличивают объемы информации и позволяют более эффективно её усвоить. В отличие от других материалов, дерево является недорогим и доступным материалом, которое может существенно уменьшить загрязненность помещения электромагнитными волнами, исходящими от всей современной техники. Что еще раз доказывает эффективность и полезность «зеленого дизайна» для человеческого организма, как в психологическом, так и в физическом плане. Стоит обратить внимание на использование деревянной мебели. Мебель из дерева придает помещению природный микроклимат и создает весьма благоприятную для человека эстетическую обстановку. Поэтому очень рационально создавать симбиозы деревянных основ с электрическими розетками, таких, например, как: кухонная скамья с отделкой для подзарядки гаджетов.

Но не обязательно, чтобы весь дизайн помещения состоял только из деревянной мебели. Можно смело размещать в интерьере металлические стулья или столы, использовать светильники из стекла или керамики. Большое количество света — это еще один положительный фактор для психики человека, степень освещения рабочего места может - повысить или понизить производительность труда на 20%. Поэтому искусственное освещение должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.007.13-88, СНиП II-4-79.

Одним из ключевых моментов экодизайна является озеленение. Всё больше и больше популярно вертикальное озеленение, которое становится с каждым годом все более востребовано, в связи с тем, что большие по размеру вертикальные озеленительные конструкции не занимают много площади. Плюсом такого озеленения в

учебном помещении может быть: поглощение пыли и вредных веществ, сохранение влажности, безопасность эксплуатации и простота в уходе.

Выбрав концепцию дизайна помещения и разработав её дизайн проводят расчёт срока выполнения работ и разрабатывают план их выполнения используя программу для проектирования Prodict. Данная программа помогает также и следить за выполнением проекта.

С учетом вышеизложенного нами был разработан дизайн- проект рекреационных зон и территорий общественного питания в кампусах Московского технологического университета. Главным преимуществом проекта является то, что его реализация может быть проведена в кратчайшие сроки и с минимальными капитальными вложениями. Это обусловлено в том числе тем, что возможно проводить реконструкцию, внося только элементы разработанного дизайна. Актуальность разработанного дизайна также обусловлена возможностью его применения для редизайна аналогичных помещений.

Список литературы

1. *GreenEvolution Зеленая энциклопедия [эл. ресурс] — Режим доступа: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/zelenyj-ekologicheskij-dizajn/>.*
2. *И. А. Сосунова. Экодизайн в России: социально-технологические аспекты и проблемы развития. Всероссийский научно*исследовательский институт технической эстетики, Москва, Eco Design In Russia: Socio Technological Aspects and Problems of Development I. A. Sosunova Russian Research Institute for Industrial Design http://www.heraldrsias.ru/download/articles/13_*
3. *Муниципальное бюджетное учреждение культуры «Межпоселенческая центральная районная библиотека» [эл. Ресурс] – режим доступа: <http://mcrb-kalt.ru/ukaz-o-provedenii-v-2017-godu-v-rossijskoj-federatsii-goda-ekologii/> ;*
4. *Чембаров Е.А., Белова И.Л. Экодизайн, как новое направление в дизайне. <http://vestnik-rzi.ru/2014/04/1632>*
5. *Уваров А.В. Экологический дизайн: опыт исследования процессов художественного проектирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ис-*

кустествоведения, г. Москва
<https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fdlib.rsl.ru%2Floader%2Fview%2F01004600131%3Fget%3Dpdf&name=01004600131%3Fget%3Dpdf&page=1&lang=ru&c=58ceb52fd214>
6. Теоретические аспекты экодизайна урбанизированной среды. Камерилова Г.С. Де-

мидова Н.Н. ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный педагогический университет им. К.Минина». Электронный научный журнал *Современные проблемы науки и образования* <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13155>

УДК 74.01/.09

ТВОРЧЕСТВО МАУРИЦА КОРНЕЛИСА ЭШЕРА В РАБОТАХ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗАЙНЕРОВ

Зябнева О.А., к.т.н. старший преподаватель;
Глазунов М. К., студент бакалавриата 4 курса

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Зябнева О.А.
zyabneva_o@mirea.ru

Статья посвящена творчеству Эшера Маурица Корнелиса и работам наших современников, которые им вдохновлялись. Целью этой работы является показать, что его творчество живо и ни сколько не утратило свою актуальность, а также раскрыть огромное разнообразие возможностей и сферы применения рекурсий, которое встает перед дизайнером, применяющим этот стиль на практике.

Ключевые слова: Эшер Мауриц Корнелис, современный дизайн, орнамент.

CREATIVITY ESCHER IN THE WORKS OF MODERN DESIGNERS

Zyabneva O.A.;
Glazunov M.K.

Moscow technological university. Physico-technological institute

Corresponding author e-mail: Zyabneva O.A. zyabneva_o@mirea.ru

This article is devoted to the work of Escher MauritsCornelis and the works of our contemporaries, who inspired them. The purpose of this work is to show that his creativity is alive and has not lost its relevance, as well as to reveal a huge variety of possibilities and scope of recursion that confronts the designer applying this style in practice.

Key words: AsherMauriceCornelis, modern design, ornament.

Эшер Мауриц Корнелис голландский художник, не поддающийся классификации, любимец математиков, физиков и людей с логическим складом ума за крайне нестандартное творчество. Первый из художников, кто смог воплотить на листе такие сложные понятия, как бесконечность, рекурсию, перевёл математические абстрактные конструкции на язык графики. Популярность Эшера М.К. велика, мотивы его творчества не редко встречаются в оформлении интерьеров, дизайне одежды и аксессуаров и даже в архитектуре.

Рассмотрим некоторые из ссылок к творчеству Эшера М.К. в работах современных дизайнеров. Одной из наиболее популярных тем для них стали орнаменты. Один из примеров использования мотивов творчества Эшера М.К. – это уникальная модель часов «Dove» – драгоценное ювелирное изделие, выручка от которого пошла на благотворительные цели, выпущена компанией Vacheron Konstantin в 2011 году. На рисунке 1 представлена гравюра «Метаморфозы», вдохновившая художников на создание дизайна часов.

Компания Vacheron Konstantin решила в точности повторить фрагмент гравюры. Циферблат выполнен в технике гравировки, декорирован выемчатыми прозрачной и опалесцирующими эмальями, одна из

птиц имеет закрепку бриллиантовых вставок. Птица с закрепленными бриллиантовыми вставками служит акцентом, она расположена непосредственно под логотипом фирмы и создает центр композиции в круге.



Рис.1. Гравюра «Метаморфозы». Эшер М.К. [3]



Рис.2. Часы компании Vacheron Constantin «Dove» [4]

Еще один наглядный пример это отсылка к гравюре «Спускайся и поднимаясь» является отель Two Seasons в норвежском Ставангере.

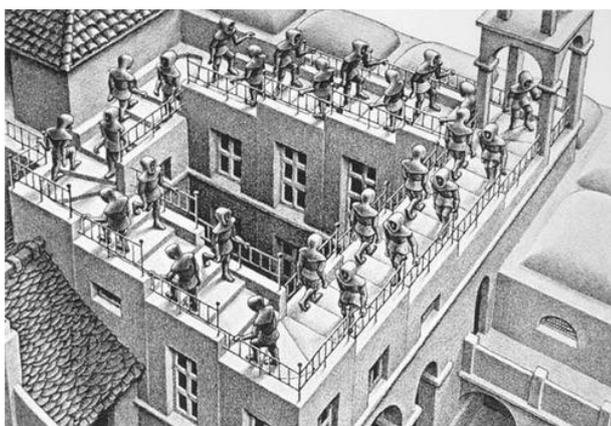


Рис.3. Гравюра «Спускайся и поднимаясь» Эшер М.К. [3]

Здесь архитектор попытался передать рекурсию. Как можно заметить, крыша отеля не имеет ступенек, в отличии от гравюры, так же из-за сильного перепада вы-

сот создаётся ощущение искривления пространства и заикленности, крыша то опускается, то поднимается. Это показывает, что архитектор смог приблизиться к гравюре «Спускайся и поднимаясь» на столько, насколько это возможно в архитектуре.



Рис.4. Two Seasons [5]

Так же в одном из модных бутиков в Шанхае, дизайнеры не скрывают, что вдохновлялись творчеством Эшера М.К. Как видно из фотографии тут тоже пытались повторить рекурсию из гравюр Эшера М.К. Дизайнер очень удачно спланировал помещение, благодаря посаженным на стенах и потолке манекенах. Из за расстояния между ними и вездесущими ступенями, становится непонятно где на самом деле пол и потолок, благодаря этому и возникает эффект искривления пространства как и на знаменитых гравюрах художника.



Рис.5. Бутик одежды Alter (6)

И всё это, далеко не все работы современных дизайнеров, связанные с творчеством великого художника.

Таким образом, приходим к выводу, что творчество Эшера М.К. несколько не теряет свою актуальность в наши дни, а даже наоборот, очень современно и востребованно в наши дни. Орнаментальные композиции разработанные Эшером М.К. возможно к использованию в современном дизайне.

Список литературы

1. Мауриц Эшер: графика / Мауриц Эшер. перевод Ильф Александра. М.: Арт-Родник, 2009. с. 78.
2. Выставка гравюр знаменитого голландского художника в ММОМА на Петровке / АрхивГрафика / [фото из архива]
3. Гравюра «Спускаясь и поднимаюсь»

[Электронный ресурс] Режим доступа: <http://https://daily.afisha.ru/archive/vozduh/art/ot-fraktala-do-rekursii-kratkiy-kurs-po-miru-mkeshera/> (дата обращения 16.03.2017)

4. Эшер Мауриц Корнелис [Электронный ресурс] Режим доступа:

<http://lurkmore.to/%D0%AD%D1%88%D0%B5%D1%80> (дата обращения 18.03.2017)

5. Two Seasons [Электронный ресурс] Режим доступа:

http://journal.esco.co.ua/cities/2013_9/art197.html (дата обращения 10.03.2017)

6. Бутик одежды Alter [Электронный ресурс] Режим доступа:

<http://www.archplatforma.ru/index.php?act=1&catg=34&nwid=966> (дата обращения 10.03.2017)

УДК 74.01/09

ЭСТЕТИКА РЕЛЬЕФНО-ТОЧЕЧНОГО ШРИФТА БРАЙЛЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМЕ ОРНАМЕНТАЛЬНОГО ОФОРМЛЕНИЯ

Зябнева О.А., к.т.н. старший преподаватель;

Братищева Ю.И., студентка 4-го курса

Физико-технологический институт Московский Технологический Университет

© Автор для переписки: Зябнева О.А., e-mail: zyabneva_o@mirea.ru

В статье рассматривается вопрос о декоративных качествах шрифта Брайля. Предлагаются способы применения рельефно-точечного шрифта Брайля в качестве орнаментального оформления окружающей среды.

Ключевые слова, шрифт Брайля, орнамент, узор, декорирование, универсальный дизайн.

THE AESTHETICS OF THE RELIEF-DOT BRAILLE AND ITS

USE IN THE ORNAMENTAL DESIGN

Zyabneva O.A.;
Bratischeva J.I.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: e-mail: bratisheva.yulya@mail.ru

In article the question of decorative qualities of a font of Braille is considered. Methods of application of a relief and dot font of Braille as ornamental registration of the environment are offered.

Keywords: Braille's font, ornament, pattern, dressing, universal design.

В настоящее время существует много культурных достижений в области универсального дизайна. Одним из таких достижений можно считать рельефно-точечный шрифт Брайля, который был специально разработан для слабовидящих людей в 1824 году. Текст Брайля состоит из символов, каждый из которых представляют собой три ряда выпуклых точек. Этот шрифт стал универсальным способом познания и коммуникации для слабовидящих людей.

В настоящее время мы не редко можем увидеть в общественных учреждениях ярко-желтые таблички с текстом набранным шрифтом Брайля. Однако, для большинства людей текст не знаком и не представляет интереса, его эстетические качества скрыты за формой оформления текста, адаптированного только для слабовидящих людей.

В нашей статье мы предлагаем рассмотреть эстетические качества самого шрифта, его ритмичность и лаконичную графику. В этой системе шрифт Брайля может восприниматься как простой геометрический узор, со своим ритмом и смысловой нагрузкой.

Такие орнаменты применимы в декоративном оформлении интерьера и на любых предметах, может быть скрыта любая текстовая информация. На рисунке 1 представлен образец дизайна утилитарного изделия (кружки) с использованием шрифта Брайля в декоративном оформлении.



Рис.1. Применение шрифта Брайля на предмете обихода.

Декоративное оформление кружки - универсально. Информация, содержащаяся на ней, подходит для людей с любым зрением. Такое изделие - это забота о психологическом комфорте человека. Для сла-

бовидящего человека - это источник позитивной информации. Для обычного человека эстетика такого предмета вызывает положительные зрительные и тактильные восприятия. Каждый человек рефлекторно, будет соприкасаться с надписями, знакомится с методикой осязательного восприятия информации. На рисунке 2 шрифт Брайля используется в качестве орнамента на панелях кухонной мебели.



Рис.2. Декоративное оформление кухонной мебели, с помощью шрифта Брайля.

Также на рисунках 3, 4, можно увидеть, как такое декоративное оформление будет смотреться в интерьере комнаты. Где в данном случае дизайнер намеренно не включил графический шрифт, оставляя в этой работе загадку, постичь которую доступно любому современному человеку.



Рис.3. Декоративное оформление дверей шкафа, с помощью шрифта Брайля.



Рис.4. Декоративная надпись для прикроватной тумбы «Умеренность должна быть во всем – включая умеренность».

Таким образом предложено расширить применение шрифта Брайля в качестве орнаментального оформления пространства. Акцентируя внимание на эстетике шрифта, мы в жизнь обычных людей включили культуру слабовидящих людей, что является важным инструментом способствующим психологической адаптации людей с ограниченными возможностями в социуме.

Подобная методика заимствований сближению мировоззрений и общих ощущений разных групп людей.

Список литературы

1. Персональный сайт. Шрифт Брайля - <http://specposobie.narod.ru/index/0-27> (дата обращения: 14.11.2016).
2. Люди с ограниченными возможностями и особыми потребностями- http://www.tepka.ru/Obschestvoznanie_5/5.html (дата обращения: 14.11.2016).
3. Люди с ограниченными возможностями. Помощь людям с ограниченными возможностями. - [http://vse-temu.org/new-lyudi-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami.html](http://vse-temu.org/new-lyudi-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami-pomoshh-lyudyam-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami.html) (дата обращения: 14.11.2016).
7. Зябнева О.А., Братищева Ю.И. Применение рельефно-точечного шрифта Брайля в системе орнаментального оформления / Сборник тезисов международной конференции Универсальный дизайн. 2016 МИРЭА. Москва. - с. 76-77

УДК 7.05

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕЛЛАЖ

Берестнев А.А., студент кафедры компьютерного дизайна;

Грязнова П.В., студент кафедры компьютерного дизайна;

Болдырева Г.А., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Разработан стеллаж для хранения книг и других предметов, оснащенный специальным механизмом облегчающим его использование.

Ключевые слова: универсальный дизайн, мебель, эргономика, маломобильные группы населения.

MULTIPURPOSE STILLAGE

Berestnev A.A.;
Gryaznova P.V.;
Boldyreva G.A.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© Correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

A stillage for storing books and other objects is proposed, equipped with a special mechanism makes it easier to use.

Keywords: universal design, furniture, ergonomics, low mobility groups, stillage.

Выбор темы данного проекта важен по ряду параметров. Он не только облегчает использование предметов мебели, интерьера и экстерьера, но и оптимизирует ис-

пользование путем расширения спектра доступности. Иными словами, мы добиваемся максимума возможностей, минимизируя затраты на производство.

Разрабатываемый объект ориентирован на людей, у которых возникают трудности с доступом к верхним или же, что реже, нижним полкам. Всем приходилось хранить в приложении к книжному шкафу стремянку или просто использовать стул. Этот проект направлен на решение этих проблем. Разрешить данную ситуацию мы планируем приданием полкам подвижности и возможности пользователям легко изменять высоту той или иной полки, взаимодействуя с объектом.

Целью проектирования объекта является создание нового стеллажа на основе уже существующих с изменением его параметров и характеристик, добавлением функции и, тем самым, решением поставленных проблем. Для непосредственного воплощения в жизнь готового изделия необходимо:

- разработать стандарты и унифицировать размерные параметры стеллажа;
- разработать чертежи механизма, приводящего полки в движение, основываясь на предложенном принципе работы;
- рассчитать востребованную прочность и надежность элементов конструкции;
- исходя из расчетов, подобрать материалы для всех элементов конструкции;

- разработать внешнее оформление объекта, добавлением элементов для повышения эргономичности, исходя из выбранных материалов;

Базисом для разработки объекта могут служить различного рода стеллажи, передвижные, архивные, сборные и разборные. Стоит учесть возможность установки такого рода стеллажа в специальные полости в стенах комнат, если таковые имеются и учитываются при проектировке жилых помещений. Аналогами могут выступать стеллажи, в чьи функции входит возможность изменять параметры полок (удлинение, расширение путем раздвижения), ряд архивных стеллажей, которые примыкают друг к другу для экономии пространства или же цилиндрические витрины, в основе движения которых заложено вращение вокруг своей оси.

Главной зависимостью форм и функций объекта является принцип действия механизма, аналогией к которому может служить лифт или конвейерная лента, а к полкам - лопасти водяной мельницы и кабинки колеса обозрения. На рисунке 1 представлен стилизованный планшет [1] к работе.

На рисунке 2 представлена выполненная разработка, с учетом эргономических и технических решений.



Рис. 1. Стилизованный планшет.



Рис. 2. Проект универсального стеллажа

Представленный объект сориентирован на все возрастные группы, использующие книги и не только. Основным принципом оптимизации использования разрабатываемого стеллажа является усложнение его конструкции, которое, в свою очередь, не только допускает использование его мало-мобильными группами населения, но и да-

ет возможность расширить объемы хранения, в данном случае книг, в одном стеллаже.

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухта М.С. и др. Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с.

УДК 7.05

ЭРГОНОМИКА КУХНИ С УЧЕТОМ ПРИНЦИПОВ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДИЗАЙНА

Галицкая О.М., студент кафедры компьютерного дизайна;

Герасимова Н., студент кафедры компьютерного дизайна;

Дедик А., студент кафедры компьютерного дизайна;

Кизь С., студент кафедры компьютерного дизайна;

Таращанский Г., студент кафедры компьютерного дизайна

Физико-технологический институт Москов-

ского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Работа направлена на создание проекта кухни, удобной для использования различными категориями населения, включая инвалидов – колясочников. При проектировании учтены принципы универсального дизайна.

Ключевые слова: универсальный дизайн, интерьер, эргономика, эстетичность пространства.

KITCHEN ERGONOMICS UNDER THE PRINCIPLES OF UNIVERSAL DESIGN

Galitskaya O.M.;
Gerasimova N.;
Dedik A.;

Kiz S.; Tarashanskiy G.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

@correspondence author Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

The work is aimed at creating a kitchen design that is convenient for use by various categories of the people, including wheelchair users. When designing, the principles of universal design are taken into consideration.

Keywords: universal design, interior, ergonomics, aesthetics of space

В данном проекте наша команда попыталась разработать удобное пространство кухни для маломобильного жителя. С условием работоспособности верхних конечностей и относительной самостоятельности индивида.

Идея состоит в том, чтобы сохранить полную функциональность кухонного оборудования, при этом необходимо расположить его в доступности для человека с вышеуказанными ограничениями подвижности, в соответствии с идеями эргономики и эстетичности пространства [1].

Проект подразумевает использование проектов-прототипов в качестве основы; реально существующую планировку кухни для редактирования в целях проекта; использование наиболее подходящих (по мнению участников проекта) существующих технологий, используемых для достижения схожих целей, в купе с собственными концепциями, идеями и наработками [2].

Цель проекта. Разработать проект интерьера пространства, используемого в качестве кухни и столовой, в соответствии с понятием универсального дизайна, для инвалида-колясочника.

Идеи и тезисы для проекта:

1. Высота рабочих поверхностей не должна превышать 85 сантиметров от пола, но не должна быть ниже 60. Особенно это касается столов и столешниц, за которыми должен будет сидеть человек. Возможно использование систем регулировки

высоты (как и для полок), но это может оказаться недоступно или просто слишком дорого

2. Все ящики, ручки дверец, створок, продукты и инвентарь должны находиться в пределах доступности для этого человека. Т.е. не должно быть слишком высоких (и глубоких) полок и ящиков, а так же ручки для них и предметы на/в них не должны быть слишком низко.

3. Желательно расположить все предметы довольно близко друг к другу, чтобы человек мог дотянуться к ним, находясь в одном и том же месте, и минимизировать перемещение за тем или иным продуктом или предметом, для облегчения выполнения повседневных задач: помыть посуду, вытереть стол и выбросить мусор, порезать хлеб и т.д.

4. Как было указано выше, рекомендуется избегать использования глубоких полок, некоторые элементы можно поместить на вращающихся вешалках/столешницах, дабы было легче добраться до дальних предметов/продуктов

5. Желательно всю электронику и бытовую технику перевести под систему удаленного управления (например, система «Умный Дом» или как минимум единый пульт управления/приложение на гаджет) для легкого и удобного регулирования и управления освещением, радио, плитой и вытяжкой, отоплением и т.д.

6. Постараться минимизировать усилия при уборке после приготовления и потребления пищи, например включением в систему измельчителя мусора в раковине

7. Пространство должно быть достаточно свободным, что бы человек на коляске мог без особых усилий въехать и выехать в/из помещения, спокойно развернуться и подъехать в желаемую точку пространства для выполнения определенной цели. Таким образом, рекомендуется отказаться от лишней мебели, или сделать её легко перемещаемой, убираемой с пути или просто складываемой в случае ненадобности

8. Несмотря на приспособление пространства для использования его маломобильным человеком, изменения не должны мешать успешно им пользоваться обычно-му человеку.



Рис. 4. Проект кухни с учетом эргономики

Перечисленные требования нашли отражение в проекте. На рисунке 1 представлен план помещения. Выделены зоны готовки и хранения (рисунок 2). Использование вращающихся и выдвижных полок, вешалок для приборов, посуды и продуктов помогут в достижении доступности оных. Не будет надобности тянуться до глубочайшей зоны полки, чтобы достать дальнюю пачку с мукой, когда она находится на подвижной базе и её легче подвинуть к себе.

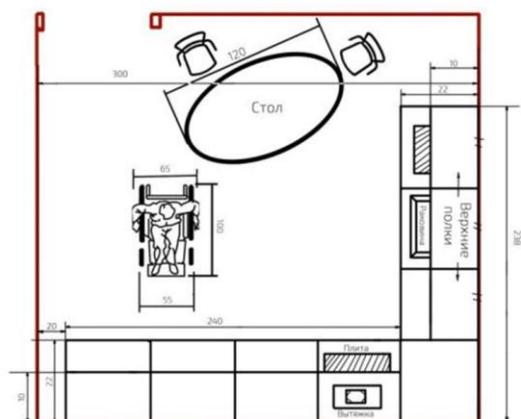


Рис. 1. План кухни и расположение мебели

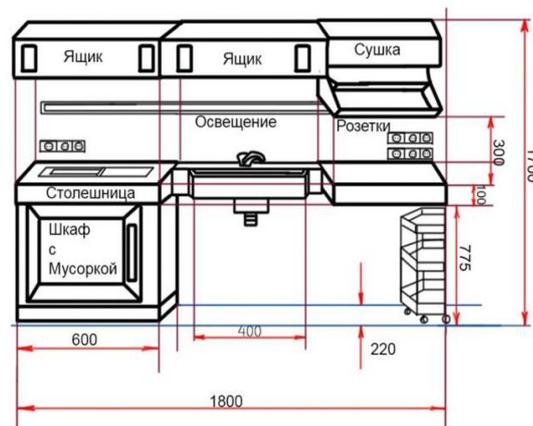


Рис. 2. Вид на зону хранения и доступ к рабочему столу

Найденные дизайнерские решения отражены на итоговом плакате – представлении (рисунок 4).

Таким образом, предложен проект интерьера кухни, учитывающий эргономику для различных групп людей.

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухня М.С. и др. Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с.
2. Кухня М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л. и др. Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 213 с.

УДК 7.05

ДИЗАЙН ОСТАНОВКИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Дикая А.В., студент кафедры компьютерного дизайна;

Мондзелевская О.В., студент кафедры компьютерного дизайна;

Матевосян А.А., студент кафедры компьютерного дизайна;

Терновая А.А., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

В работе выполнен проект остановки общественного транспорта с учетом требований универсального дизайна. Подобрана цветовая гамма и предложены условия комфортного ожидания транспорта.

Ключевые слова: остановка, транспорт, универсальный дизайн

DESIGN OF PUBLIC TRANSPORT STOP

Dikaya A.V.;

Mondzelevskaya O.V.;

Matevosyan A.A.;

Ternovaya A.A.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

The project of a stop of public transport under requirements of universal design is executed. Color scale is picked up and terms of comfortable waiting of transport are offered.

Keywords: stop, transport, universal design

Городской транспорт – это остросоциальная тема. Нас как пассажиров общественного транспорта эта тема очень волнует

и близка нам. Современные остановки имеют ряд недостатков, особенно они видны людям с ограниченными возможностями, в данном проекте предлагается свой вариант решения этой проблемы. Этот проект направлен на возможность комфортного пользования остановками общественного транспорта людям с ограниченными возможностями. Это позволит каждый день им чувствовать себя более свободно в традиционно сложных для себя условиях передвижения по городу.

Цель работы: спроектировать комфортабельную остановку универсального типа.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

Разработать остановку общественного транспорта, защищающую от погодных условий.

Оснастить остановку общественного транспорта обогревательным элементом.

Добавить интерактивное табло с информацией об автобусах, управляемое сенсором, а также кнопочное управление со шрифтом Брайля, сопровождаемое звуковыми сообщениями [1]. А также кнопкой объявления приходящего транспорта.

Установить камеру видеонаблюдения.

Разместить онлайн-табло с оповещением о прибытии общественного транспорта. Сопровождаемое звуковыми сообщениями.

Разместить название остановки на козырьке остановки.

Оснастить остановки общественного транспорта тактильной плиткой

Разместить на территории остановки мусорный бак.

За основу взят стандартный тип остановки городского транспорта города Москвы. Размер остановки 4,0 x 1,2 x 2,7 м.

На рисунке 1 представлен выполненный проект остановки.

На остановке общественного транспорта имеется тактильная плитка, интерактивная панель с большими кнопками и надписями шрифтом Брайля, сопровождающаяся звуковыми сообщениями. И онлайн-табло, показывающее сколько времени осталось до прибытия автобуса, оно так же сопровождается. На передней части козырька

остановочного пункта расположено название остановки для удобства прочтения. Специально сделан выдвинутый вперед козырек для защиты от погодных условий при пользовании интерактивной панелью. Сама интерактивная панель расположена на высоте 75 см от брусчатого покрытия, что дает возможность удобного использования. Внутри остановки расположен обогревательный элемент и камера. Тем самым зимой пассажирам остановочного пункта не будет холодно, а камера видеонаблюдения будет одним из элемента противовандальной системы. Форма крыши остановки позволяет не скапливать зимой снег. Скамейка перенесена в правый угол для удобства размещения на остановке ин-

валидов в креслах-колясках. Имеется кнопка для объявления приходящих автобусов, для удобства слабовидящих или незрячих людей, стеклянные боковины остановки помечены желтой волнистой лентой на высоте 1,5 метра.

В результате работы спроектирована комфортабельная остановка универсального типа, защищенная от погодных условий. Остановка оснащена обогревательным элементом, интерактивным табло с информацией об автобусах, таблицей Брайля, для людей с ограниченными возможностями, камерой наблюдения, онлайн-табло с оповещением о прибытии общественного транспорта, сопровождающееся звуковым сообщением.

Проект по универсальному дизайну «Остановка общественного транспорта»



Рис. 1. Проект остановки общественного транспорта

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухта М.С. и др. *Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с.*
 2. Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л.

и др. *Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 213 с.*

УДК 749.2

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ДИЗАЙНА ИНТЕРЬЕРНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Дудкина Д.Е., магистрант
Старцева М.Н., магистрант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

Авторы для переписки: Дудкина Д.Е. e-mail: dasha.dudckina@yandex.ru; Старцева М.Н. e-mail: starthevamarina@yandex.ru

Работа посвящена разработке конструкции и дизайна настенного светильника для интерьера, с использованием материалов: керамика и стекло. Разрабатываемый настенный светильник подходит для современных стилей. Благодаря сочетанию используемых материалов, уместен в интерьере, выполненного в экодизайне.

Ключевые слова: настенный светильник, керамика, стекло

DEVELOPMENT OF DESIGN OF INTERIOR LAMPS

Dudkina D.E.
Startseva M.N.

Moscow technological university. Physico-technological institute

Corresponding author: Dudkina D.E. E-mail: dasha.dudckina@yandex.ru; Startseva M.N. E-mail: starthevamarina@yandex.ru

The work is devoted to the design and design of a wall lamp for the interior, using materials: ceramics and glass. The wall light is suitable for modern styles. Thanks to the combination of materials used, it is appropriate in the interior, made in eco-design.

Keywords: Wall lamp, Ceramics, Glass

Важными элементами в интерьере является качественное, органичное освещение. В квартирах и жилых домах одними из наиболее популярных источников света являются настенные светильники. Они представляют собой осветительные приборы с креплением на вертикальные поверх-

ности. Используя такие локальные источники света можно обеспечить освещение в отдельных участках комнаты, не затрагивая остальное пространство. [1]

Для изготовления светильников настенных различных форм и конструкций, используется весь спектр современных материалов: как натуральных, так и искусственных. Тип материала, используемого в настенных бра, зависит от направления дизайна и назначения светильника. [2]

При анализе рынка всевозможных осветительных приборов, для разработки был выбран настенный светильник внутреннего освещения, которые сочетал бы в себе два материала: керамику и стекло.

Таким образом, **ЦЕЛЬ** данной работы – разработать конструкцию и дизайн настенного светильника для интерьера, сочетание материалов: керамика и стекло.

Основным задачами разработки были поставлены:

1. Создать определенный световой рисунок на стене;
2. Уменьшить интенсивность попадания света в глаза с помощью рассеивателя, выбор материала и способ крепления;
3. Крепление светильника к стене без дополнительного металлического основания;

В данной работе предлагается следующая конструкция настенного светильника, представленная на рисунке 1.

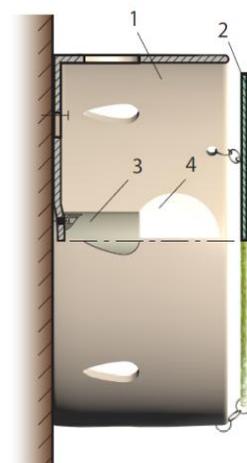


Рис. 2. Конструкция светильника (Adobe Illustrator): 1. Керамический плафон 200x100мм 2.Стекланный рассеиватель 180x4мм 3. Керамический патрон 4.Светодиодная лампа

Для создания светового рисунка на стене обычно используется различие в значении светопропускаемости материалов для плафона, например: прозрачное и матовое стекло. В данной работе материал плафона проектируемого светильника – керамика. Следовательно, в его конструкции необходимо учесть отверстия для прохождения света. Решением является перпендикулярно расположенный к стене керамический плафон с вырезами каплевидной формы (рис. 2). Технология изготовления – традиционное шликерное литье фарфоровой или полуфарфоровой массы (влажность 30%) в гипсовую форму. Формирование отверстий для выхода света, креплений и шнуров производится вручную по намеченным в гипсовой форме слепкам.

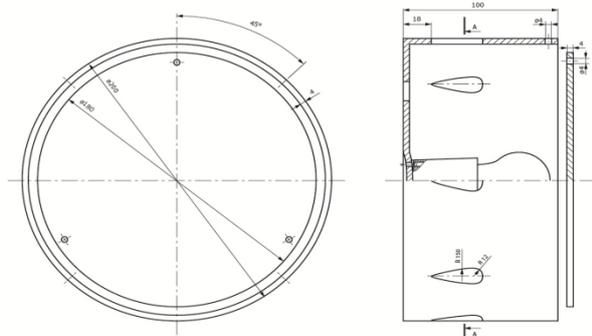


Рис. 2 Чертеж проектируемого светильника LIGHT RAY

Для уменьшения интенсивности попадания света в глаза предполагается стеклянный рассеиватель с достаточно низкой степенью светопропускаемости (на уровне 30%). В условиях кустарного производства для уменьшения риска здоровью человека при производстве (исключение матирования стекла) предложено использовать технологию спекания стеклянной крошки в печи чемоданного типа с помощью подготовленной керамической подложки со слоем просеянного гипса-порошка и гипсовой формы-кольца. Для формирования отверстий для крепления были заготовлены гипсовые столбики (Ø 4 мм) и установлены на подложку в определенные места. При сборе конструкции предложено использовать металлические цепочки или кольца для состыковки керамического плафона и стеклянного рассеивателя (рис. 3).



Рис. 3 Способ крепления рассеивателя (CINEMA 4D)

В качестве материала рассеивателя с целью удешевления и упрощения производства предложено использование фракционированной крошки тарного стекла, полученного термическим ударом, коричневой и зеленой бутылки.

Крепления светильника к стене без дополнительного металлического основания осуществляется за счет отверстия специальной формы для шурупа в керамическом плафоне (рис. 4).

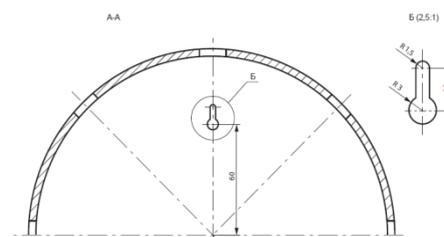


Рис. 4 Чертеж разреза А-А (отверстия для выхода света, отверстие для крепления к стене)

Основной задачей было создание светильника с декоративным эффектом – рисунок из световых лучей на стене, который будет оказывать благоприятное эмоциональное воздействие (рис. 5). Все предложенные задачи были учтены в конструкции данного светильника.



Рис. 5 Клаузура. Светильник LIGHT RAY в интерьере (CINEMA 4D, Adobe Photoshop)

Керамический патрон выбран с цоколем E14, для уменьшения габаритных размеров светильника за счет использования более маленькой лампы. Также используется светодиодная лампа белого света для уменьшения температуры нагрева и обеспечения исполнения требования пожарной безопасности.

Разрабатываемый настенный светильник предназначен для местного освещения спальни, гостиной или фойе. Он подходит для современных стилей, а использование вторичных материалов (стеклобой бутылки) делает его ярким и уместным украшением интерьера, выполненного в экодизайне.

Список литературы

1. Выбор настенных светильников. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://svetguru.ru/article_items/vybor_nastennyh_svetilnikov/. Дата обращения: 18.03.17
2. Бра – светильники настенные с высокой функциональностью. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://worlds-interior.ru/bra-svetilniki-nastennye-s-shirokoj-funktsionalnostyu/>. Дата обращения: 18.03.17
3. M-Lion. Накладной светильник. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://m-lion.ru/osveschenie/nakladnoy-svetilnik-Blois-2603-1C/flypage.tpl.html>. Дата обращения: 18.03.17

УДК 7.05

ПРОЕКТ АВТОБУСНОЙ ОСТАНОВКИ

Кабанов И. А., студент кафедры компьютерного дизайна;
Никитина А.А., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Разработан проект автобусной остановки, которой удобно пользоваться различным группам населения, включая маломобильные группы. Выполнена детальная визуализация объекта.

Ключевые слова: проект, универсальный дизайн, остановка, маломобильная группа населения.

PROJECT OF A BUS STOP DESIGN

Kabanov I.A.;
Nikitina A.A.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© Correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

The project of the bus-stop which it is convenient to various groups of the people to use, including handicapped groups is developed. Detailed visualization was made.

Keywords: project, universal design, stop, handicapped group of people.

Остановка транспорта – это объект городской среды, который должен обеспечивать комфорт ожидания транспорта для самых разных групп населения. Если условия созданы для людей с разными возможностями – молодых и старых, с колясками, с маленькими детьми и т.д., то соблюдены условия универсального дизайна. В данной работе предложена детальная визуализация большой автобусной остановки с различными функциональными зонами.

На рис. 1 представлен общий вид разработанного объекта с выделенными функциональными зонами [1].

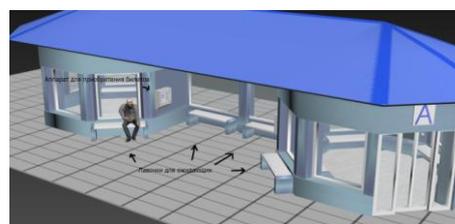


Рис. 1. Дизайн автобусной остановки.

Далее представлены технические элементы проекта – аппарат для продажи билетов (рис.2) и розетки, позволяющие заряжать различные мобильные устройства (рис.3).

Для обеспечения комфорта маломобильным гражданам спроектированная остановка оснащена автоматическими раздвижными дверями (рис. 4).

Найденные дизайнерские решения позволили спроектировать функциональный и комфортный объект универсального дизайна. Общий вид разработки представлен на рис. 5.



Рис. 3. Розетки на остановке.



Рис. 2. Аппарат для продажи билетов.



Рис. 4. Раздвижные двери на остановке

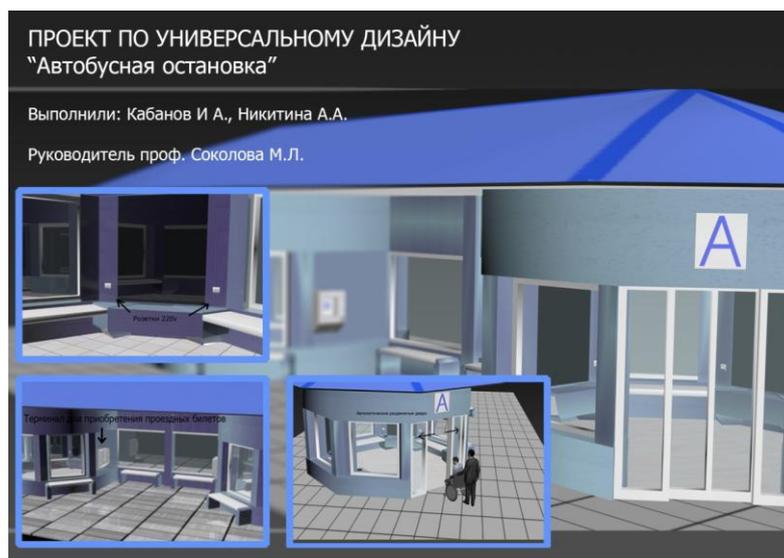


Рис5.. Проект автобусной остановки

Список литературы

1. Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л. и др. Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во

Томского политехнического университета, 2013. 213 с.

УДК 7.05

ПЕРЕУСТРОЙСТВО ПАРКА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДИЗАЙНА

Конова С. С., студент кафедры компьютерного дизайна;

Дудина Д. Д., студент кафедры компьютерного дизайна;

Самойлова Д. А., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Работа посвящена разработке дизайна парка для его переустройства на основе принципов универсального дизайна. Предусмотрены проектные решения обеспечивающие доступность парка для всех групп населения, разработан паспорт доступности объекта.

Ключевые слова: дизайн, универсальный дизайн, парк, паспорт доступности.

REORGANIZATION OF THE PARK UNDER THE PRINCIPLES OF UNIVERSAL DESIGN

Konova S.S.;

Dudina D.D.;

Samoylova D.A.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

Work is devoted to development of design of the park for its reorganization on the basis of the principles of universal design. The design decisions providing availability of the park to all groups of the people are provided, passport of availability of an object is developed.

Keywords: design, universal design, park, passport of availability.

Парк культуры и отдыха, расположенный на территории города Москва, около

площади Индиры Ганди, в настоящее время является обычным ландшафтным объектом, не соответствующим принципам универсального дизайна, которые предусматривают обеспечение доступности объекта для различных категорий жителей города, включая маломобильное население и инвалидов. Вблизи объекта ведется строительные работы, связанные со строительством метрополитена, что также повышает интерес к возможному будущему переустройству парка с целью повышения его доступности.

На рисунке 1 приведена исходная схема парка.



Рис. 1. Исходное состояние парка.

На рисунке 2 предложено проектное решение, обеспечивающее формирование основных парковых зон.

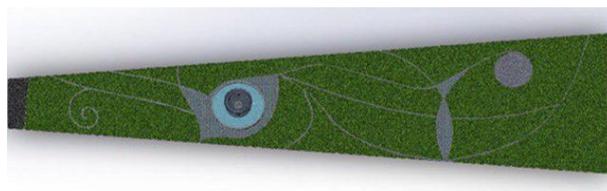


Рис. 2. Проект парка.

Основными зонами [1] парка для детального проектирования были выбраны детская площадка, водоем, прогулочные дорожки, парковка.

На рисунке 3 приведен проект детской площадки, предусматривающий возможность игры на ней детей с различными возможностями.

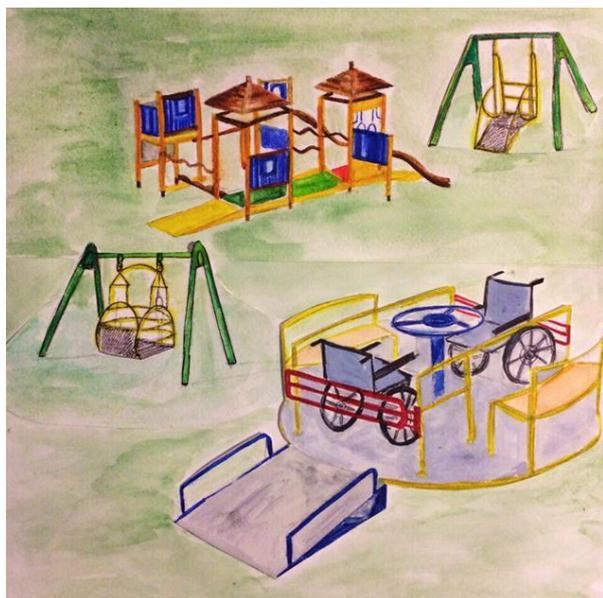


Рис. 3. Детская площадка

Переустройство предусматривает наличие специальных обозначений, световых, фактурных и цветовых сигналов [2], помогающих ориентироваться в парке. Предложенные меры позволили составить паспорт доступности объекта, дающий подробную информацию для отдельных групп населения, включая маломобильные группы.

На рисунке 4 представлены итоговый проект переустройства парка.

Таким образом, предложенное решение по переустройству парка сделает его доступным для различных групп населения и, тем самым, повысит уровень комфорта нашего города.

Проект по универсальному дизайну «Переустройство парка»

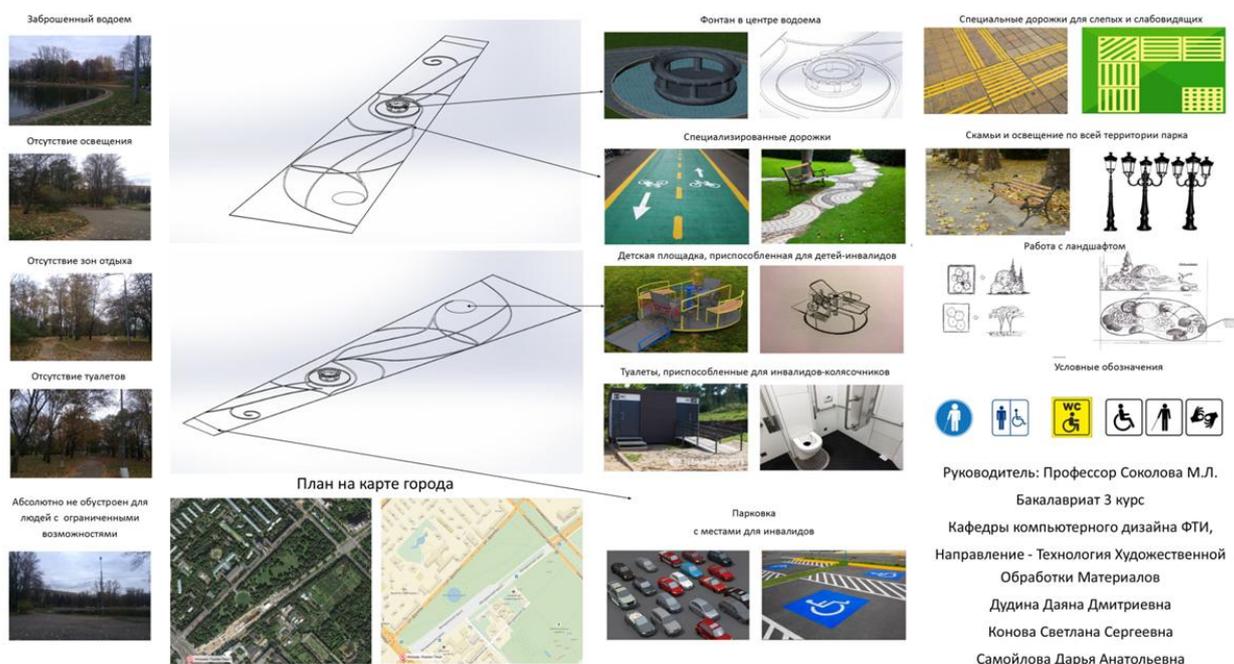


Рис. 4. Проект переустройства парка.

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухта М.С. и др. Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с.
 Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л. и

др. Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 213 с.

УДК 621.373.8

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО СТАНОЧНОГО ГРАВИРОВАНИЯ В ДИЗАЙНЕ СУВЕНИРНОЙ ПРОДУКЦИИ

Курьянова В.В., магистрант 1 курса

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Курьянова В.В. e-mail: veronika.kuryanova@list.ru

В статье представлен дизайн-проект новогодней сувенирной продукции с использованием современных технологий в области обработки стекла. Рассмотрен технологический процесс объемной гравировки стекла.

Ключевые слова: 3d лазерный гравер, станки с ЧПУ, лазерная гравировка, стекло, дизайн, сувенирная продукция, логотип

APPLICATION OF TECHNOLOGY OF COMPUTER MACHINE ENGRAVING IN DESIGN OF SOUVENIR PRODUCTS

Kuryanova.V.V.

Moscow Technological University (MIREA).
Physics and Technology Institute.

@For correspondence with the author. E-mail: veronika.kuryanova@list.ru

The article presents design project of new year's souvenir products with the use of modern technologies in the field of glass processing. Technological process of glass volume engraving has been studied.

Keywords: 3D laser engraving machine, CNC machine, laser engraving, glass, design, souvenir products, logo

Развитие лазерных технологий и их применение в различных областях науки и техники позволило лазерам проникнуть в человеческую жизнь. В то же время визуальные эффекты, которые сопровождают лазерное излучение, а также различные

виды специфического воздействия его на некоторые материалы, привлекли внимание дизайнеров и представителей прикладного искусства. Интересные результаты были достигнуты в области применения лазерной технологии в изобразительном, прикладном искусстве имеет самое широкое применение.

Создание подарочной визитницы с корпоративной символикой, которая отражает новогоднюю тематику 2017 года, является основной целью проектной работы. Дополняет эту цель технологическая задача, которая заключается в применении технологии объемного гравирования стекла.

Основные этапы художественного проектирования подарочной визитницы.

Первым этапом разработки дизайна продукта является анализ прототипов и поиск референсов. На рисунке 1 представлен визуальный поиск прототипов новогодней символики.



Рис.1. Поиск прототипов символа 2017 года



Рис.2. Логотип университета

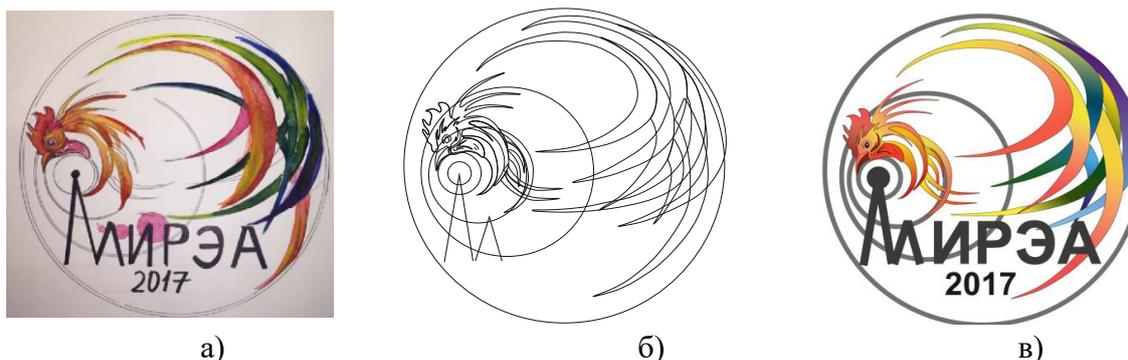


Рис.3. Разработка новогоднего логотипа: эскиз - акварель, карандаш (а); контурный эскиз в ПО CorelDRAW (б); цветной эскиз в ПО CorelDRAW (в)

Так как проектируемый предмет относится к классу корпоративной продукции, то обязательным условием является использование в дизайне логотипа университета (рис.2).

Проанализировав форму и графику фирменного знака университета, изучив прототипы символики текущего года был проведен процесс эскизирования, результатом которого стал новогодний логотип, который является главной особенностью, спроектированной визитницы.

На следующем этапе проектирования выполняется разработка конструкции и формы изделия. В настоящее время предприятия проектируют и реализуют изделия с помощью средств трёхмерной графики. 3D-моделирование позволяет получать модели изделий с высокой степенью точности. 3D-модель даёт наглядное представление о проектируемом изделии, позволяя при необходимости вносить корректировки не только в дизайн, но и в технологические особенности самого изделия, а также рассчитать вес самого изделия. Для моделирования изделия были использованы следующие программные обеспечения: Rhinoceros 5.0, KeyShot.

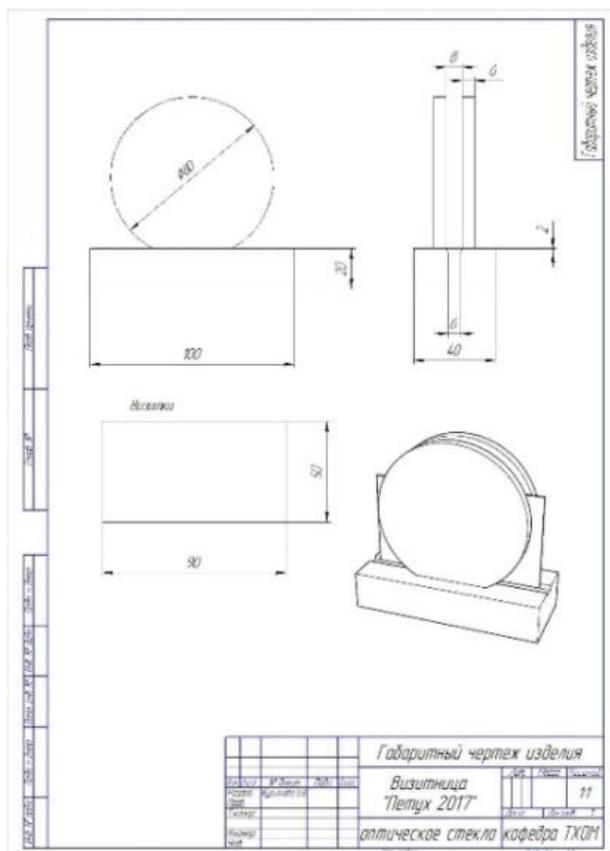


Рис.4. Габаритный чертёж изделия



Рис.5. Трёхмерная модель изделия

Анализ материала

Стекло — вещество и материал, один из самых древних и, благодаря разнообразию

своих свойств, — универсальный в практике человека. Температура варки стёкол, от +300 до +2500 °С, определяется компонентами этих стеклообразующих расплавов (оксидами, фторидами, фосфатами и других). Типы стекла: кварцевое, известковое, натриево-силикатное, свинцовое и прочее. Для изготовления стеклянной сувенирной продукции используется кварцевое стекло. Кварцевое стекло, по сравнению с традиционным стеклом, имеет ряд неоспоримых преимуществ и свойств, делающих его уникальным материалом для создания великолепных декоративных образов. Кварцевое стекло имеет термические свойства, выдерживает резкие температурные перепады, благодаря низкому коэффициенту термического расширения — примерно в 15-20 раз. Химические свойства стекла отличаются повышенной кислотостойкостью и щёлочестойкостью. Оптические свойства стекла выделяют его как один из самых прозрачных предметов, а также показывает чрезвычайно низкое поглощение света в видимых и невидимых частях спектра.

Технологический процесс

Создавать удивительные шедевры из привычных материалов позволяет станок для гравировки на стекле. Машина, которая выполняет всю работу состоит из лазерной установки и координатной системы X, Y, Z. Для начала с помощью компьютерной программы строится трехмерная модель изображения. Специально для этой лазерной технологии разработана программа, которая разбивает изображение на точки, по которым и стреляет лазерный луч.

Лазер всегда бьет в одну точку, поэтому машина перемещает рабочий стол вместе с

заготовкой так, чтобы удар приходился в нужное место.

В процессе работы возникает маленькая искра - это вспышка от микровзрыва в стекле. Температура лазерного луча достигает 1 млн. °С, скорость — 150 ударов в секунду.

За генерацию луча отвечает прибор квантрон, состоит он из цилиндра, внутри которого находится лампа мощностью в 3500 Вт и лазерного кристалла. Свет, излучаемый лампой, отражается от поверхностей цилиндра и концентрируется в лазерном кристалле. С помощью зеркал лазерное излучение попадает в оптическую систему, она в 8 раз увеличивает диаметр лазерного луча и проецирует его в объектив, который фокусирует излучение в заданную точку. Луч не повреждая поверхность стекла совершает микровзрыв. Чтобы изображение было рельефным, установка бьет лазером несколько раз в одну точку.

В результате проведенной работы была спроектирована оригинальная визитница с символикой университета, приуроченная к новому 2017 году, выполненная из кварцевого стекла с использованием технологии компьютерного станочного гравирования.

Список литературы

1. Мельников И. В. *Стекло и его свойства. Сырьевые материалы для стекловарения. Приготовление шихты.* - Litres, 2013
2. Подольский Ю. *Гравировальные работы. Техники, приемы, изделия.* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://fanread.ru/book/12075604/#read>.
3. Парфенов В. А. *П55 Лазерная микрообработка материалов: Учеб. пособие.* СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 59 с.

УДК 7.05

КОНЦЕПТ ОСТАНОВКИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Перекальский М.О., студент кафедры
 компьютерного дизайна;

Сивухин Д.А., студент кафедры компь-
 ютерного дизайна

*Физико-технологический институт Москов-
 ского технологического университета*

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail:
 dssml@rambler.ru

*В работе выполнен проект концепта остановки обще-
 ственного транспорта. Остановка состоит из сопря-
 женных модулей, что позволит делать длинные навиль-
 оны, например, на автовокзалах. При проектировании
 использованы принципы универсального дизайна.*

*Ключевые слова: концепт, остановка, транспорт, мо-
 дуль, универсальный дизайн*

PUBLIC TRANSPORT STOP CONCEPT

Perekalskiy M.O.;
Sivuhin D.A.

*Physics and Technology Institute of Moscow tech-
 nical university*

© Correspondence author: Sokolova M.L. e-mail:
 dssml@rambler.ru

*Concept project of a stop of public transport is developed.
 The stop consists of the interfaced modules that will allow to
 do long pavilions, for example, on bus stations. Concept
 designed under principles of universal design.*

*Keywords: concept, stop, transport, module, universal de-
 sign,*

На данный момент существует множе-
 ство различных остановок для обществен-
 ного транспорта. Это остановки, как старо-
 го, так и нового образца. Все они разраба-
 тывались с определёнными целями, учи-
 тывая при этом предыдущие наработки, и
 как следствие - ошибки. Остановки старо-
 го образца в массе своей выполнены как

площадка с навесом и информационными
 табличками. Чаще всего эти остановки –
 открытого или полужакрытого типа, что не
 подразумевает под собой полноценную
 защиту от брызг, дождя и сильного ветра.
 Материалы зачастую подбираются некор-
 ректно (например, обшивки из поликарбо-
 ната, пластмассовый стенд для расписаний
 поездок). Нынешние остановки также не
 всегда обладают достаточным уровнем
 комфорта [1]. Поэтому мы решили пред-
 ложить своё видение данной проблемы.
 Проект рассчитан на все группы людей,
 включая инвалидов.

Цель концепта остановки в том, чтобы
 совместить зону отдыха и место ожидания
 транспорта, тем самым предоставив луч-
 шие условия жителям мегаполиса.

Конструкция комплекса решена с мак-
 симальными возможностями для удобства
 пассажиров. Одной из основных задач при
 разработке стояла задача защиты людей от
 проезжающего наземного транспорта (на-
 пример, брызги, шум и т.д.). Также рас-
 сматривались возможности совмещения
 остановки (для ожидания транспорта), зо-
 ны отдыха (для возможности отдохнуть,
 укрыться от дождя и т.д.) и коммуникаци-
 онного узла (остановка оснащена интерак-
 тивными средствами связи, позволяющими
 выполнять различные операции - поиск по
 карте, денежные операции, справочные
 службы и т.д.).

На рисунке 1 представлена конструкция
 остановки.

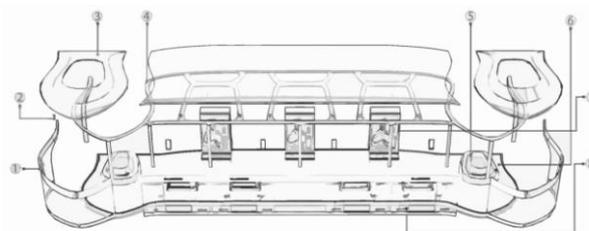


Рис. 1. Схема остановки.

Цифрами на рисунке обозначены сле-
 дующие элементы: 1. Элемент для жестко-
 сти конструкции. 2. Крепежный элемент.
 3. Навес. 4. Модульная конструкция. 5
 Скамейка. 6. Основание с подсветкой. 7.
 Многофункциональные модули. 8. Систе-
 ма открывания дверей.

На рисунке 2 приведен окончательный проект остановки.

Автобусная остановка выполнена из свето-прозрачного материала (полимера) материала. Это позволяет гармонично дополнять городскую архитектуру улиц и скверов. Учитывая специфику использования, предусмотрены «антивандальные» технологии, которые соответствуют современным требованиям. Остановка решена как модульная система – эта конструктивная особенность позволяет учитывать требования различных пассажиро-

перевозок, их поток и прилегающее уличное пространство. Также учтены нормы безопасности пассажиров, за счёт закрытой панели, прилегающей к проезжей части дороги. Остекление выполнено из ударопрочного материала, обладающего хорошей эластичностью.

Этот концепт – первый шаг к реализации разнообразных проектов по универсальному дизайну, которые должны помочь людям чувствовать себя комфортнее в условиях города.

Проект «Остановка общественного транспорта»



Рис. 2. Проект остановки общественного транспорта.

Список литературы

1. Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л. и др. *Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 213 с.*

УДК 7.05

ДИЗАЙН КОФЕАВТОМАТА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДИЗАЙНА

Семенова Л. А., студент кафедры
компьютерного дизайна;

Тимофеева Д. С., студент кафедры
компьютерного дизайна

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Работа посвящена разработке дизайна кофеавтомата с учетом принципов универсальности, что предусматривает ряд проектных решений, облегчающих его использование всеми категориями населения, включая маломобильная группа населения. Аппарат обеспечивает формирование доступной среды.

Ключевые слова: дизайн, доступная среда, автомат, универсальный дизайн, проект, маломобильная группа населения.

COFFEE MACHINE DESIGN WITH TAKING PRINCIPLES OF UNIVERSAL DESIGN INTO CONSIDERATION

Semyonova L.A.;
Timofeeva D.S.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© Correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

Work is directed to development of design of the coffee machine taking into account the principles of universal design that provides a number of the design decisions facilitating its use by all categories of the people, including handicapped group of the population. The machine provides formation of the available environment.

Keywords: design, available environment, machine, universal design, project, handicapped groups of people.

Актуальность разработки обусловлена тем, что кофейные автоматы с каждым годом стали набирать популярность. Задачей

разработки данного проекта является максимальное увеличение удобства пользования кофейным автоматом.

Функцией объекта [1] разработки является продажа кофе. Поскольку автомат удобен своими небольшими размерами, его можно расположить в любом общественном месте: парк, офис, учебное учреждение, подземный переход, и т.д. При этом, не занимая много места и не доставляя неудобства.

Разработанный автомат удобен тем, что его применение не доставляет дискомфорта в использовании маломобильной группе населения. Крупные, удобные кнопки меню, выдача напитков, отверстие для купюр находятся ниже, чем в обычных автоматах. Это позволяет не доставлять затруднения при покупке кофе людям в инвалидной коляске. Так же, по периметру автомата имеются перила и рядом с автоматом подставка для трости (рис. 1.) для граждан, которым тяжело ходить. Кофе продается в стаканчиках с плотно закрытой крышкой, чтобы избежать пролития кофе. Углы автомата закругленные, во избежание травм и повреждения граждан.

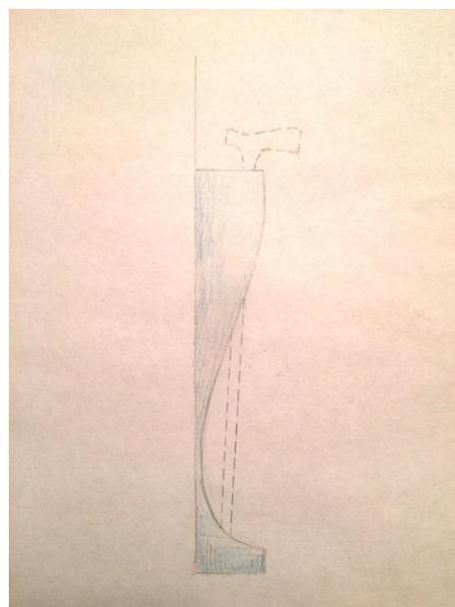


Рис. 1. Подставка для трости, монтируемая к автомату.

Сам автомат ярко желтого цвета с большой белой кружкой на крыше. Яркий дизайн с подсветкой передней панели сразу бросается в глаза и привлекает внимание покупателей. У автомата мощный ме-

таллический корпус и прочный замок. Это надежно защищает от попыток вандализма и несанкционированного доступа.

Кофейный автомат может выдавать напитки за наличные деньги и посредством безналичных систем оплаты. Регулировка сахара состоит из 5 кнопок «без сахара» — «максимум». Количество видов напитков — 10: кофе черный; кофе с молоком; капучино; капучино с шоколадом; ванильный капучино и др.

С точки зрения универсального дизайна, существующие в настоящее время автоматы не удобны для маломобильной группы населения тем, что кнопки и окна для купюр находятся на уровне стоящего человека, это будет вызывать затруднения в покупке для людей в инвалидной коляске. Автоматы слишком высокие. А так же кнопки меню миниатюрны, это будет вызывать затруднения у плохо видящих людей. Для нашего автомата мы постарались сделать максимально

удобным пользование автоматом, как для обычного человека, так и для маломобильной группы населения. Для плохо видящих и слепых, чтобы максимально облегчить покупку кофе на кнопках меню имеется шрифт Брайля, а так же они гораздо больше в размерах, чем на обычном автомате. Отверстие для купюр гораздо шире обычного. Кнопки, отверстие для купюр, отверстие выдачи кофе находятся на уровне сидячего человека. Подставка для трости и перила, доставляет больше удобства для плохо ходящих людей. На рисунке 2 представлен стилевой планшет [2] по разработке дизайна автомата и его общий вид.

Таким образом, разработанный кофеавтомат соответствует принципам универсального дизайна и способствует формированию доступной городской среды.



Рис. 2 Дизайн кофеавтомата.

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. *Кухта М.С. и др. Дизайн. М.:МГУПИ, 2013. 142 с.*
2. *Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова*

М.Л. и др. Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 213 с.

УДК 7.05

ДИЗАЙН ПЛАНШЕТА ДЛЯ РАБОТЫ С ДОКУМЕНТАМИ

Тактамышева Р. Ш., студентка кафедры компьютерного дизайна;

Чумакова С. А., студент кафедры компьютерного дизайна;

Сидюк А. И., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Работа посвящена разработке дизайна рабочего места путем создание изделия, способного заметно облегчить работу с документами в ограниченном пространстве, а так же предоставить возможность выполнять графические и иллюстраторские работы.

Ключевые слова: дизайн, рабочее место, маломобильная группа населения.

DESIGN OF THE TABLET FOR DOCUMENTS

Taktamysheva R.Sh.;

Chumakova S.A.;

Sidyuk A.I.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

Work is devoted to development of design of a workplace by creation of a product capable to considerably facilitate work with documents in limited space, and also to give an opportunity to perform graphic works.

Keywords: design, work space, handicapped groups of people.

Основной темой нашего проекта послужил вопрос создания рабочего места как среды, позволяющей в ограниченном пространстве выполнять множество различных задач. Так мы поставили перед со-

бой целью создание изделия, способного заметно облегчить работу с документами в ограниченном пространстве, а так же возможностью выполнять графические и иллюстраторские работы. Данный проект ориентирован на людей, которым необходимо работать с документами или выполнять графическую работу, но не имеющих возможности организовать собственное рабочее место.

Цель работы: Спроектировать универсальное многофункциональное изделие для работы с документами.

Для этого необходимо:

Разработать удобную в использовании поверхность для работы с бумагами.

Оснастить ее местом для хранения рабочих принадлежностей, а также выемкой под стакан с жидкостью.

Основой для нашего проекта и его прототипом послужил обыкновенный художественный этюдник. Ящик имеет размеры: длина 310 мм, ширина 240 мм, высота 50 мм; вес изделия - 2.3 кг. Этюдник выполнен из дерева березы, оснащен местом для хранения художественных принадлежностей, шарнирными ножками, удерживающими крышку. Основным недостатком рассматриваемого изделия мы считаем выбор материала и его размер. Натуральное дерево не только подвержено влиянию окружающей среды, но и делает изделие довольно тяжелым, а размер данного этюдника не позволяет работать с форматом А4 в вертикальном положении. Исходя из данной информации, мы решили изменить не только материалы и размер нашего изделия, но и его форму, сделав ее более эргономичной.

На рисунке 1 представлено разработанное изделие.

Данное изделие состоит из двух частей и способно раскладываться подобно этюднику. Створки раскрываются до 45 градусов, облегчая работу в положении сидя.

На передней панели находится рабочая область: квадрат со сторонами 22 см, покрытый матовым пластиком, предотвращающим скольжение листа. На углах находятся резинки, помогающие

удерживать бумагу в нужном положении. Изделие удобно использовать для работы с документами, так как рабочая поверхность позволяет размещать листы не только горизонтально и вертикально, но и по диагонали, что способно значительно упростить работу иллюстраторов и художников [1].

Помимо основной рабочей поверхности в планшете имеется несколько закрывающихся контейнеров, позволяющих хранить некоторые письменные принадлежности. Так же присутствует выемка, предотвращающая падение канцелярских принадлежностей с планшета.

В планшете существует конструкция, позволяющая размещать в ней стакан с водой. Конструкция представлена сквозной выемкой эллипсоидной формы и гироскопическим кольцом, что дает возможность использовать ее не только в горизонтальном, но и наклонном положении.

Планшет оборудован двумя ручками, выполненными в виде сквозных выемок по краям изделия, облегчающими его перемещение.

Так же мы выяснили, что изделие можно использовать не только на коленях, но и поставив на ручки стула; а его размеры дают возможность использовать его в инвалидном кресле.

Кроме того, данное изделие можно использовать не только как рабочую поверхность, но и как поднос, где выемка для жидкости будет выполнять роль подстаканника, а в контейнерах для хранения принадлежностей, можно держать столовые приборы.

Разработанное нами изделие отвечает поставленным цели и задачам. Спроектировано удобное многофункциональное изделие, оборудованное различными вспомогательными элементами: рабочей поверхностью, выемкой для стакана с водой, закрывающимся пеналом для письменных принадлежностей.

ПРОЕКТ ПЛАНШЕТА ДЛЯ РАБОТЫ С ДОКУМЕНТАМИ

ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ДАННОГО ПРОЕКТА – СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ КОМФОРТНОЙ РАБОТЫ С ДОКУМЕНТАМИ.

ДАННЫЙ ПЛАНШЕТ ПОМОГАЕТ ВЫПОЛНЯТЬ РАЗЛИЧНЫЕ ЗАДАЧИ КАК РАБОЧЕГО, ТАК И ПОВСЕДНЕВНОГО ХАРАКТЕРА.

ОН УКОМПЛЕКТОВАН КОНСТРУКЦИЕЙ ДЛЯ ЕМКОСТИ С ВОДОЙ, ЗАКРЫВАЮЩИМСЯ ПЕНАЛОМ, ВЫЕМКОЙ И НЕБОЛЬШИМ КАРМАШКОМ ДЛЯ КАНЦЕЛЯРСКИХ ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ.

РАБОЧАЯ ОБЛАСТЬ ПЛАНШЕТА ОКРУЖЕНА ПЛОТНОЙ СИЛИКОНОВОЙ ПОЛОСКОЙ, А ВСЕ ВЫЕМКИ И КАРМАШКИ НАХОДЯТСЯ НА РАЗНОЙ ГЛУБИНЕ ДЛЯ ЛУЧШЕГО ТАКТИЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ СЛАБОВИДЯЩИМИ ЛЮДЬМИ.



ВАРИАНТЫ ЦВЕТОВОГО ОФОРМЛЕНИЯ



МОДЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ



РАЗРАБОТАЛИ:

СИДЮК АЛЕКСАНДРА
ТАКТАМЫШЕВА РИММА
ЧУМАКОВА СВЕТЛАНА

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА:

СОКОЛОВА
МАРИНА ЛЕОНИДОВНА

Рис. 1. Дизайн планшета

Список литературы

1. Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л. и др. *Промышленный дизайн*. Томск.: Изд-во

Томского политехнического университета, 2013. 213 с.

УДК 7.05

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЛИФТ

Хлынин Д.В., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

В работе представлен проект лифта, дизайн которого соответствует принципам универсальности, т.е. приспособлен для комфортного использования различными группами населения, в том числе маломобильными.

Ключевые слова: универсальный дизайн, лифт, эргономика, маломобильные группы населения.

UNIVERSAL ELEVATOR

Hlynin D.V.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

Project of the elevator which design corresponds to the principles of universality is submitted, i.e. adapted for comfortable use by various groups of the population, including handicapped.

Keywords: universal design, elevator, ergonomics, handicapped groups of people.

В работе предложен новый дизайн кабины лифта. Этот лифт, в отличие от многих существующих, спроектирован с учетом принципов универсального дизайна [1]. Принципы универсального дизайна предполагают обеспечение доступности для различных групп населения, в том числе для инвалидов-колясочников.

Размеры кабины лифта рассчитаны с учетом параметров инвалидной коляски. На рисунке 1 приведена схема размещения человека в кабине лифта.

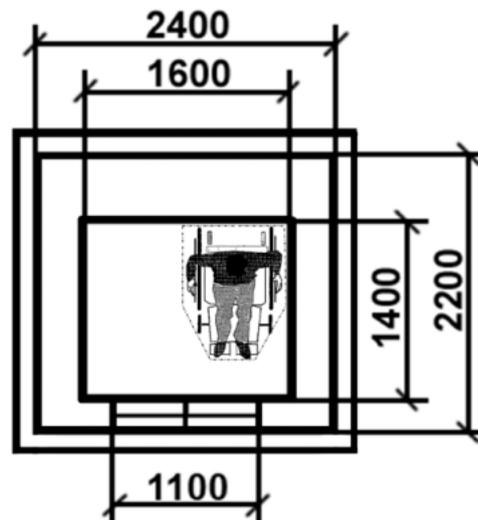


Рис.1. Эргономическая схема кабины лифта.

При проектировании особое внимание уделено устранению выступающих частей на стенах кабины лифта, так как они могут быть источником травм. Вместе с тем, необходимость опоры для рук человека присутствует, штанга заглублена в стену (рисунки 2.)



Рис.2. Перила, утопленные в стену.

Принята во внимание и необходимая высота пульта управления, учитывающая положение рук сидящего человека. Спроектированная с учетом предложенных дизайнерских решений кабина лифта приведена на рисунке 3.

Таким образом, спроектированная кабина лифта является универсальным объектом – удобным для самых разных групп людей.

Проект по универсальному дизайну «Лифт»

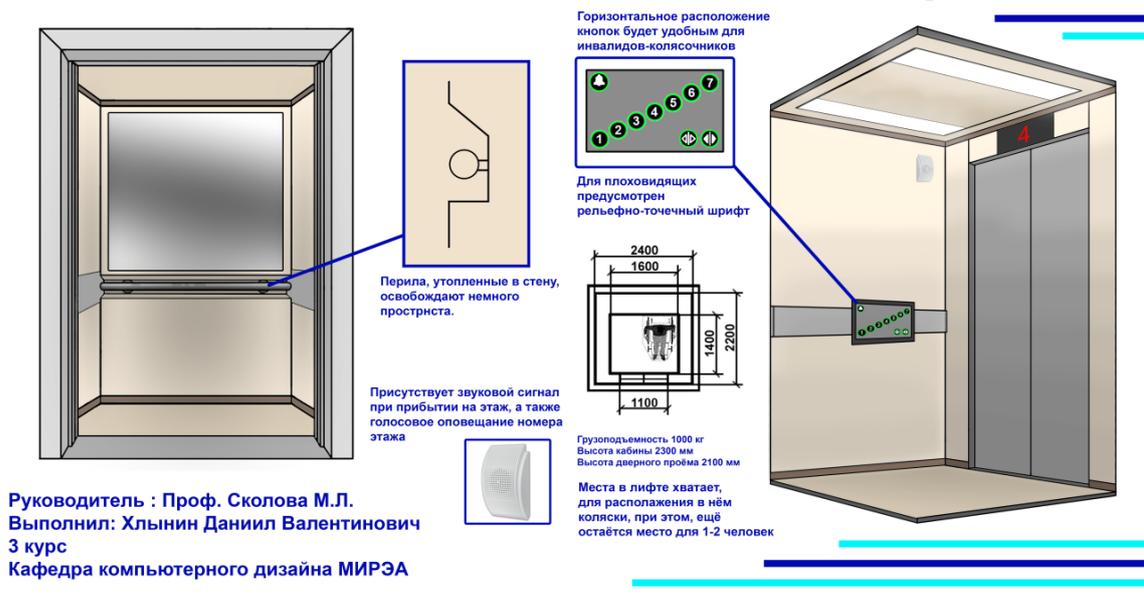


Рис. 3. Проект универсального лифта.

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухта М.С.

и др. Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с

УДК 7.05

СКЛАДНОЙ ВЕЛОСИПЕД

Асонов А.С., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@ Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Предложен проект складного велосипеда в стиле Hi-tech для быстрого перемещения по городу. Предусмотрена возможность компактного ношения велосипеда в виде рюкзака.

Ключевые слова: складной велосипед, стиль, универсальный дизайн, эргономика.

FOLDING BICYCLE

Asonov A.S.

Physics and Technology Institute of Moscow tech-

nical university

@ Correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

A project of a folding bicycle in the Hi-tech style for a quick move around the city is proposed. There is a possibility of compact wearing of a bicycle in the form of a backpack

Keywords: folding bicycle, style, universal design, ergonomics.

Новые технологии позволяют быстрее добираться до рабочего места, чтобы мы работали более продуктивно, поэтому сокращаются временные интервалы между рабочей активностью и отдыхом. Это вынуждает нас торопиться и, к сожалению, опаздывать, задерживаться и т.д. потому как этот темп возрастает быстрее, чем появляются технологии позволяющие вписываться в него лучше. Общественный транспорт экономит пассажирам время, но зачастую нам приходится по-прежнему добираться куда-либо пешком, и речь идет

не о 200 метрах. Велосипед является наиболее удобным, быстрым и не сложным для обучения езде, транспортом относительно своих аналогов. Проект рассчитан на здорового человека (~от 15+) и людей определённых групп инвалидности.

Помимо выше сказанного, целью является разработка достаточно компактного транспортного средства, которое можно носить в специальном рюкзаке за спиной.

Рассмотрев аналоги, я пришел к выводу, что по меньшей мере им не хватает удобства, по большей – растрочен потенциал функционала. В плане удобства большинству изученным аналогам не хватало удобства в ношении, большинство их них складывается в некое подобие плоского прямоугольника с рукоятью наверху и колёсами внизу, чтобы можно было катить велосипед по земле (похоже на трость с колёсиком для незрячих). Это, безусловно, гораздо удобнее, чем ходить с вытянутым вдоль тела велосипедом, отдавая сразу обе руки, на поддержание его равновесия. Но, на мой взгляд, если есть возможность сделать так, чтобы руки в принципе не требовались для переноски данного вида транспорта, то следует этим воспользоваться.

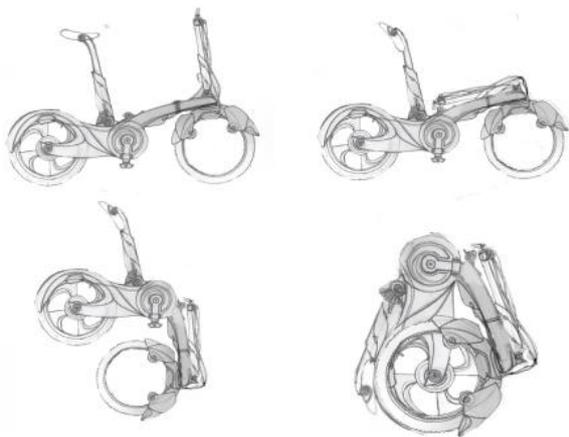


Рис. 1 Этапы складывания велосипеда.

Этапы складывания велосипеда (рисунок 1):

1-я стадия – Велосипед статичен, изначальная позиция

2-я стадия – Ось переднего колеса смещена, рулевая колонна сложена вперёд с защёлкнутым замком. Сиденье повернуто параллельно глаголу.

3-я стадия – Глагол складывается внутрь по принципу телескопа. Передняя часть велосипеда начинает сгибаться в обратную сторону по центральной оси

4-я стадия – Передняя часть велосипеда полностью совмещена с задней, рукоятки руля складываются в сторону катушки с шатунами.

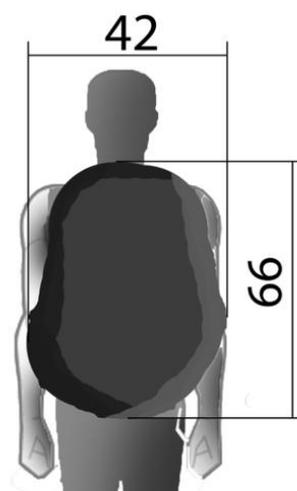


Рис. 2. Велосипед в рюкзаке.

Не смотря на присутствие лёгкого электромотора, главной особенностью данного проекта является все же компактность, ниже приведена схема (рисунок 2), как упакованный велосипед выглядит на человеке.

Велосипеду свойственна специфика, ограничивающая круг лиц, имеющих возможность его использовать, с другой стороны, у готового продукта всегда можно найти недостаток и улучшить его на пути к идеалу, этот проект – мой этап на пути к идеалу. На рисунке 3 приведен плакат к выполненному проекту.

Невозможно сделать полностью универсальный дизайн, подходящий каждому, но у дизайнера есть возможность выделить из всех людей группу, и сделать изделие удобным для них.



Рис. 3. Проект складного велосипеда в стиле Hi-tech

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухта М.С. и др. Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с.
2. Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л.

и др. Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 213 с.

УДК 7.05

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БАНКОМАТ

Соколова М.Л., д.т.н., профессор кафедры компьютерного дизайна;
 Иванова А.В., студент кафедры компьютерного дизайна;
 Крыканов В.В., студент кафедры компьютерного дизайна.

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Предложен проект универсального банкомата, способного обеспечить возможность использования для маломобильных и плохо видящих людей.

Ключевые слова: универсальный дизайн, банкомат, эргономика, функция, стиль.

UNIVERSAL CASH DISPENSER

Sokolova M.L.;
 Ivanova A.V.;
 Krykanov V.V.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© Correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

The project of the universal cash dispenser capable to provide a possibility of use for the handicapped and badly seeing people is offered.

Keywords: universal design, cash dispenser, ergonomics, function, style.

Банкомат ориентирован на взрослых людей, а также не вызовет трудности в использовании у людей, привязанных к инвалидному креслу, инвалидов по зрению и слуху. Мы остановились на переработке дизайна современного банкомата, потому что на данный момент эти аппараты не приспособлены даже для минимального пользования людьми с ограниченными способностями.

Наша цель: обеспечить максимальное удобство пользования людям на инвалидном кресле и приспособить современные банкоматы под минимальные функции, которые могли бы выполнять инвалиды по зрению без посторонней помощи.

Задачи:

1. Регулируемая высота пользовательской панели банкомата
2. Удобное место для инвалидного кресла
3. Перенос основных функций и интерфейса в азбуку Брайля

За исходный материал мы берем стандартный банкомат Сбербанка и АТМ 2.0 от IDEO как прототип дизайна.

Основное описание устройства: Футуристический стиль банкомата включает в себя полностью округлые формы, которые также несут в себе и защитную функцию для пользователей, чтобы они не получали травмы в процессе пользования аппаратом. Основная панель банкомата исполнена в белом цвете с сатиновым покрытием, что обеспечивает приятный тактильный контакт, но в то же время не вызывает сложностей в уборке. Экран оснащен специальной пленкой, которая позволяет видеть происходящее на нем строго под определенным углом (до 30°). Встроенная камера слежения обеспечивает полную безопасность пользователей.

Наша доработка банкомата значительно расширяет круг пользователей данным устройством. В этой модификации он становится удобным не только для обычных людей, но также для людей, привязанных к инвалидному креслу и инвалидов по зрению. Рассмотрим функции для каждой из этих групп общества по отдельности.

Функционал для людей, прикованных к инвалидному креслу: начнем с того, что

стенки банкомата расположены на расстоянии 1100 мм друг от друга, что позволяет коляске свободно подъезжать к устройству. Глубина устройства - 600 мм, что позволяет инвалиду комфортно расположиться перед банкоматом, не упираясь в стену. Автомат оборудован механизмом регулировки высоты (что также является плюсом для карликовых людей), для этого на пользовательской панели слева расположены две кнопки "опустить" и "поднять". Человек, разместившийся перед устройством, нажимает кнопку "опустить" и регулирует автомат на удобную высоту. После окончания работы с устройством, человек может самостоятельно поднять банкомат, нажав на кнопку "поднять" или банкомат автоматически поднимется на стандартную высоту через 30 секунд после окончания работы.

Функционал для инвалидов по зрению: перед банкоматом на расстоянии 800 мм на полу расположено тактильное покрытие позволяющие слепому человеку понять, что перед ним препятствие. Весь текст и кнопки на пользовательской панели банкомата продублированы на азбуке Брайля. На нижней панели справа находится так называемая "карта" устройства. На ней в азбуке Брайля дана примерная карта расположения предметов взаимодействия человека с устройством [1]. Она наглядно показывает, в какой части устройства находится приемник карты, куда вставлять деньги и т.д. и приводит краткий план действий. Т.к. инвалид по зрению не может пользоваться сенсорным экраном без посторонней помощи, три кнопки под основной клавиатурой банкомата дублируют самые основные функции устройства. Кнопка «снять деньги», кнопка «положить деньги» - с этими операциями в состоянии справится любой инвалид по зрению. После нажатия одной из этих кнопок, банкомат озвучивает все необходимые действия, которые должен совершить пользователь. Третья кнопка - «вызов консультанта» - предназначена для тех случаев, когда слепому человеку нужно совершить более сложные операции.

Пользователям с ограниченными способностями, возможно, потребуется боль-

шее время на работу с устройством, поэтому мы рекомендуем устанавливать их по несколько штук в специально отведенных помещениях (что мы можем видеть и сейчас в большинстве отделений банков), чтобы не задерживать остальных пользователей.

Наше предложение по цветовой гамме – белая основа с синими атрибутами. Но, учитывая, что разные банки имеют разную цветовую гамму, синий может быть заменен на любой другой цвет. Белую основу рекомендуем не изменять.

На рисунке 1 представлена выполненная разработка.

Заключение: добавив все вышеперечисленные функции в современный банкомат, мы без особых затруднений значительно расширим круг пользователей, сделаем его удобным не только для стандартных пользователей, но и для людей с ограниченными способностями, что в большей степени удовлетворяет концепции универсального дизайна.



Рис. 1. Универсальный банкомат.

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухта М.С. и др. Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с.

УДК 7.05

ОСНАЩЕНИЕ МЕТРОПОЛИТЕНА СПЕЦИАЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ДЛЯ СБОРА МУСОРА

Шемрикович О.М., студент кафедры
компьютерного дизайна

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Соколова М.Л. e-mail: dssml@rambler.ru

Работа посвящена разработке специального дизайна баков для мусора. Эти устройства обладают повышенной антивандальной и антитеррористической защитой. Внешний вид соответствует цветовому решению, характерному для московского метрополитена.

Ключевые слова: дизайн, метрополитен, защита, устройство для сбора мусора, цветовое решение..

EQUIPMENT OF THE UNDERGROUND SPECIAL RECYCLE BINS

Shemrikovich O.M.

Physics and Technology Institute of Moscow technical university

© Correspondence author: Sokolova M.L. e-mail: dssml@rambler.ru

Work is devoted to development of special design of recycle bins. These devices possess the increased anti-vandal and anti-terrorist protection. Appearance corresponds to the color scheme characteristic of Moscow Metro.

Keywords: design, underground, defense, recycle bin, color scheme.

В настоящее время московский метрополитен не оснащен баками для приема мусора, что понижает комфорт пассажиров. Поэтому целью данной работы стало проектирование специального дизайна устройств для сбора мусора, которыми можно оснастить метрополитен.

Проект устройства учитывает принципы универсального дизайна. На рисунке 1 приведена эргономическая [1] схема использования для различных категорий пассажиров метрополитена.



Рис. 1. Эргономическая схема использования устройства для сбора мусора в метрополитене.

Конструкция устройства для сбора мусора имеет съемный бак, который удобно брать и вынимать из каркаса с последующей заменой на новый. Бак предназначен для многократного использования.

В корпусе устройства для сбора мусора имеются специальные пластины, предназначенные для сканирования отходов. При попадании запрещенного химического вещества в бак крышка устройства плотно закрывается и блокируется, работая как капсула, и подается сигнал охранной службе звуком и светом (предусмотрена специальная лампа). Корпус устройства выполнен в виде многослойной конструкции: сталь, полимер, сталь. Такой материал служит для удержания взрывной волны.

При работе в стандартном режиме каждый час крышка плотно закрывается и подается сигнал для очищения (загорается лампа на крышке).

Для защиты от вандализма крышка в закрытом состоянии усилена электромагнитами. Устройство закреплено у полу четырьмя стальными винтами.

Цветовая гамма [2] для внешнего корпуса устройства соответствует цветам характерным для московского метрополитена.

На рисунке 2 дано итоговое представление проекта.

Таким образом, спроектированное устройство для сбора мусора в

метрополитене обеспечит повышение комфорта для пассажиров и при этом не снизит их безопасность.



Рис. 2. Проект устройства для сбора мусора в метрополитене

Список литературы

1. Соколова М.Л., Лобацкая Р.М. Кухта М.С. и др. Дизайн. М.: МГУПИ, 2013. 142 с.
2. Кухта М.С., Куманин В.И., Соколова М.Л.

и др. Промышленный дизайн. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 213 с

УДК 666.119.42

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СТЕКЛА В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ФЬЮЗИНГ

Комиссаров С.А., магистрант

Московский технологический университет,
 Физико-технологический институт, г. Москва,
 119454, Российская Федерация

Автор для переписки: Комиссаров С.А. e-mail:
 komxelon@gmail.com

Работа посвящена, зачастую возникающим, при использовании технологии фьюзинг, проблемным вопросам. Проблемы технологии художественной обработки стекла рассматривались в работах многих исследователей: Алексеенко М.П., Дворникова О.К., Бессмертный В.С., Галымов Э.Р. и др., однако все еще недостаточно описаны связи между термической обработкой и передачей цветовых соотношений.

Ключевые слова: технология фьюзинг, стекло, дефекты.

EMERGENCE OF GLASS DEFECTS IN THE PROCESS OF PRODUCTS MANUFACTURING, USING FUSING TECHNOLOGY

Komissarov S.A.

Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow, 119454, Russian Federation

Corresponding author e-mail: komxelon@gmail.com

The work is devoted to the problematic issues arising from the use of fusing technology. The problems of the technology of artistic glass processing were considered in the works of many researchers: Alekseenko MP, Dvornikova O.K., Immortal B.C., Galimov E.R. and others, however, the relationship between heat treatment and the transfer of color ratios is still insufficiently described.

Keywords: Fusing technology, glass, defects.

Для установки оптимальных параметров варки стекла и выработки изделий, необходимо знать температурный интервал, при котором происходит кристаллизация стекла. В противном случае на стекле будет присутствовать избыточное количество дефектов, часто делающих выработанное изделие непригодным. Возможные нарушения химической и физической однородности, а так же инородные включения называют пороками стекла.

Однако реальное стекло всегда имеет то или иное количество пороков, для этого случая, для каждого типа стекла были составлены свои требования по количеству и характеру пороков. Самые высокие требования предъявляются к оптическому стеклу, а так же некоторым видам технического стекла, а самые наименьшие же к стеклу для производства тары и бутылочному. Общее свойство стеклянных пороков заключается в увеличении количества брака. Бывают пороки трех видов: стекловидные, кристаллические и газовые (рис. 1,а,б,в).

Причины появления газовых включений, заключаются в неполном удалении газообразных продуктов удаления шихты. В составе стекломассы всегда содержится количество растворенных остатков карбонатов и сульфатов. Данные остатки при подходящих условиях, таких как повышение температуры, восстановительной среде и при контакте с твердой поверхностью могут разлагаться с образованием газов.

Причины появления стекловидных пороков многообразны: это может быть и использование боя другого состава, и плохое

смешение шихты, нарушение химического состава шихты, вовлечение застойной стекломассы в рабочий поток.



а)



б)



в)

Рис. 1. а - пример газового порока стекла; б - стекловидный порок, свиль; в - стекловидный порок, шпир [1].

Чаще всего причиной данного вида включений является коррозия огнеупоров. Стекло взаимодействует с огнеупорами как химически, так и механически. Ко всему этому в стекломассу переходят не только химические элементы огнеупоров по достижении растворения, но и частицы огнеупоров, отрывающиеся в процессе размывания движущейся стекломассой.

При промышленном производстве художественных изделий, изготавливаемых по технологии фьюзинг, дефекты и пороки стекла связаны в основном с характеристиками используемых материалов. Стекло, используемое в технологии фьюзинг, обладает своим температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР). Это значение характеризует относительное удлинение образца стекла при нагревании его на 1 °С.

В процессе формообразования художественного изделия при спекании мо-

гут возникать дефекты, характерные исключительно для данной технологии, В работе, проведенной Дайнеко В.В. (Таблица 1) [2] наглядно были выявлены типы возможных дефектов, а так же причины их возникновения.

Таким образом было определено, что причиной многих дефектов, таких как помутнение прозрачной подложки, цвет-

ного стекла, изменение цвета стекла, трещины, некачественное оплавление краев изделия, может выступать неправильно определенная оловянная сторона стекла, сочетание при запекании стекол с разными показателями ТКЛР, стекло низкого качества, а так же несоблюдение температурных режимов в процессе фьюзинга.

Таблица 1

Характеристики стекла и возможные дефекты при спекании

Название стекла	Толщина стекла	Температура запекания и выдержки	Возможные дефекты при запекании	Причины возникновения дефектов
Clear Sheet Glass (основа, подложка) прозрачная	4 мм	450–750°C Выдержка 20–30 мин	Помутнение, трещины, некачественное оплавление краев изделия	Несовместимость КТР, изнаночная сторона подложки
Синее Transparent (прозрачное)	4 мм	450–750°C Выдержка 20–30 мин	Не меняет цвет, не мутнеет в диапазоне температур запекания 450–780 °C	Стекло для фьюзинга КТР 96 не имеет дефектов при запекании
Зеленое Transparent (прозрачное)	3 мм	450–750°C Выдержка 20–30 мин	Не меняет цвет, не мутнеет в диапазоне температур запекания 450–780 °C	Стекло для фьюзинга КТР 96 не имеет дефектов при запекании
Желтое Transparent (прозрачное)	3 мм	450–750°C Выдержка 20–30 мин	Помутнение, изменение цвета	Стекло для фьюзинга КТР 96, кристаллизация химического состава стекла
Оранжевое Transparent (прозрачное)	3 мм	450–750°C Выдержка 20–30 мин	Помутнение, изменение цвета	кристаллизация химического состава стекла
Красное Стекланные камушки System 96 (геммы)	5 мм	450–750°C Выдержка 20–30 мин	Из прозрачного стекло становится матовым	кристаллизация химического состава стекла
Черное Стекланная крошка System 96 (геммы)	Крошка 0,5–0,9 мм	450–750 °C Выдержка 20–30 мин	Крошка не меняет цвет, не мутнеет в диапазоне температур запекания 450–780 °C	Стекло для фьюзинга КТР 96 не имеет дефектов при запекании

Список литературы

1. Rozhkov S.A., Brazhnik D.A., Serov A.V. Some problems of automatic control of defects of glassworks <http://lib.znate.ru/docs/index-208865.html>.
 2. Дайнеко В.В. Дизайн изделий из стекла в технологии фьюзинга [\[ence/2014/gefence/2014_15/v_daineko/dis_1.pdf\]\(http://ence/2014/gefence/2014_15/v_daineko/dis_1.pdf\).
 3. Ф.Бах, Г.К.Баукке, Р.Брюкнер и др.; под ред. Г.Иебсена-Марведеля и Р.Брюкнера. Виды брака в производстве стекла. Сокращенный перевод с немецкого Л.Г.Байбурт и др.; Под ред.Н.Н.Рохлина. М.: Стройиздат, 1986, с.648.
 4. Под общей редакцией Б.М. Михайлова. М.:](http://www.istu.edu/docs/sci-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Основы технологий художественной обработки материалов по видам материалов:

*Учебник для вузов МГАПИ 2005, с.191.
5. Комиссарова С.А. личный архив*

УДК 7.05

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ СО ВСТРОЕННЫМ МЕХАНИЗМОМ ПУТЕМ ПЕЧАТИ МЕТАЛЛОМ

Мамедова И. Ю., доц, ктн, зав. каф. "Компьютерный дизайн";
Мартынов М. А., аспирант

*Московский технологический университет,
физико технологический институт*

*© Автор для переписки: Мартынов М.А. e-mail:
maks_im91@list.ru*

В данной статье представлен обзор плюсов и минусов изготовления ювелирных изделий методом печати 3D модели металлом. Проведенное исследование позволяет утверждать, что с внедрением аддитивных технологий в ювелирную промышленность, производство улучшит качество изготавливаемой продукции, и сможет производить украшения со встроенным механизмом обхода стадии его монтирования.

Ключевые слова: Ювелирное производство, 3D печать, аддитивная технология, печать металлом, "многостадийная печать".

JEWELRY MAKING WITH A BUILT-IN MECHANISM BY PRINTING METAL

Mamedova I. Yu.¹;
Martynov M. A.¹

Moscow state technical University, physico technological Institute

© Corresponding author e-mail: maks_im91@list.ru

This article presents an overview of the pros and cons of making jewelry by printing 3D models of the metal. The study suggests that with the introduction of additive technologies in the jewelry industry, production will improve the quality of manufactured products, and will be able to produce jewelry

with a built-in mechanism for bypassing the stage of his mount.

Keywords: Jewelry manufacturing, 3D printing, additive technology, printing metal, "sequential printing".

В наше время мало кого можно удивить 3D принтерами. Машина, печатающая пластиком, есть по статистике у каждого 10 человека, не беря во внимание фирмы и крупные предприятия. У аддитивной технологии, так популярной в последнее время, есть огромное количество как плюсов, так и минусов, главным из которых остается: невозможность воссоздания прототипа в нужном материале с определенными свойствами.

В настоящее время 3D-печать металлом рассматривается, как одна из наиболее перспективных технологий, ведь она значительно облегчает технический и производственный процессы, а также позволяет предприятию экономить бюджет на заработной плате работников, ведь один 3D принтер может заменить до 10 человек на производстве.

Рассматривая способы печати металлом, можно выделить несколько технологий, являющихся новейшими на сегодняшний момент, их использование не превышает 5 лет: *Selective Laser Melting (лазерное спекание)* и *Laser-aided Direct Metal Tooling (Метод наплавления)*. Для дачи оптимальной оценки и выделения наиболее подходящей из них для ювелирной промышленности, следует рассмотреть технологии подробнее.

Процесс печати по технологии *Selective Laser Melting* заключается в послойном спекании частиц порошкообразного металла (металлическая пыль) до образования физического объекта по заданной САД-модели. Спекание порошка происходит под воздействием луча одного или нескольких лазеров (Рис.1).

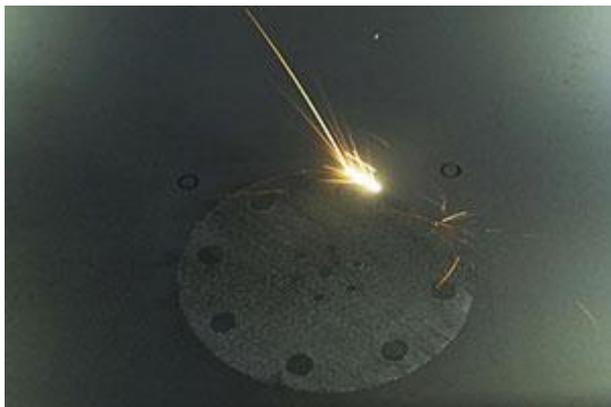


Рис.1. Момент удара лазера в металлическую пыль 3D принтером

Процесс печати начинается с разделения цифровой 3D-модели изделия на слои толщиной от 20 до 100 мкм с целью создания 2D-изображения каждого слоя изделия. Отраслевым стандартным форматом является STL- файл. Этот файл поступает в специальное машинное ПО, где происходит анализ информации и ее соизмерение с техническими возможностями машины.

На основе полученных данных запускается производственный цикл построения, состоящий из множества циклов построения отдельных слоев изделия (Рис.2). Цикл построения слоя состоит из типовых операций:

1. нанесение слоя порошка заданной толщины (20-100 мкм) на плиту построения, закрепленную на подогреваемой платформе построения;
2. сканирование лучом лазера сечения слоя изделия;
3. опускание платформы вглубь "колодца" построения на величину, соответствующую толщине слоя построения.

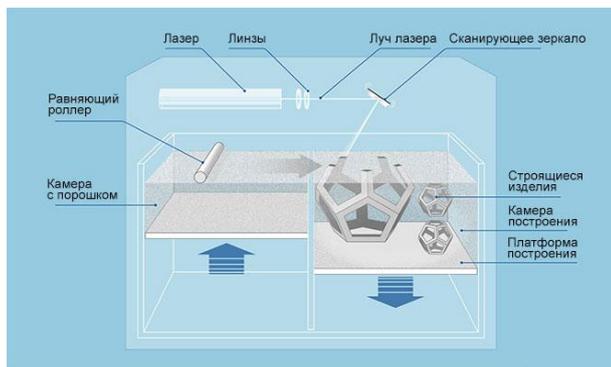


Рис.2. Цикл построения слоя модели

При подробном рассмотрении метода Direct Metal Tooling, можно отметить, что процесс создания металлических изделий методом прямого послойного построения заключается в процедуре сплавления мелкодисперсных частиц металлического порошка лазером непосредственно по CAD-модели (Рис.3).



Рис.3. Процесс наплавления металла лазерным экструдером

Основным отличием от SLM является способ подачи металлического порошка. В процессе SLM порошок равномерно многократно распределяется на платформе построения и послойно сплавляется лазером при вертикальном перемещении платформы, в процессе DMT материал в необходимом количестве подается точно в область плавления образованную на поверхности заготовки при воздействии на нее лазерного излучения. Другими словами: нагревание происходит непосредственно в экструдере (Рис.4) и происходит печать металлом в расплавленном (не жидком) виде.

По вышеизложенным материалам статьи можно сделать вывод, что обе технологии 3D печати металлом подходят для создания ювелирных украшений. И в первом и во втором случае, достигается максимальная точность печати с минимальным объемом расходного материала (металлического порошка). Технологии не предъявляют жестких требований к металлическим порошкам, что позволяет снизить издержки на 3D-печать. Способы позволяют организовать производство ювелирных деталей, в конструкции которых

предусмотрены сложные внутренние элементы, такие как филигрань...

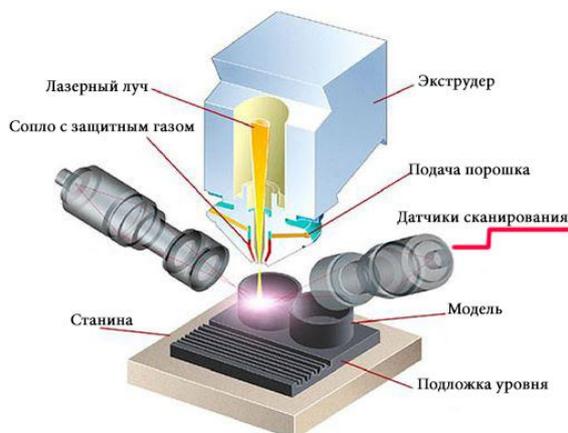


Рис.4. Процесс наплавления металла лазерным экструдером

Говоря о минусах данных технологий, можно однозначно сказать, что технология Direct Metal Tooling во многом превосходит технологию спекания. Рассматривая изготовление ювелирных изделий со встроенными механизмами, можно убедиться в том, что технология спекания не подходит по главному критерию.

При сравнительной печати обоими способами на двух разных принтерах было выявлено, что оба принтера не способны произвести печать изделия с внутренним механизмом. SLM технология не позволила выполнить печать изделия предполагающего механизм. Обусловлено это тем, что лазер спекает верхний слой порошкового металла нанесенный на уже спеченную подложку, вплавляя верхний слой в предшествующий. DMT метод также не дал положительных результатов, но в отличие от SLM метода, недостаток был устранен путем монтирования заранее изготовленного механизма в наполовину распечатанное изделие: процесс печати был приостановлен в определенный момент, на частично распечатанном изделии был размещен блок механизма, после чего процесс печати был возобновлен вновь .

Благодаря датчикам сканирования, принтер произвел отцифровку модели и продолжил печать с места остановки, спекая расположенный механизм с металлом изделия.

Без вмешательства в процесс печати оператором, все движущиеся детали спеклись при печати, что сделало механизм единой деталью в обоих случаях.

По итогам печати были произведены замеры качеств изделий, приведенных в таблице 1. Тест проводился используя металлический медный порошок Cu-Ni, с заполняемостью модели материалом на 60%.

Таблица №1

Свойства Принтер	σв, МПа	Твердость по Бринеллю(МПа)	Твердость по Моосу
DMT	520	852	3,6
SLM	511	796	3,8

Руководствуясь данными таблицы, сделан вывод, что качественно, способы практически не имеют различий.

Список литературы

1. Канесса Э., Фонда К., Зеннаро М. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития.// Международный центр теоретической физики Абдус Салам , МЦТФ, 2013, Отдел научных разработок.
2. 3D печать - плюсы и минусы различных технологий, и реализация на конкретных примерах.// <http://www.interface.ru/home.asp?artId=36742>
3. Кушнир А.П., Лившиц В.Б. Классификация технологий 3d печати «Дизайн. Теория и практика», выпуск 18, с. 74-84.
4. Мамедова И.Ю., Мартынов М.А., Коновалова Н.В. Перспективы 3D печати в ювелирном производстве и печати металлом в частности. «Дизайн. Теория и практика», выпуск 25, с.50-58.

УДК 747

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИЗУАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТСКОГО КАМПУСА

Рассади́на С.П., студент магистратуры направления 54.04.01, группы ЗДМЗ-01-16

Гой М.В., к.т.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Гой М.В e-mail: aleandr84@inbox.ru, Рассади́на С.П. e-mail: rswetp@yandex.ru

Работа посвящена обзору критериев оценки эффективности визуальной среды университета, а также выделению пространственных зон, требующих повышенного внимания при разработке навигационной системы, применяемой для ориентирования по кампусу университета. Приведены примеры вариантов кодирования информационных зон коммуникационных путей и пространств.

Ключевые слова: дизайн, навигационные системы, визуальная пространственная среда, университет, критерии оценки.

CRITERIA FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF VISUAL SPATIAL ENVIRONMENT OF THE UNIVERSITY CAMPUS

Rassadina S.P.
Goy M.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@Corresponding author: Goy M.V. e-mail: aleandr84@inbox.ru, Rassadina S.P. e-mail: rswetp@yandex.ru

The work is devoted to a review of the criteria of an effective visual environment of the University, as well as the allocation of spatial areas that require attention when designing a navigation system used for orientation on the University campus. Examples of encoding options information areas of the communication paths and spaces.

Keywords: design, navigation systems, visual spatial environment, the University evaluation criteria.

Современный университет имеет довольно сложную систему внутренних и внешних пространств, часто затрудняющую эффективное ориентирование абитуриентов, студентов, преподавателей и сотрудников вуза, что негативно влияет на психофизиологический комфорт пользователей и имидж университета.

В соответствии со сводом правил по проектированию зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения [1], основными требованиями к дизайну визуальной среды образовательных учреждений являются обеспечение доступности, безопасности, информативности и комфорта, что способствует эффективному ориентированию потоков людей в сложной системе университетского кампуса. Немаловажным фактором является и эстетическая привлекательность элементов навигационной системы, включенность элементов навигации в общую систему фирменного стиля учебного заведения.

Создание эффективной, с точки зрения ориентирования и комфортного использования различных категорий людей, визуальной среды, обеспечивается на различных стадиях проектирования объекта — от архитектурного проектирования здания, проработки дизайна среды, графического оформления информационных зон до разработки световых табло и мультимедийных приложений для мобильных устройств [2].

К критериям оценки эффективности визуальной пространственной среды университета, которые должны учитываться на различных этапах разработки дизайн-проекта навигационной системы относятся [1]: беспрепятственное движение по коммуникационным путям и пространствам, достижение места целевого назначения или обслуживания, возможность своевременного опознавания и реагирования на места и зоны риска, отсутствие плохо воспринимаемых мест пересечения путей движения, предупреждение потребителей

о зонах, представляющих потенциальную опасность, пожарная безопасность, использование средств информирования, соответствующих особенностям различных групп потребителей своевременное распознавание ориентиров в архитектурной среде общественных зданий, точная идентификация своего места нахождения и мест, являющихся целью посещения, возможность иметь непрерывную информационную поддержку на всем пути следования по зданию, создание условий для минимальных затрат и усилий маломобильных групп населения на удовлетворение своих нужд, сокращение времени и усилий на получение необходимой информации.

С помощью средств графического дизайна могут решаться следующие актуальные задачи: выделение информации специального назначения, предупреждение об опасности, поиск и опознавание объекта, выделение сигналов при их большом количестве, выделение групп элементов, точки контроля, выделение функциональных зон.

С точки зрения дизайна среды и дизайна навигационной системы, университетский кампус можно разделить на две зоны: внутреннюю и внешнюю (рис. 1).

К внутренней зоне, относятся коммуникационные, рекреационные пространства и

помещения, в том числе зоны и места отдыха и ожидания, санитарно-гигиенические помещения. Внешнюю зону кампуса формируют территории вокруг корпусов, общежитий и других важных зон университета. Здесь также требуется разработка системы навигации, но нужен несколько иной подход, чем для внутренней зоны.

К коммуникационным путям и пространствам относятся [1]: входы и выходы; вестибюльные группы; зоны и помещения, предназначенные главным образом для пешеходного движения; части функциональных и рекреационных зон, содержащие пути движения пешеходов; вертикальные средства передвижения с помещениями и площадками перед ними; лестницы и пандусы с поворотными и разворотными площадками.

Эти помещения, как правило, имеют сложную пространственную структуру, что предъявляет повышенные требования к структуре, разработке алфавита кодирования и дизайну информационных зон и узлов системы навигации.

Учебные аудитории, кабинеты и прочие помещения длительного нахождения людей обычно не требуют разработки сложных навигационных элементов.

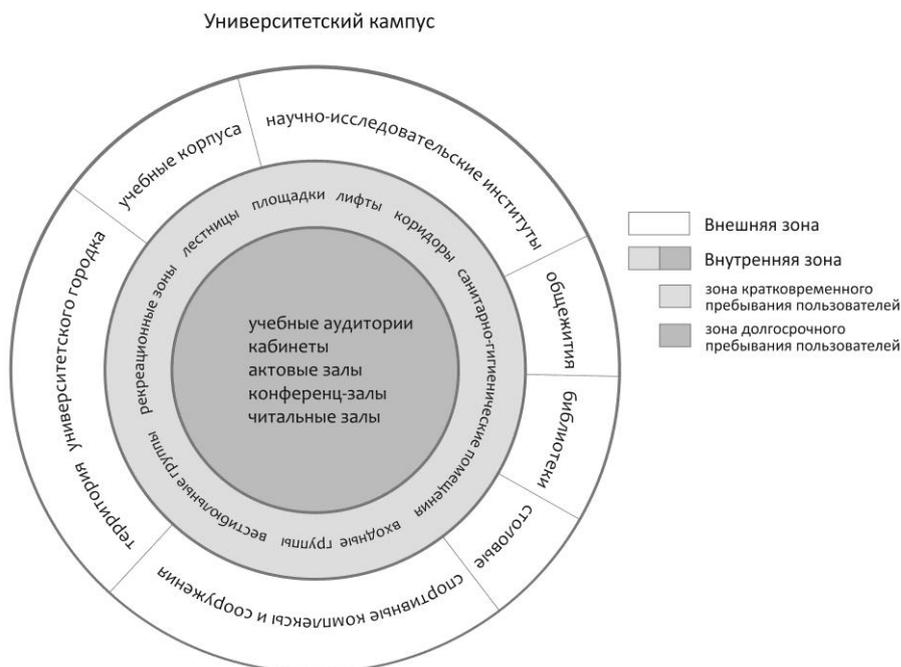


Рис. 1. Схема разделения университетского кампуса на зоны

В дизайне навигационных систем для кодирования информации часто применяется многомерное кодирование [3, 4]. При разработке элементов навигации используются различные способы кодирования информации объектов пространственной среды. Так, для выделения информации специального назначения (аварийной, противопожарной и т.д.) могут быть применены алфавиты кода формы, размеров и цвета. Для поиска и распознавания объекта - алфавиты кода формы, буквенно-цифровой, яркости, цвета, частоты мельканий, символов. Для выделения групп элементов применяется кодирование по форме, буквенно-цифровое и по цвету. Например, для кодирования информации, размещаемой в фойе университетского корпуса используют: кодирование цветом, буквенно-цифровое кодирование, кодирование формой и пространственной ориентацией.

Конструктивно информационные элементы навигации оформляются в виде:

- табличек
- указателей
- информационных зон (информационных стендов)
- информационных узлов.

При разработке дизайна визуальной пространственной среды университетского кампуса необходимо учитывать также эргономические требования, касающиеся размещения и характера исполнения элементов навигации: расстояние, с которого сообщение может быть эффективно воспринято; углы поля наблюдения, удобные для восприятия зрительной информации;

ясное начертание и контрастность, а при необходимости - рельефность изображения; соответствие применяемых символов или пластических приемов общепринятому значению; исключение помех восприятию информационных средств [1].

Таким образом, применение навигационных систем, помогающих ориентированию пользователей в университетском кампусе — важная задача, имеющая комплексное решение, связанное с информационной и пространственной средой вуза. Для решения данной задачи необходим анализ схем-карт зданий, маршрутов и интенсивности перемещения потоков людей, учет существующего фирменного стиля и архитектурного и исторического контекста.

Список литературы

1. СП 35-101-2001. Проектирование зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения. Общие положения.
2. Сорокина Д. Е., Рассадина С.П. Анализ опыта использования навигационных систем в среде образовательных учреждений // *Культура и искусство в современном образовательном пространстве: материалы всерос. науч.-практ. конф., Кострома, 27 февр. 2017 г.* / Кострома : КГУ, 2017. - с. 54-57.
3. Березкина, Л.В. *Эргономика [Электронный ресурс] : учеб. пособие* / Л.В. Березкина, В.П. Кляуззе. – Минск: Выш. шк., 2013. – 431 с.: ил.
4. Шерстникова Т. А. Особенности адаптации маломобильных групп граждан в городской среде // *Молодой ученый.* - 2012. - №6. - С. 58-61.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА И ОПТИКА»

Руководитель: Сигов А.С., академик РАН, д.ф.-м.н.
президент МИРЭА

УДК 537.9; 535.211; 535-15

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКРОСТРУКТУР В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ PZT

**Елшин А.С., стажер-исследователь;
Мишина Е.Д., д.ф.-м.н., заведующий
лабораторией, профессор**

Физико-технологический институт Московского технологического университета

*© Автор для переписки: Елшин А.С. e-mail:
elshin_andrew@mail.ru*

Работа посвящена исследованию процессов взрывной кристаллизации в пленках PZT при локальном нагреве интерфейса PZT/Pt лазерным излучением инфракрасного диапазона (800 нм). Было обнаружено, что местом инициации кристаллизации может являться не самый нагретый интерфейс, а поверхность сегнетоэлектрика. Такое поведение возможно из-за наличия растягивающих напряжений на интерфейсе вследствие нагрева.

Ключевые слова: лазерный отжиг, взрывная кристаллизация, сегнетоэлектрические тонкие пленки, вторая гармоника

LASER-INDUCED FERROELECTRIC MICROSTRUCTURE CRYSTALLIZATION IN THIN PZT FILMS

**Elshin A.S.;
Mishina E.D.**

Moscow technological university. Physico-technological institute

*© Corresponding author e-mail:
elshin_andrew@mail.ru*

The work is dedicated to the explosive crystallization in thin PZT films by local heating of the PZT/Pt interface by IR (800 nm) focused laser radiation. It was observed that PZT surface can be the place of nucleation instead of the hotter PZT/Pt interface. Such behavior can be related to the tensile stresses in PZT/Pt interface due to heating.

Key words: laser annealing, explosive crystallization, ferroelectric thin films, second harmonic

Взрывная кристаллизация представляет собой интересный с точки зрения кинетики режим кристаллизации [1,2]. В этом случае, во время движения фронта кристаллизации, высвобождается скрытая теплота, которая поддерживает движение фронта. Если кристаллизация происходит в пленке, то напряжения, возникающие в ней, могут оказать существенное влияние на процесс. Это показано в эксперименте по локальной лазерной кристаллизации пленок квазиморфного сегнетоэлектрического прекурсора фемтосекундными импульсами в структурах PZT/Pt/SiO₂/Si [3,4]. Напряжения возникли на границе пленка/металлизированная подложка из-за разницы коэффициентов термического расширения (температура на интерфейсе самая высокая в системе из-за поглощения лазерного луча металлическим слоем). Это видно по симметричным отслоениям пленки по обеим сторонам от нагретой области, рис. 1.

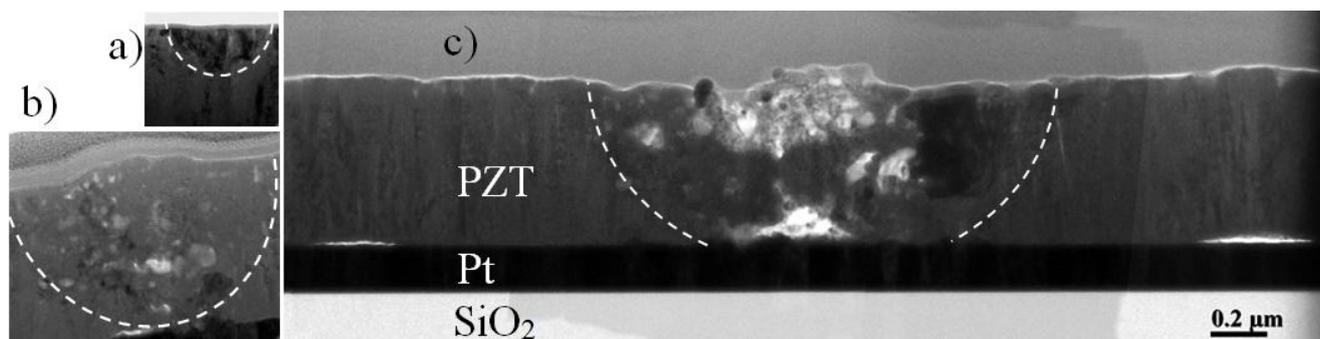


Рис. 1. Просвечивающая электронная микроскопия. Срез кристаллизованных областей с разным временем облучения. а – 0,1 с, б – 4 с, с – 11 с.

Авторы благодарят Жигалину О.М., институт Кристаллографии РАН за эти исследования. Вследствие этих напряжений, кристаллизация начиналась от свободной поверхности, а не от интерфейса пленка-металлический слой, на котором поглощалось излучение лазера. Для теоретического описания использована модель для взрывной кристаллизации [5]. Экспериментальные параметры кристаллизации (радиусы кристаллизованных областей) попали в согласие с расчетом. Рассчитана скорость фронта кристаллизации, зависящая от расстояния от центра. Максимальная величина скорости составила 1,2 см/с. В проделанных расчетах пока были сделаны некоторые упрощения, а именно, не учтено влияние толщины сегнетоэлектрика. Так, существуют два конкурирующих влияния на процесс инициации кристаллизации. С ростом толщины пленок PZT, разница температур между нагретым интерфейсом PZT/Pt и поверхностью PZT будет расти. С другой стороны, с ростом толщины пленок, напряжения на поверхности будут уменьшаться, тем самым уменьшая критическую температуру кристаллизации.

Методом лазерного отжига можно получать как локальные сегнетоэлектрические области, так и более сложные структуры, например, волноводы (рис. 2). Такие структуры могут найти применение в МЭМС технологиях, фотонике.

Благодаря проделанным расчетам можно получать структуры сегнетоэлектрической фазы с заранее заданным размером вплоть до сотен нанометров.

Нелинейно-оптическая диагностика функциональных областей показала распределение сегнетоэлектрической фазы.

Определены оптимальные режимы кристаллизации (длительность и плотность мощности излучения) для получения структур с лучшими нелинейно-оптическими свойствами. Пьезосиловая микроскопия показала переключаемость поляризации в полученных структурах.

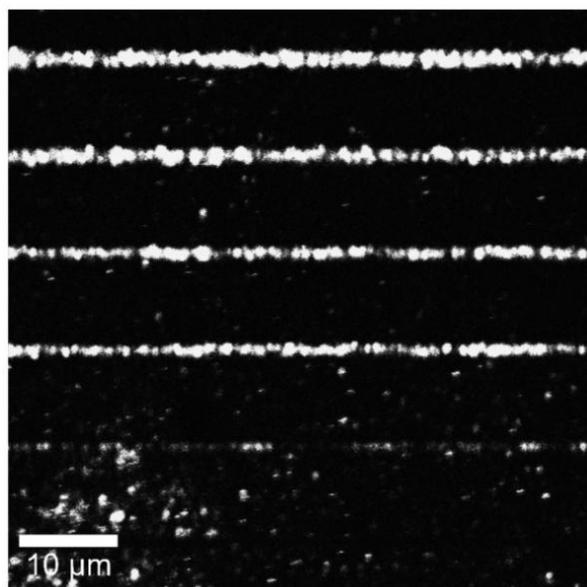


Рис. 2. ГВГ изображение волноводных структур, отличающихся плотностью мощности лазера 60-160 мВт (снизу вверх) с шагом 20 мВт. Скорость отжига 50 мкм/с.

Список литературы

1. Шкловский В.А., Кузьменко В.М. Взрывная кристаллизация аморфных веществ / Успехи физ. наук. №157(2). 1989. С. 311-338
2. Geiler H.D., Glaser E., Götz G. et al. Explosive crystallization in silicon / J. of app. phys. №59(9). 1986. p. 3091-3099
3. Elshin A.S., Pronin I.P., Zhigalina O.M. et al. Reverse-directional explosive crystallization of microstructures in transparent film on absorbing

substrate by a multipulse femtosecond radiation / Sol. St. Comm. №224. 2015. p. 5-9

4. Тентилова И.Ю., Кукушкин С.А., Каптелов Е.Ю. и др. Особенности процесса кристаллизации тонких сегнетоэлектрических пленок цирконата-титаната свинца / Письма в ЖТФ №37(4). 2011. С. 37-43

5. Emel'yanov V.I., Panin I.M. Heat "Superemission" and Nucleation-Front Propagation

Laser-Induced Crystallization of Thin Amorphous Films / App. Phys. A. №57(6). 1993. p. 561-566

УДК 621.391.6

ДИСПЕРСИОННЫЕ ИСКАЖЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ В МИКРОВОЛНОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Заdernовский А.А.¹, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой;
Солодков А.Ф.², к.ф.-м.н., ведущий инженер
Щербаков В.В.², к.т.н., главный конструктор, технический директор

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²АО «Центр волоконно-оптических систем передачи информации»

© Автор для переписки: **Заdernовский А.А.** e-mail: zadernovsky@mirea.ru

Представлены теоретические и экспериментальные результаты исследования дисперсионных искажений сигналов в аналоговых волоконно-оптических линиях связи с прямой микроволновой модуляцией интенсивности лазерного излучения и прямым детектированием оптического сигнала с помощью фотодиода на выходе из оптоволокна.

Ключевые слова: аналоговые волоконно-оптические линии связи, частотный чирп лазерного излучения, дисперсионные искажения сигнала

DISPERSIVE DISTORTIONS OF ANALOG SIGNALS IN MICROWAVE FIBER-OPTIC LINKS

Zadernovsky A.A.¹;
Solodkov A.F.²
Shcherbakov V.V.²

¹Moscow technological university. Institute of physics and technology

²JSC "Center VOSPI"

© Corresponding author e-mail: e-mail: zadernovsky@mirea.ru

We present experimental and theoretical results of the study on dispersive distortions of signals in analog fiber-optic links with direct microwave modulation of laser light intensity and direct detection of the optical signal by a photodiode at receiver end of the fiber.

Key words: analog fiber-optic links, frequency chirp of laser light, dispersive signal distortions

Простейшие аналоговые волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) с прямой модуляцией интенсивности лазерного излучения на входе в оптоволокно (посредством варьирования инжекционного тока полупроводникового лазера), транспортировкой оптического сигнала по волокну и прямым детектированием оптического сигнала с помощью фотодиода на выходе из оптоволокна, остаются востребованными для различных применений. Среди них, например, бортовые ВОЛС специального назначения, позиционно разнесенные системы радиолокации, антенные системы, удаленные от пунктов управления и обработки информации и другие.

Вместе с тем, у аналоговых ВОЛС есть значительные недостатки. К наиболее существенным из них относятся линейные и нелинейные искажения выходного сигнала. Линейные искажения проявляются в

неравномерности частотной характеристики, а именно в подавлении сигнала (вплоть до уровня шума) на выходе из волокна при определенных частотах модуляции [1]. Такое поведение сигнала является типичным для ВОЛС с использованием стандартного одномодового оптоволокна и одночастотного лазера с длиной волны 1550 нм и обусловлено дисперсией групповой скорости электромагнитных волн в волокне.

При больших плотностях мощности излучения в оптоволокне заметную роль начинают играть нелинейно-оптические явления, приводящие к разнообразным нелинейным искажениям передаваемых сигналов [2]. Причиной таких явлений является изменение свойств материала оптоволокна под действием распространяющегося в нем света большой интенсивности. Дисперсия групповой скорости электромагнитных волн в волокне и эффект частотного чирпа лазерного излучения [2-3] приводят к нелинейным искажениям особого рода. Такие нелинейные искажения не и связаны с мощностью передаваемого сигнала и имеют место даже при малых интенсивностях лазерного излучения. Дисперсионные нелинейные искажения проявляются в том, что в сигнале фототока приемника излучения на выходе из волокна, кроме гармоники на частоте модуляции, обнаруживаются и высшие гармоники этой частоты.

В данной работе представлены теоретические и экспериментальные результаты исследования передачи сигналов в аналоговых волоконно-оптических линиях связи. Последовательно рассмотрены все этапы прохождения сигнала. Сначала, преобразование входного электрического сигнала в оптический сигнал модуляции интенсивности света источника. Затем, транспортировка оптического сигнала в одномодовом волокне с хроматической дисперсией и, наконец, обратное преобразование оптического сигнала в электрический при его прямом детектировании с помощью фотодиода на выходе из волокна. Подробно исследуется влияние частотного чирпа излучения на линейные и нелинейные дисперсионные искажения сигнала. Для нескольких ВОЛС различной протяженности с прямой модуляцией интенсивности света

лазера экспериментально получена зависимость относительной мощности оптического сигнала на выходе из волокна от частоты модуляции. Экспериментально и теоретически исследуется относительный вклад высших гармоник частоты модуляции. Получены простые аналитические выражения для частот модуляции с минимальной или с максимальной мощностью сигнала на выходе из оптоволокна, а также для частот, при которых следует ожидать минимальных дисперсионных нелинейных искажений.

Блок-схема стенда для измерения частотной характеристики ВОЛС в микроволновом диапазоне передачи аналогового сигнала модуляции интенсивности представлена на рис. 1.

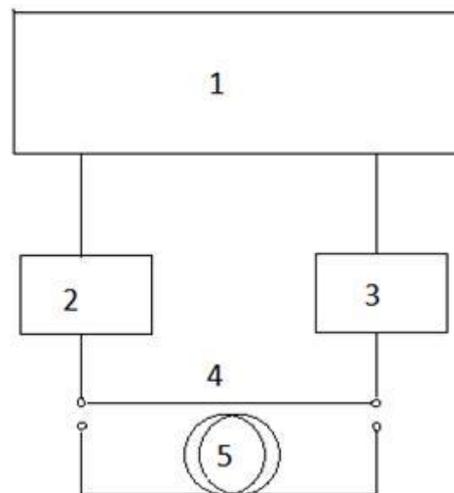


Рис. 1. Блок-схема стенда для измерения частотной характеристики ВОЛС

На этой схеме: 1 –анализатор цепей Agilent N5244A, 2 - одночастотный InGaAsP лазер NLKC5EBKA с длиной волны излучения 1550 нм, 3 – фотоприемник U2t, XPDV2150R с полосой приема до 50 ГГц, 4 – стандартный оптический одномодовый кабель длиной 1 м, 5 - набор катушек с оптоволоконным кабелем различной длины. Порядок работы состоит в следующем. Выход лазера 2 соединяется волоконным кабелем 4 со входом фотоприемника 3 и на экране анализатора 1 визуально определяется максимальный частотный диапазон без видимых шумов и резких изломов частотной характеристики. В

этом диапазоне (в нашем случае 10 МГц – 35 ГГц) коэффициент передачи нормируется на единицу. Затем кабель 4 заменяется одной из набора исследуемых катушек оптоволоконного кабеля и на экране анализатора получаем частотную характеристику ВОЛС. Выходная мощность лазера 2 не должна превышать величину 5-7 дБм из-за опасности возникновения в волокне стимулированного обратного рассеяния света (рассеяния Мандельштама-Бриллюэна) и искажения результатов измерений.

Полученные частотные характеристики при прямой модуляции интенсивности излучения лазера показаны на рис. 2 и представляют собой зависимость от частоты модуляции отношения (выраженного в децибелах) мощности сигнала на выходе из волокна к мощности входного сигнала для нескольких бухт стандартного одномодового оптоволокна различной длины L с коэффициентом дисперсии $D = 17$ пс/(нм км).

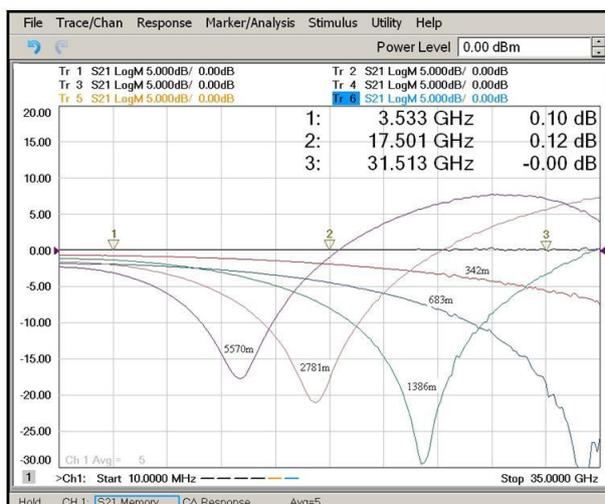


Рис. 2. Частотные характеристики ВОЛС различной протяженности

Теоретическая интерпретация представленных результатов включает частотный чирп лазерного излучения и дисперсию групповой скорости электромагнитных волн в оптоволокне. Оценка частот экстремумов мощности на рис. 1 приводит к

формуле

$$f_m = \frac{c}{\lambda} \sqrt{\frac{-\arctg\alpha + l\pi/2}{\pi DL}} \quad (1)$$

где нечетные целые значения l дают минимумы, тогда как четные целые l дают максимумы и α это параметр чирпа известный как фактор Генри. Величины экстремумов мощности сигнала определяются специальным параметром k известным как коэффициент адиабатического чирпа. Производители лазеров обычно не указывают параметров чирпа. Используя данные, представленные в работе [4] ($\alpha = 2.8 \pm 0.2$, $k = (11.4 \pm 0.5) \text{ с}^{-1} \text{ мВт}^{-1}$), мы получили хорошее соответствие между экспериментальными и теоретическими результатами.

В эксперименте наблюдались дисперсионные нелинейные искажения выходного сигнала. Установлено, что сигналы с частотами

$$f_m = \frac{c}{\lambda} \sqrt{\frac{l}{cDL}} \quad (2)$$

где $l=1, 2, 3, \dots$, подвержены минимальным нелинейным искажениям.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, Задание № 8.4853.2017/БЧ.

Список литературы

1. Meslener G.J. Chromatic dispersion induced distortion of modulated monochromatic light employing direct detection // *IEEE J. Quantum Electron.* - 1984. - v. 20(10). - p. 1208-1216.
2. Agrawal G.P. *Nonlinear Fiber Optics*. New York, Academic Press, 2013, 648 p.
3. Koch TL, Bowers JE. Nature of wavelength chirping in directly modulated semiconductor lasers // *Electronics Letters*. - 1984. - v. 20(25). - p. 1038-1041.
4. Villafranca A., Lasobras J., Garcés I. Precise characterization of the frequency chirp in directly modulated DFB lasers // *Proceedings of 6th Spanish Conference on Electronic Devices (San Lorenzo de El Escorial, Madrid, Spain 2007)*, p. 173-176.

УДК 621.373.8

**ЛИНЕЙНЫЙ
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ
ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТНОЙ
СТРУКТУРЕ АМОРФНЫЙ
СПЛАВ – АРСЕНИД ГАЛЛИЯ****Фетисов Л.Ю.**¹, к.ф.-м.н., доцент;
Чашин Д.В.¹, к.т.н.;
Савельев Д.С.¹;
Плеханова Д.Д.¹
Стогний А.И.²¹ Физико-технологический институт Московского технологического университета² Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь

© Автор для переписки: Фетисов Л.Ю. e-mail: fetisovl@yandex.ru

*Работа посвящена исследованию линейного магнитоэлектрического эффекта в слоистой композитной структуре типа ферромагнетик-пьезоэлектрик. В качестве пьезоэлектрика использовали подложку из полупроводникового материала AsGa, а в качестве ферромагнетика – аморфный магнитный сплав на основе железа.**Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, пьезоэлектрический эффект, полупроводник арсенид галлия***LINEAR MAGNETOELECTRIC
EFFECT IN A COMPOSITE
STRUCTURE METGLAS – AsGa****Fetisov L.Y.**;¹
Chashin D.V.;¹
Saveliev D.V.;¹
Plehanova D.D.;¹
Stognii A.I.²¹ Moscow technological university. Physico-technological institute² SSPA “Scientific and Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus”

© Corresponding author: e-mail: fetisovl@yandex.ru

*The work is dedicated to the investigation of the linear magnetoelectric effect in a composite layered ferromagnetic-piezoelectric structure. A semiconductor piezoelectric AsGa substrate is used as a piezoelectric layer, and Fe based Metglas as ferromagnetic layer.**Key words: magnetoelectric effect, piezoelectric effect, semiconductor AsGa*

Композитные слоистые структуры ферромагнетик-пьезоэлектрик интересны для исследований тем, что в них наблюдается большой магнитоэлектрический (МЭ) эффект. Эффект возникает из-за взаимодействия магнитострикционного и пьезоэлектрического слоев, механически соединенных друг с другом. В качестве магнитострикционной компоненты используют различные металлы (Ni, Fe, Co), сплавы (FeNi, FeCo, FeGa), ферриты либо аморфные магнитные сплавы. В качестве пьезоэлектриков чаще всего используется керамика на основе цирконата - титаната свинца (ЦТС). Это вызвано тем, что она имеет хорошие диэлектрические и пьезоэлектрические свойства. Кроме пьезокерамики также используют AlN, и различные пьезополимеры (ПВДФ). Недавно было предложено использовать в качестве пьезоэлектрического слоя пластины арсенид галлия [1]. Это материал, обладающий одновременно полупроводниковыми и пьезоэлектрическими свойствами, получивший широкое распространение в микроэлектронике, в частности в области СВЧ техники [2].

В опубликованных работах был исследован МЭ эффект структуры в виде подложек арсенида галлия, металлизированных, с одной стороны, тонкими пленками никеля или кобальта, а с другой – золота (Ni – GaAs-Au, Co-GaAs-Au) [1,3]. В тоже время, известно, что максимальное МЭ взаимодействие в композитных структурах было получено в структурах, где в качестве магнитострикционного слоя применяли аморфную магнитную ленту на основе железа, обладающую константой магнитострикции $\lambda \sim 20 \cdot 10^{-6}$.

Поэтому в данной работе нами исследовалась двухслойная структура, состоящая из подложки арсенида галлия, с нанесенными золотыми электродами и аморфного сплава фирмы Metglas (FeSiCB). Слои со-

единяли при помощи эпоксидного клея. Размеры образца: 13,5 мм x 5 мм x 0,4 мм. Измеренная частотная зависимость диэлектрической проницаемости подложки арсенида галлия приведена на рисунке 1.

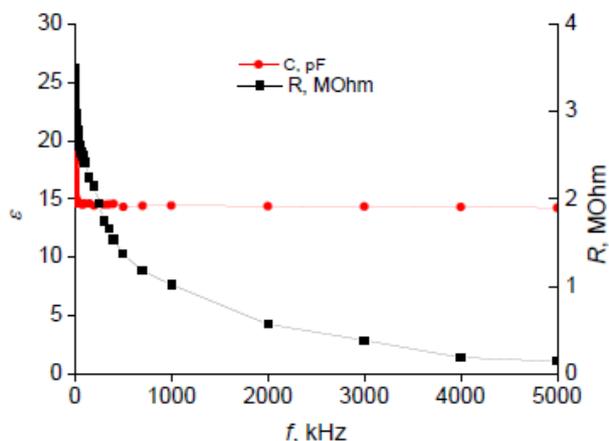


Рис. 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости и сопротивления подложки арсенида галлия.

Видно, что практически во всем диапазоне измеренных частот значение было практически постоянным и равнялось 15. Измерения проводили при помощи измерителя RLC Актacom АМ3026.

Измерение частотных зависимостей МЭ эффекта структуры показало наличие резонансного максимума на частоте $f = 174,340$ кГц (рис. 2). Измерения проводили при амплитуде возбуждающего поля $h \sim 0,1$ Э, постоянного поля $H = 15$ Э. Магнитоэлектрический коэффициент на частоте резонанса составил $\alpha = 16,5$ В/(Э · см). Добротность резонанса составила $Q \sim 1855$. Аналогичные измерения получили для частоты изгибных колебаний. Добротность резонанса оказалась меньше соответствующего значения для структуры с напылённым слоем никеля $Q = 8000$ [2].

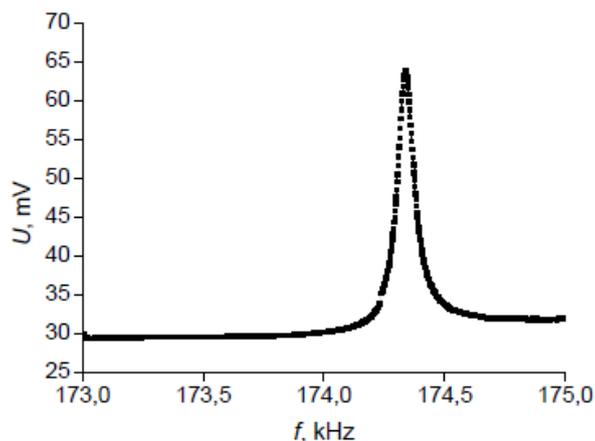


Рис. 2. Частотная зависимость магнитоэлектрического напряжения структуры аморфный сплав – арсенид галлия.

Таким образом, было проведено исследование магнитоэлектрического эффекта в двухслойной композитной структуре на основе арсенида галлия и аморфного магнитного сплава. Величина МЭ коэффициента на частоте резонанса продольных колебаний составила $\alpha = 16,5$ В/(Э · см), добротность $Q \sim 1855$.

Список литературы

1. Лалетин В.М., Стогний А.И., Новицкий Н.Н., Поддубная Н.Н. Магнитоэлектрический эффект в структурах на основе металлизированных подложек арсенида галлия / Письма в ЖТФ. Т. 40. Вып. 21. 2014. С. 71 – 78.
2. Sze S.M., Kwok K.Ng. Semiconductor devices, physics and technology. New Jersey: Wiley, 1985. 1032 p.
3. Филиппов Д.А., Фирсова Т.О., Лалетин В.М., Поддубная Н.Н. Магнитоэлектрический эффект в структуре никель – арсенид галлия – никель / Письма в ЖТФ. Т. 43. Вып. 6. 2017. С. 72 – 77.

УДК 538.958; 538.911; 535.14

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
 ИСКУССТВЕННО СОЗДАННЫХ
 ДЕФОРМАЦИЙ В БУФЕРНОМ
 СЛОЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С
 АКТИВНЫМ СЛОЕМ
 $In_{0,38}Ga_{0,62}As$ НА ПРОЦЕССЫ
 ГЕНЕРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ
 ТОКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
 УЛЬТРАКОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ
 ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ
 СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
 УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ
 ИНФОРМАЦИИ.**

Хусяинов Д.И.¹, магистрант, стажер-исследователь;

Билык В.Р.¹, аспирант, стажер-исследователь;

Гришунин К.А.¹, аспирант, стажер-исследователь;

Буряков А.М.¹, аспирант, стажер-исследователь;

Шерстюк Н.Э.¹ к.ф.-м.н., доцент, с.н.с.;

Мишина Е.Д.¹, д.ф.-м.н., профессор, зав.лаб.;

Ячменев А.Э.², к.ф.-м.н, м.н.с.;

Пономарев Д.С.², к.ф.-м.н., зам. директора ИСВПЧЭ РАН по научной работе;

Хабибулин Р.А.², к.ф.-м.н., с.н.с.;

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²Институт сверхвысококачастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук

© Автор для переписки: Билык В.Р. e-mail: vrbilyk@mail.ru

Методом терагерцовой спектроскопии исследована интенсивность генерации ТГц-излучения плёнками $In_{0,38}Ga_{0,62}As$, выращенными методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках GaAs с ориентациями (100) с метаморфным буфером и без него. Генерация ТГц-излучения происходит при облучении плёнок фемто-секундными оптическими лазерными импульсами. При

помощи метода «накачки-зондирования» были получены времена релаксации на исследуемых структурах. Показано, что время релаксации для структуры с буферным слоем было оценено в 20 пс в то время как для структуры без метаморфного буфера оно составило 17 пс. Обнаружено, увеличения ширины спектра в структуре с более коротким временем релаксации.

Ключевые слова: генерация, терагерцовое излучение, терагерцовая спектроскопия, мультислойные структуры, молекулярно-лучевая эпитаксия, наногетероструктуры, полупроводники, индий галлий арсенид, эпитаксиальные напряжения.

**EFFECT OF ARTIFICIAL STRAIN
 IN A BUFFER LAYER OF
 HETEROSTRUCTURES WITH
 $In_{0,38}Ga_{0,62}As$ ACTIVE LAYER ON
 THE CARRIER
 PHOTOGENERATION PROCESS
 UNDER ULTRASHORT LASER
 PULSES FOR ULTRAHIGH
 FREQUENCY INFORMATION
 PROCESSING DEVICES.**

Khusyainov D.I.¹;

Bilyk V.R.¹

Grishunin K.A.¹

Buryakov A.M.¹

Sherstyuk N.E.¹

Mishina E.D.¹

Yachmenev A.E.²

Ponomarev D.S.²

Khabibulin R.A.²

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

²Institute of Ultra High Frequency Semiconductor Electronics RAS

© Corresponding author e-mail: e-mail: vrbilyk@mail.ru

The intensity of generation of THz radiation by $In_{0,38}Ga_{0,62}As$ films grown by molecular beam epitaxy on GaAs substrates with (100) orientations with and without metamorphic buffer was studied using terahertz spectroscopy. Generation of THz radiation occurs when the films are irradiated with femto-second optical laser pulses. With the help of the "pumping-probe" method, relaxation times were obtained on the structures under study. It is shown that the relaxation time for a buffer layer structure was estimated at 20 ps while for a structure without a metamorphic buffer it was 17 ps. It is found that the width of the spectrum increases in the struc-

ture with a shorter relaxation time.

Key words: Generation, terahertz radiation, terahertz spectroscopy, multilayer structures, molecular beam epitaxy, nanoheterostructures, semiconductors, indium gallium arsenide, epitaxial strains.

Твердый раствор на основе соединения $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ является перспективным материалом для создания устройств, работающих в терагерцовом диапазоне частот [1]. При этом основными проблемами $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ по сравнению с широко распространенным “низкотемпературным” LT-GaAs является: 1) сильное рассогласование по параметру кристаллической решетки с подложкой GaAs; 2) большие значения темнового тока; 3) большие времена жизни неравновесных носителей тока. Несоответствие параметров кристаллической решетки подложки GaAs и растущего эпитаксиального слоя $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ вызывает деформацию решетки. Рост толстых слоев $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ с большим содержанием индия на GaAs приводит к трехмерному и релаксированному росту и к генерации большого числа дефектов в виде дислокаций несоответствия и прорастающих дислокаций.

Для того чтобы активный слой гетероструктуры имел хорошие электрофизические параметры (высокие значения концентрации и подвижности двумерных электронов), необходимо локализовать образующиеся дислокации. Одним из способов локализации является использование толстого частично-релаксированного буферного слоя (толщиной порядка 1 мкм), состоящего из ряда подслоев InAlAs , варьируя которые можно управлять деформацией в решетке [2]. При воздействии на гетероструктуру с таким составным буферным слоем ультракороткими лазерными импульсами возникает генерация неравновесных носителей тока. Особенность предлагаемой гетероструктуры заключается в том, что мы можем контролировать деформацию в растущих слоях за счет изменения состава буфера, тем самым влияя на энергетический и оптический спектры.

Для создания образцов гетероструктур с активным слоем $\text{In}_{0,38}\text{Ga}_{0,62}\text{As}$ с искусственно введенной деформацией слоев в бу-

фере была использована технология молекулярно-лучевой эпитаксии; данная методика является в настоящее время основной и в научных, и в технологических приложениях [3,4]; Интерес к таким структурам заключается в том, что искусственно вводимые деформации способствуют получению более широкополосное излучение с более слабым затуханием. В работе исследовано влияние искусственно созданных напряжений в буферном слое структуры на генерацию терагерцового излучения при облучении полупроводниковых пленок фемтосекундными лазерными импульсами.

Измеренная временная зависимость ТГц излучения от исследуемых структур и их частотный спектр представлены на рисунке 1.

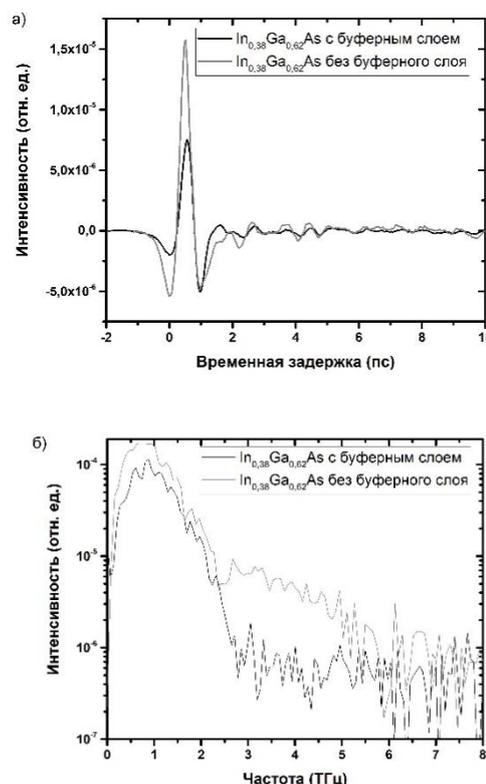


Рис. 1. Временная форма (а) и частотный спектр (б) исследуемых структур.

Интенсивность генерируемого излучения структурой без буферного слоя в два раза выше, чем у структуры, выращенной на буферном слое. Кроме того, структура с буферным слоем показывает резкое уменьшение амплитуды от ~ 2.5 ТГц, а общий частотный спектр для структур с и без буферного слоя 2,5 и 5 ТГц, соответ-

венно. Это связано с наличием сильных напряжений и гораздо большего количества точечных дефектов на границе раздела эпитаксиально выращенной пленки с подложкой.

Было проведено исследование времени жизни носителей заряда с помощью методики «накачка-зондирование» в геометрии на отражение интерпретации полученных результатов. Для описания наблюдаемой релаксации была проведена аппроксимация экспериментальных данных на основе подхода, разработанного ранее для описания аналогичных процессов в полупроводниках [5]. Время релаксации для структуры с буферным слоем было оценено в 20 пс в то время как для структуры без метаморфного буфера оно составило 17 пс. Большее время релаксации для структуры с буферным слоем, вероятно, связано со снижением эпитаксиального напряжения и уменьшением точечных дефектов в выращенных пленках [6]. Известно, что при более коротких временах релаксации наблюдается более широкий спектр генерируемого терагерцового излучения, а сами малые времена релаксации обусловлены наличием дефектных состояний в полупроводниках материалах [7].

Список литературы

1. Wood C.D. et al. Terahertz emission from metal-organic chemical vapor deposition grown Fe:InGaAs using 830 nm to 1.55 μm excitation // *Appl. Phys. Lett.* 2010. Vol. 96, № 19.
2. Kavanagh K.L. Lattice tilt and dislocations in compositionally step-graded buffer layers for mismatched InGaAs/GaAs heterointerfaces // *J. Vac. Sci. Technol. B Microelectron. Nanom. Struct.* 1992. Vol. 10, № 4. P. 1820.
3. Ченг Л. П. К. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Москва: Мир, 1989. 600 p.
4. Suemitsu T. InP and GaN high electron mobility transistors for millimeter-wave applications // *IEICE Electron. Express.* 2015. Vol. 12, № 13.
5. Kimel A. V. et al. Room-temperature ultrafast carrier and spin dynamics in GaAs probed by the photoinduced magneto-optical Kerr effect // *Phys. Rev. B. American Physical Society*, 2001. Vol. 63, № 23. P. 235201.
6. Galiev G.B. et al. Metamorphic nanoheterostructures for millimeter-wave electronics // *Nanotechnologies Russ. Pleiades Publishing*, 2015. Vol. 10, № 7–8. P. 593–599.
7. Dietz R.J.B. et al. THz generation at 155 μm excitation: six-fold increase in THz conversion efficiency by separated photoconductive and trapping regions // *Opt. Express. Optical Society of America*, 2011. Vol. 19, № 27. P. 25911.

УДК 621.373.8

ФАЗОВЫЙ МОДУЛЯТОР СВЕТА «РЕЛЬЕФ» И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Гуцо Ю.П., д.т.н., профессор;
 Гуцо М.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник;
 Бурага А.В., ведущий инженер-разработчик РЭА

Физико-технологический институт Московского технологического университета, г. Москва, 119454, Российская Федерация.

© Автор для переписки: Гуцо М.А. e-mail:

mguscho@mail.ru

Представлен обзор по новым разработкам, основанным на применении фазового модулятора света «Рельеф». Рассмотрены лазерные проекционные системы со световым потоком от 32 Клм до 100 лм. Обсуждаются гаджеты со встроенным микропроектором в головные приборы; передатчики телеметрической информации; портативный лидар в видимом и инфракрасном оптических диапазонах. Описаны лазерные прожекторы для автомобильных, танковых, корабельных и самолётных фар, а также для осветителей в телевизионных проекторах, на шлемах и др.

Ключевые слова: лидар, сканер, измерительные системы, модулятор света, телеметрия, гаджет, источник света, прожектор.

PHASE LIGHT MODULATOR «RELIEF» AND ITS APPLICATIONS

Guscho Yu.P.
Gushcho M.A.
Buraga A.V.

*Moscow technological university. Physico-
 technological institute, Moscow, 119454, Russian
 Federation*

@Corresponding author e-mail: mguscho@mail.ru

An overview of new developments based on the application of the phase light modulator «Relief» is presented. Laser projection systems with a light flux from 32 Klm to 100 lm are considered. Gadgets with a built-in picoprojector in head units are discussed. Transmitters of telemetric information and a portable lidar in the visible and infrared optical ranges are discussed. Laser projectors with a reliefographic speckle reducer for automotive, tank, ship and airborne headlights, as well as for illuminators in television projectors, helmets are described.

Key words: Lidar, scanner, measuring systems, light modulator, telemetry, gadget, light source, searchlight.

Современные потребности оптоэлектроники требуют не только минимизации цены и физического объема электрооптических изделий, но и увеличения КПД, скорости обработки, качества представления и визуализации информации. Кроме того, эта российская технология позволит заместить импортные изделия с лучшими функциональными и эксплуатационными характеристиками. Этими свойствами в полной мере обладает не имеющий аналогов в мире сверхбыстродействующий электрооптический фазовый модулятор света «Рельеф» (Light modulator Relief – LMR).

По сравнению с известными модуляторами, модулятор LMR обладает уникальной дифракционной эффективностью (98,6%), отсутствием движущихся частей, малым потреблением энергии, высоким быстродействием (до 500 кГц) и низкой себестоимостью (не более \$10). Схема модулятора света «Рельеф» (LMR) и пример лазерного изображения на его основе показан на рис.1. На его базе будут созданы новейшие приборы для наземных и летательных аппаратов с характеристиками, превосходящими иностранные аналоги.

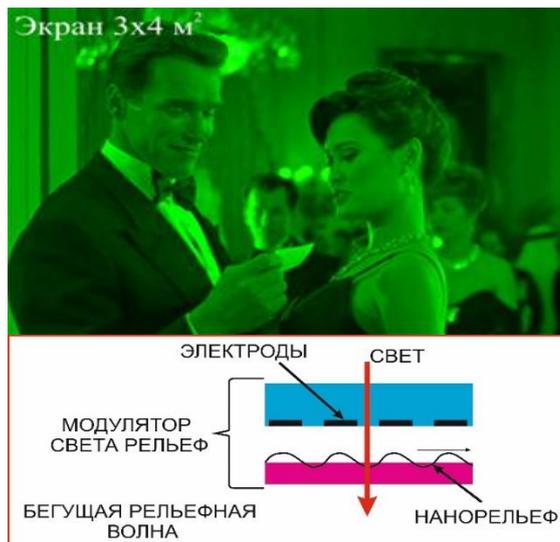


Рис. 1. Схема модулятора света «Рельеф» (LMR) и проекция лазерного изображения на экране размером 3×4 кв.м.

В создаваемых изделиях с использованием модулятора LMR можно управлять световым излучением от слабых и мощных лазерных и тепловых источников излучения. Благодаря оптически прозрачному диэлектрическому слою и фазовому характеру модуляции, свет, проходящий через слой, не поглощается, что и обеспечивает высокий КПД (98,6 %). При этом не требуется поляризация светового излучения. Перечислим ожидаемые изделия с применением модулятора LMR.

Стационарные и передвижные системы визуализации: 1. Мощный цветной лазерный проектор со световым потоком до 32 клм со стандартами 1280×768, 1024×768, 800×600. 2. Лазерный цветной проектор со световым потоком до 15 клм со стандартами 1024×768, 800×600. 3. Лазерный цветной проектор со световым потоком до 3 клм со стандартами 1024×768, 800×600. 4. Экономичный цветной лазерный портативный проектор со световым потоком в 1 кдм с габаритными размерами до 120×80×25 мм³ со стандартами 1024×768, 800×600. 5. Фальш-Окно МКС – лазерный цветной пико проектор с габаритами до 40×30×20 мм³ со световым потоком до 100 лм, 1024×768, 800×600 разрабатываются нами по рекомендации ИМБП.

Носимые системы визуализации: ла-

зерный пикопроектор, встроенный в телефон, мобильный гаджет и др. с габаритами до $20 \times 20 \times 6$ мм³ со световым потоком до 40 лм; коллективные, передвижные и распределенные информационные пункты; головные приборы дневного и ночного видения с эффективностью, в несколько раз превышающей известные приборы. Технология защищена 25 патентами, например, DK1244928; EP2293134; RU2080641; NO20053589; EA007586; JP2006512603.

На базе LMR можно изготовить энергоэффективное портативное носимое устройство, интегрированное в шлем или в очки, позволяющее выводить служебную и навигационную информацию, а также строить системы дополненной реальности. Существует три типа проекторных систем: 1. Проекторная система “See-through” (“Видимый насквозь”). В такой системе проекционное изображение комбинируется с помощью полупрозрачной призмы или пластинки с изображением окружающего мира. 2. Проекторная система “See-around” (“Смотрю вокруг”). В такой системе проекционное изображение перекрывает часть изображения окружающего мира. 3. Проекторная система “Full-immersion” (“Полное погружение”). В такой системе наблюдатель видит только проекционное изображение. Аналогичным образом можно использовать LMR в шлеме. Встроенный в шлем малогабаритный и энергосберегающий лазерный проектор, позволит создать стереоскопический эффект и улучшить восприятие изображения посредством системы поиска зрачка. В скафандрах удобнее всего использовать проекционную систему “See-around”.

Рельефографический индивидуальный или портативный лидар в видимом и инфракрасном оптических диапазонах с функциями селектора по дальности и скорости с углом раскрытия от 1 до 120 градусов. Лидар не имеет подвижных частей, и может работать и в ночных условиях. Спектральная характеристика модулятора LMR позволяет реализовывать много-спектральные системы. Имеет большое количество применений оборонного и гражданского характеров: локаторы, системы наблюдения, постановки помех для

беспилотных летательных аппаратов и дистанционно-управляемых наземных машин, береговые устройства для поиска терпящих бедствие и др.

Рельефографический уголкового отражатель: Такой отражатель позволяет построить систему передачи телеметрической информации с объекта Б на объект А. При этом объект Б не имеет активного лазерного излучателя, а использует излучение объекта А. Эффект достигается благодаря тому, что одна или несколько поверхностей отражателя содержит модулятор LMR, контролирующий отражение света от грани уголкового отражателя. Например, Земля-КА, КА-КА, Земля-БЛА, БЛА-БЛА.

Лазерные источники света 4-го поколения с рельефографическим спеклоподавителем для автомобильных, танковых, корабельных, самолётных фар и прожекторов, в осветителях для телевизионных проекторов, на шлемах и др.

На глобальном рынке в настоящее время представлены три поколения ламп. К первому поколению относятся лампы накаливания, ко второму – люминесцентные лампы, к третьему поколению – светодиодные лампы. К недостаткам светодиодных ламп относятся: 1) вредный для человека неустрашимый спектр излучения с длиной волны 440–460 нм, интенсивность которого в 80 раз превышает допустимые нормы для детей; 2) невозможность управления цветовой температурой и спектром излучения в динамическом режиме; 3) невозможность создать углы расходимости менее 15 градусов без потери мощности. Преимущества лазерных источников перед светодиодными источниками: 1) отсутствие вредного избыточного спектра в диапазоне длин волн от 440–460 нм; 2) возможность управления цветовой температурой и спектром излучения, приближенным к дневному; 3) возможность создания углов расходимости от 1 градуса (благодаря в миллион раз меньшей площади тела свечения S, чем у светодиодов), что позволяет эффективное использование лазерных источников (ЛИС). Лазерные источники света 4-го поколения для освещения МКС (разрабатываются нами по рекомендации и

ТЗ от ИМБП). Применение здоровьесберегающих ЛИС увеличит работоспособность космонавтов и сотрудников наземных служб примерно в 1,5 раза. Мы рассматриваем ЛИС как альтернативу LED-ламп для освещения космической станции и наземных объектов. Лазерные источники света для выращивания растений на МКС (разрабатываются нами по рекомендации и ТЗ от ИМБП).

Выводы. Главная проблема электрооптической модуляции – слабый выходной поток, сложная оптика, не позволяющая работать с лазерными источниками излучения, и как следствие, невозможность получить достаточно хорошие энергетические, частотно-контрастные, градационные и колориметрические характеристики изделий. По этой причине практически отсутствуют встроенные системы для оптической обработки, визуализации и отображения информации.

На обычном рынке в настоящее время продается 9,5 миллионов различных видов электрооптических приборов и устройств в год, однако в сегменте портативных и

сверхмощных изделий на рынке практически отсутствуют решения (Global Industry Analysts, Inc., PICO PROJECTORS, „A Global Strategic Business Report”, MCP-7478, 2014).

В такой ситуации мы предлагаем новую технологию, которая может существенно изменить вектор развития рынка электрооптических приборов двойного назначения. Отсутствие конкурентов по технологическим качествам (конкуренции технологий) позволит в ближайшее время завоевать рынок, прежде всего, в сегменте встроенных электрооптических приборов и устройств.

LMR – продукт, который относится к прорывному нано-технологическому изделию следующего поколения, разработан в РФ и защищён семейством международных патентов. НИОКР завершен, однако в настоящее время отсутствует совместимая с осваиваемыми отечественной микроэлектроникой проектными нормами промышленная технология формирования стандартного ряда 1D, 2D и 3D электрооптических LMR.

УДК 621.373.8

ВСТРОЕННЫЙ ПИКОПРОЕКТОР

Гуцо Ю.П., д.т.н., профессор;
Гуцо М.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник;
Кузнецов В.В., к.т.н., доцент

Московский технологический университет, Физико-технологический институт, г. Москва, 119454, Российская Федерация.

© Автор для переписки: Гуцо М.А. e-mail: mguscho@mail.ru

Разработан лабораторный образец встроенного пикопроектора, который имеет габариты 180x200x200 мм³; разрешение 512 x 384 пикселей; выходной световой поток 50 лм; частоту переключения пикселя 0.05 МГц; сфероцилиндрическую оптику. Усилия лаборатории направлены на создание пикопроектора с выходным по-

током 200 лм при той же мощности блока питания (3 Вт), с конечными габаритами 40x20x15 мм³, HD разрешением (1920x1080 пикселей), частотой переключения пикселя до 0.4 МГц, компактной асферической оптикой.

Ключевые слова: дифракция, айфон, планшет, пико проектор, модулятор света, световой поток, изображение, гаджет.

BUILT-IN PICO PROJECTOR

Guscho Yu.P
Gushcho M.A.
Kusnetsov V.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow, 119454, Russian Federation

© Corresponding author e-mail: mguscho@mail.ru

A laboratory sample of an embedded pico-projector with dimensions of 180x200x200 mm³; resolution 512 x 384 pixels; output light flux 50 lm; the pixel switching frequency

0.05 MHz; spherical-cylindrical optics has been developed. The efforts of the laboratory are aimed at creating of a pico-projector with an output flux of 200 lm at the same power of the power supply unit (3W), with the final dimensions of 40x20x15 mm³, HD resolution (1920x1080 pixels), pixel switching frequency up to 0.4 MHz, compact aspheric optics.

Key words: diffraction, iphone, tablet, pico projector, light modulator, light stream, image, gadget.

Рынок мобильных устройств к 2020 году достигнет 2,5 млрд. единиц по оценке [1]. С учетом новых трендов, рынок смартфонов и планшетов составит около 2 млрд. единиц. Более десяти процентов всех мобильных устройств будут иметь встроенный пикопроектор [1].

Главная проблема существующих портативных пикопроекторных систем – слабый выходной поток, оптика, не позволяющая работать с лазерными источниками излучения, и как следствие, невозможность получить достаточно хорошие энергетические, частотно-контрастные, градиционные и колориметрические характеристики носимых портативных проекторов.

В настоящее время потребителю требуется портативное или встроенное устройство отображения информации в реальном времени с разрешением не хуже SVGA, со световым потоком не менее 200 лм и с максимальными габаритами не более 40×20×15 мм³. Важно иметь универсальное устройство отображения, совместимое с мобильным телефоном, компьютером, автомобилем, навигатором и другими портативными устройствами массового применения.

Сегодня на рынке пикопроекторов в основном применяются следующие технологии: технология DLP (Digital Light Processing, буквально «Цифровая обработка света»), в качестве модулятора света используются микроскопические зеркала (Digital Micromirror Device или DMD); технология LCoS (Liquid Crystal on Silicon), модулятор света – жидкий кристалл; технология LBS (Laser Beam Steering), модулятор света – гибкая лента; технология MEMS (microelectromechanical systems), модулятор света – двухкоординатный сканер.

Доля продуктов на основе LBS и MEMS

пока ничтожно мала. Большинство проекторов основано на технологии DLP. Ожидается, что доля DLP на рынке проекторов в период с 2016 по 2020 годы вырастет на 31,5%, а доля лазерных проекторов увеличится к 2020 на 56,95%.

В связи с появлением так называемых «прямых» зеленых лазеров, в которых не используются кристаллы для удвоения частоты излучения, рынок встроенных проекторов, использующих лазерные источники света, растёт по линейному закону. Уже в 2017 году он будет составлять более 9 млрд. долларов. Согласно исследованиям, около половины пикопроекторов в 2018 году будут использовать лазерный источник света [1,2,3].

Существующие встроенные в телефон и планшеты пикопроекторы ограничены выходным световым потоком в 15 и 50 лм соответственно. Это ограничение обусловлено невозможностью при массовом производстве использовать встроенные аккумуляторы мощностью более 3 Вт. Возможность увеличения выходного светового потока также ограничена физикой технологий LCoS и DLP. В LCoS КПД составляет не более 25%, при этом используется рассеивающая оптика, не позволяющая достичь без потерь высокого качества изображения. В DLP КПД ограничен 40%, при этом используется рефракционная оптика, а оптические шумы на границах зеркального пикселя с уменьшением размеров лавинно увеличиваются.

Наша лаборатория Нанозлектрооптики при кафедре «Оптико-электронных приборов и систем» МИРЭА поставила цель разработать встроенный пикопроектор, у которого выходной световой поток составляет 200 лм, что в 4 раза выше, чем у имеющихся сейчас на рынке. При той же мощности блока питания (3 Вт) и конечными габаритными размерами 40×20×15 мм³, пикопроектор должен иметь HD разрешение (1920×1080 пикселей), частоту переключения пикселя до 0,4 МГц и компактную асферическую оптику. Наиболее сложная задача при этом разработать ТЗ на промышленные образцы модуляторов ФМС с CMOS структурой для управления сигналами (рис. 1).

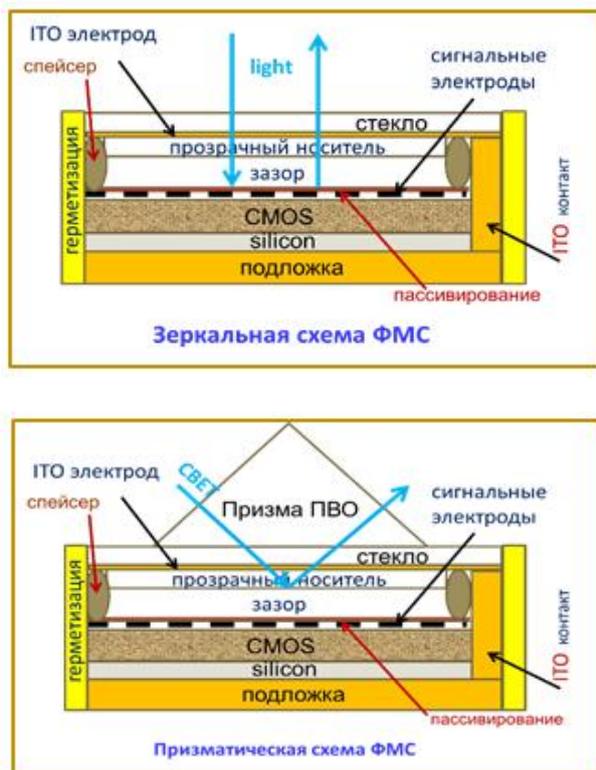


Рис.1. Проектируемые зеркальная и призматическая схемы ФМС

Эту задачу можно решить благодаря использованию оригинального фазового модулятора света (ФМС) [4] с КПД 98,6%. Его использование позволяет решить главные проблемы существующих проекционных устройств – слабый выходной световой поток, невозможность работать с лазерными источниками излучения, невозможность получить хорошие энергетические, частотно-контрастные, градационные и колориметрические характеристики портативных проекторов.

Суть разработки заключается в следующем (рис.2.): свет от источника проходит ФМС и фокусируется с помощью объектива в фазовой плоскости на диафрагме. Экран в этом случае остаётся темным. На экране появляется изображение, если под действием электрического сигнала возникает нанорельеф на носителе ФМС, который изменяет фазовые характеристики считывающего излучения. Наноперемещение пикселя в ФМС на 3 порядка быстрее, чем микроперемещения пикселей в DLP (DMD) и LCoS, чем и обусловлено это быстрое действие. В настоящее время лабора-

торный образец имеет габариты 180x200x200 мм³; разрешение 512x384 пикселей; выходной световой поток 50 лм; частоту переключения пикселя 0,05 МГц; сферо-цилиндрическую оптику.

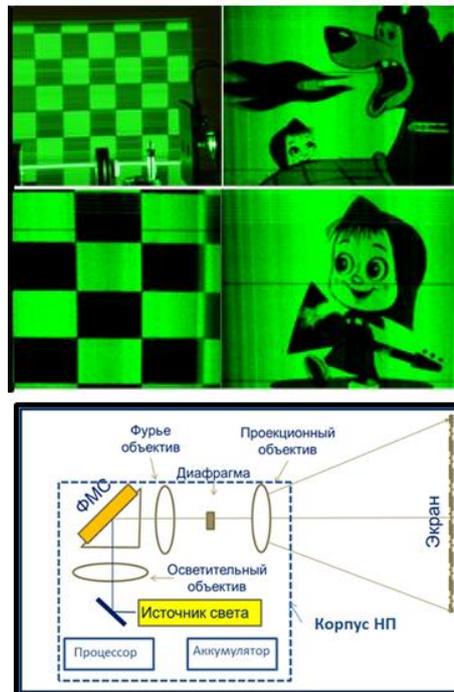


Рис. 2. Принципиальная схема и фрагменты изображения на экране

В разрабатываемом нами встроенном пикопроекторе впервые используются дифракционная оптика с возможностью фильтрации спектра сигнала и наноперемещения при записи и стирании пикселя в отличие от микроперемещений в известных устройствах. Кроме того, фазовая модуляция считывающего оптического излучения не связана с поглощением энергии этого излучения [5].

Принципиальным отличием ФМС от других модуляторов, используемых во встроенных пикопроекторах, является использование перестраиваемых дифракционных решеток с временными частотами до 400 кГц. Особое внимание в наших работах уделено подавлению спекла при воспроизведении изображения с помощью лазерного источника света [6,7].

Список литературы

1. Global Industry Analysts, Inc., PICO PRO-

JECTORS, «A Global Strategic Business Report», MCP-7468.

2. P. Janssens, K.Malfait, P.Vandenberghе, A.Grillet, 4th International Workshop on Fiber Lasers
<http://www.docstoc.com/docs/149536713/Fiber-lasers-for-RGB-display-applications-A-potential--Osiris-Project>

3. Grand View Research, Inc
[https://www.linkedin.com/pulse/pico-projector-market-value-usd-1781-billion-2020-grand-billore?trk=prof-](https://www.linkedin.com/pulse/pico-projector-market-value-usd-1781-billion-2020-grand-billore?trk=prof-post&trkSplashRedir=true&forceNoSplash=true)

4. Гуцко Ю.П. Физика рельефографии, М., Наука, 1999, 524 с.

5. Гуцко Ю.П. RU 2230348, RU 94013193, RU 97108886, NO 20053589, KR 20050090137, JP 2006512603, EA 007586, CN 100595636, AU 2003296027, KR 20070117634, EP 2302439, EP 2278385, EP 2293134, EP 2278379, EP 2000828, EP 1244928, DK 1244928.

6. Гуцко Ю.П., Дергунов Н.И., Таганов А.О., Спеклоподавитель для лазерного излучения (варианты), патент RU25778026 приоритет 07.10.2003.

7. Гуцко Ю.П., Гуцко М.А., Таганов А.О. Лазерный осветитель, заявка на изобретение 2017102363 от 25.01.2017.

УДК 621.373.8

ЛИДАР НА БАЗЕ ФАЗОВОГО МОДУЛЯТОРА СВЕТА «РЕЛЬЕФ»

Бурага А.В., ведущий инженер-разработчик РЭА;

**Гуцко Ю.П., д.т.н., профессор.
Дегтярева М.Ю., студентка ФТИ**

Физико-технологический институт Московского технологического университета, г. Москва, 119454, Российская Федерация.

@ Автор для переписки: Бурага А.В. e-mail: dtp-avb@yandex.ru

Разработан новый класс компактного лидара без подвижных частей на основе модулятора фазового света «Рельеф». Создана структурная схема аппаратного обеспечения. Проведено математическое моделирование передающего и приемного трактов. Проведены оценка шума оптоэлектронной системы и расчет энергетического баланса.

Ключевые слова: лидар, оптоэлектронный сканер, измерительные системы, модулятор света

LIDAR ON THE BASIS OF THE PHASE LIGHT MODULATOR "RELIEF"

**Buraga A.
Guscho Yu.**

Degtyareva M.

Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow, 119454, Russian Federation

*@ Corresponding author e-mail: e-mail:
Rogov_AY@mgupi.ru*

A new class of compact lidar without movable parts based on the phase light modulator "Relief" is developed. A structural diagram of hardware is created. The mathematical modeling of the transmitting and receiving tracts is created. Estimation of the noise of the optoelectronic system and calculation of the energy balance are carried out.

Key words: Lidar, optoelectronic scanner, measuring systems, light modulator

В лаборатории НаноЭлектроОптики Физико-технологического института был разработан новый класс лидара на базе фазового модулятора света (ФМС) «Рельеф» [1]. По сравнению с известными модуляторами DMD и LCoS он имеет на три порядка большее быстродействие, а его КПД составляет 98,6%, что в три раза превышает КПД DMD и в четыре раза LCoS. В данном устройстве ФМС используется как сканер без подвижных частей. При этом регулировка угла сканирования в соответствии с техническим заданием может быть выбрана от 1 градуса до 120. Поскольку модулятор является фазовым, то он не нагревается и, следовательно, не требует

специального охлаждения.

Предложенный нами лидар найдет применение в качестве прибора технического зрения в программно-аппаратных комплексах управления роботизированными системами. Основным назначением лидаров является оценка ситуационной обстановки и построение карты дальности окружающего пространства в заданном секторе путем использования методов активной оптической локации и электронного сканирования. Лидар на базе ФМС отвечает всем новейшим требованиям по снижению масс-габаритных и ценовых параметров. Ожидается улучшение помехоустойчивости, повышение эксплуатационных качеств, увеличение разрешения по углу и дальности.

Лидар может быть применен в следующих областях техники: экологический мо-

нитинг окружающей среды; дистанционная биологическая разведка; робототехника летательные аппараты, автомобили; геодезия; строительство; космическая навигация (GPS); аэрокосмическая съемка земной поверхности и т.д.

В общем случае, к подсистемам, входящим в состав лидара, можно отнести:

- 1) передающий тракт, формирующий зондирующий сигнал с необходимыми характеристиками;
- 2) фотоприемный тракт, обеспечивающий прием, усиление, фильтрацию и согласование отраженного сигнала;
- 3) схема регистрации и цифровой обработки, позволяющая парировать ложные срабатывания, произвести временную привязку, оценку времени распространения сигнала и компенсацию инструментальных погрешностей.

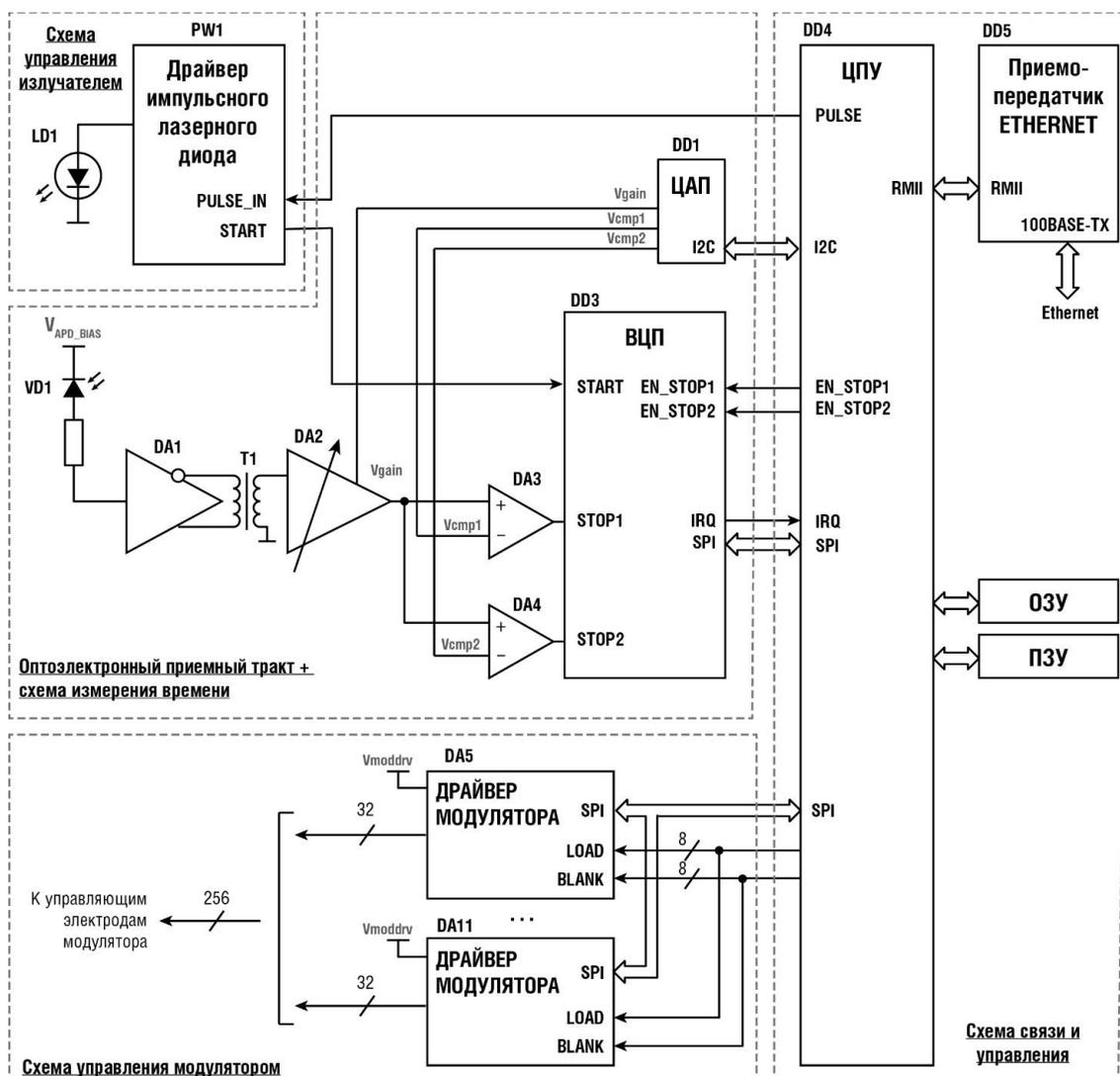


Рис. 1. Структурная схема аппаратного обеспечения лидара

Фотопередающий тракт состоит из полупроводникового лазерного диода, драйвера, формирующего оптический импульс заданной длительности, и системы электронного сканирования, основанной на технологии ФМС, позволяющей сформировать зондирующий импульс с заданными характеристиками в необходимом направлении. По сравнению со сходными системами, модулятор ФМС устойчиво работает в широком диапазоне длин волн (0,5-25 мкм). В настоящем устройстве мы запланировали работу на длинах волн 0,905 и 1,550 мкм).

Фотоприемный тракт включает в свой состав:

- лавинный фотодиод и схема формирования напряжения смещения;
- малошумящий трансимпедансный усилитель, обеспечивающий преобразование фототока лавинного фотодиода в напряжение;
- усилитель с регулируемым коэффициентом усиления;
- система компараторов, обеспечивающих квантование входного аналогового сигнала, с возможностью изменения порогов срабатывания в реальном масштабе времени.

Система регистрации отклика включает в свой состав время-цифровой преобразователь (ВЦП) и микроконтроллер, обеспечивающий цифровую обработку исходных данных, их хранение и передачу. Применение ВЦП вместо аналого-цифрового преобразователя обусловлено лучшим раз-

решением по времени (до 10 пс у современных интегральных схем), меньшим энергопотреблением и простотой сопряжения с микроконтроллером.

Представленное аппаратное обеспечение (рис. 1) позволяет производить селекцию принятых данных (методами кодового или временного разделения сигналов), компенсацию атмосферного затухания зондирующего сигнала и оценку коэффициента отражения наблюдаемых объектов.

Было проведено математическое моделирование передающего и приемного тракта, оценка шумов оптоэлектронной системы и расчет энергетического баланса, теоретически подтверждающие работоспособность представленной системы.

В настоящее время осуществляется разработка технологического макета для отработки представленных решений.

Список литературы

1. Гуцо Ю.П. «Физика рельефографии», М., 1999, 524 стр.
2. Волков В. Г., Гиндин П. Д. *Техническое зрение. Инновации : [учеб. пособие]* / Волков В. Г., Гиндин П. Д. – М. : Техносфера, 2014. - 836 с. : ил. – ISBN 978-5-94836-403-2.
3. Якушенков Ю.Г. *Теория и Расчёт Оптико-Электронных Приборов*. М., "Логос", 1999 г., 4-е изд.
4. Shan, J., Toth, C., (Eds.), 2009, *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, CRC Press, an imprint of the Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-4200-5142-1, 590 pages.

УДК 621.3.087.92

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СЛОЖНОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ МНОГОКАНАЛЬНОГО АЦП ДЛЯ КМОП МАТРИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Шнякин А.А., программист;

Певцов Е.Ф., к.т.н., доцент, директор;

Центр проектирования интегральных схем,
 устройств нанoeлектроники и микросистем
 Московского технологического университета

@Автор для переписки: Шнякин А.А. e-mail:
 shnyakin@mirea.ru

Работа посвящена проектированию, изготовлению и исследованию характеристик сложнофункционального блока многоканального аналого-цифрового преобразователя, предназначенного для применения в КМОП мат-

ричных приемниках излучения и схемах считывания. СФ-блок представляет собой столбцевой АЦП последовательного приближения с ЦАП на основе коммутируемых конденсаторов с суммированием заряда, ключевой особенностью которого является существенное сокращение занимаемой площади и рассеиваемой мощности.

Ключевые слова: АЦП последовательного приближения, КМОП фотоматрицы, ионно-лучевое травление.

TECHNOLOGICAL TOPOLOGY CORRECTION OF MULTICHANNEL ADC IP-CORES TO BE USED IN CMOS IMAGING SENSORS

**Shnyakin A.A.
Pevtsov E.Ph.**

Integrated Circuits, Nanoelectronics Devices and Microsystems Design Center Moscow technological university.

@Corresponding author: Shnyakin A.A. e-mail: shnyakin@mira.ru

Article describes process of design, manufacturing and measuring characteristics of multichannel analogue-to-digital converter IP-core, designed to be used in CMOS imaging sensors and read-out integrated circuits. IP-core designed as column-based successive approximation register ADC, based on switched-capacitor charge summation DAC. Key feature of described ADC is significant reduction of chip-area and dissipated power.

Key words: SAR ADC, CMOS imaging sensor, ion beam etching.

Современные тенденции разработок матричных приемников излучения ориентированы на совмещение в одном кристалле функций преобразования излучения в электрические сигналы, их оцифровки и цифровой обработки [1, 2]. В данной работе описывается решение задачи проектирования и тестирования СФ-блоков столбцевых АЦП, предназначенных для многократного использования в матричных КМОП-приемниках излучения и схемах считывания. Главными факторами, определившими полученные схмотехнические и топологические решения были: реализация не менее двенадцати разрядов преобразования с производительностью 77000 оп/с, при условии минимизации занимаемой площа-

ди и потребляемой мощности.

Одним из известных решений для АЦП в составе КМОП-приемников служит схема АЦП последовательного приближения на основе ЦАП на коммутируемых конденсаторах с суммированием заряда. Особенность предложенного варианта АЦП, заключается в том, что схема ЦАП выполнена с тремя подблоками взвешивающих конденсаторов, причем на каждый подблок подаются различные опорные напряжения, значения которых соответствует определенному диапазону разрядности преобразования [3]. В многоканальном исполнении опорные напряжения могут задаваться одновременно для всех каналов.

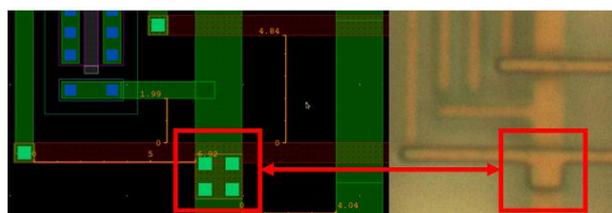
Моделирование работы электрической схемы АЦП в сборе, с учетом влияния паразитных параметров топологии, проводилось с использованием моделей приборов, входящих в библиотеку параметризованных ячеек, ориентированную на КМОП-технологии с нормами проектирования 0,35 мкм, и описывалось в работе [4].

На основе полученных проектных решений и GDS-файлов топологических чертежей, в режиме “foundry” изготовлены опытные образцы тестовых кристаллов АЦП. Для проведения исследований тестовых кристаллов СФ-блока АЦП и КМОП-фотоматриц разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий в автоматическом режиме получать динамические и статические характеристики исследуемых приборов и их узлов. Комплект программного обеспечения для тестирования АЦП обеспечивает настройку опорных напряжений, создание описания тактовой диаграммы и ее загрузку в память генератора, сбор данных и их отображение [5].

На первом этапе исследований была подтверждена работоспособность каждого из образцов путем последовательного включения каждого из трех подблоков ЦАП как блока старших разрядов, в то время как оставшиеся подблоки были отключены. Проведена проверка работоспособности АЦП при нормальном включении подблоков с расчетными опорными напряжениями, и входным сигналом во всем диапазоне входных напряжений [6].

В процессе экспериментальных иссле-

дований тестовых кристаллов СФ-блока АЦП были получены значительные отклонения характеристик от требуемых и расчетных значений. Отклонения были вызваны отсутствием линейности передаточной характеристики ЦАП, вследствие наличия паразитных емкостей между цифровыми линиями управления и общей шиной конденсаторных структур в каждом из двенадцати цифровых блоков управления ключами, запоминания и вывода. Введение заземленного экранирующего слоя металлизации в топологический чертеж между цифровыми шинами управления и общей шиной конденсаторных структур позволило значительно улучшить показатель линейности передаточной характеристики ЦАП [7].



а) б)
 Рис. 1. Замыкание управляющей шины и шины питающего напряжения

В процессе экспериментальных исследований второй ревизии тестовых кристаллов СФ-блока АЦП были получены полные отказы всех исследуемых образцов, содержащих одиночный столбец СФ-блока АЦП. При детальном анализе топологических чертежей средствами DRC и LVS САПР СБИС (рис. 1,а), и топологии тестового кристалла средствами оптической и электронной микроскопии (рис. 1,б) было обнаружено замыкание управляющей шины разрешения внешнего управления и шины питающего напряжения.

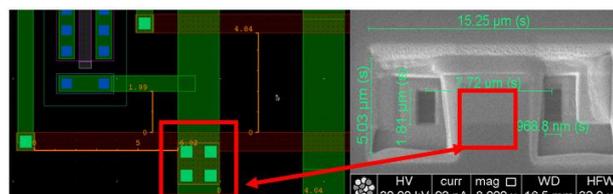


Рис. 2. Локализация и устранение замыкания

Было принято решение о проведении

коррекции топологии тестового кристалла при помощи ионно-лучевого травления и ионно-стимулированного осаждения методом фокусированных ионных пучков (ФИП) (рис.2).

При помощи повышения энергии электронного пучка удалось без полного снятия слоя пассивации получить изображения нижележащих слоев металлизации для ориентации на кристалле и локализации замыкания токоведущих шин. Методом ионно-лучевого травления ФИП были вскрыты все слои межслойных и внутри-слойных диэлектриков, а так же отделен участок шины с замыканием. Затем, методом ионно-стимулированного осаждения ФИП слоем платины была восстановлена ранее нарушенная целостность и проводимость управляющей шины. В результате коррекции удалось частично восстановить работоспособность тестового кристалла для проведения дальнейших исследований характеристик АЦП.

Список литературы

1. Певцов Е.Ф., Шнякин А.А. Интегральная схема устройства считывания и обработки сигналов многоэлементного теплового приемника излучения. // «Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА.». Материалы X научн.-техн. конф. молодых специалистов. г. Дубна. 12-14 октября 2011 г. – М.: МНТОЭРС им. А.С. Попова. - 2011. - С.131-134.
2. Цыбулин А.К., Манцетов А.А., Скрылев А.С., Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Шнякин А.А. Варианты КМОП фотоматрицы со встроенными АЦП. // Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования земли: Материалы научно технической конференции. Москва, МНТОЭРС им. А.С. Попова, 2012. С. 325-328.
3. Патент на изобретение №2527187. Аналого-цифровой преобразователь. 27.08.2014 г.
4. Шнякин А.А., Балбеков А.О., Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Певцов Е.Ф., Скрылев А.С. СФ- блок многоканального АЦП для КМОП матричных фотоприемников // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Материалы научно-технической конференции -М.: МНТОЭРС им. А.С.Попова, 2013 – С. 139-142.
5. Горбоконенко П.А., Зинис К.А., Певцов

Е.Ф., Чернокожин В.В. Программируемый генератор тестовых последовательностей // «Электронная техника». Сер. 2 Полупроводниковые приборы., 2012. – вып.2 (229) – С. 97-103.

6. Шнякин А.А., Певцов Е.Ф., Зинис К.А. Исследование СФ- блока многоканального АЦП для КМОП матричных фотоприемников. // «Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА». Материалы XIII научн.-техн. конф. молодых специалистов. г. Дубна. 8-10 октября 2014 г. – М.: МНТОЭРС

им. А.С. Попова. – 2014. – С.134-137.

7. Шнякин А.А., Певцов Е.Ф. Коррекция топологических решений СФ- блоков многоканального АЦП для КМОП матричных фотоприемников на основе экспериментальных исследований. // «Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА». Материалы XVI научн.-техн. конф. молодых специалистов. г. Москва. 7-9 октября 2015 г. – М.: ОАО «НПП «Пульсар». – 2015. – С.218-221.

УДК 537.6

НЕЛИНЕЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ШУМА В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Бурдин Д.А., к.ф.-м..н., ведущий инженер;

Чашин Д.В., к.т.н., ведущий инженер;

Экономов Н.А., к.ф.-м.н., старший научный сотрудник;

Фетисов Ю.К., д.ф.-м..н., профессор, директор;

Научно-образовательный центр «Магнито-электрические материалы и устройства» Московского технологического университета МИРЭА

© Автор для переписки: Бурдин Д.А.. e-mail: phantastic@mail.ru

В работе наблюдалось явление нелинейного переноса частоты шумового магнитного поля в слоистой магнитоэлектрической структуре. Показано, что величина нелинейного шумового сигнала пропорциональна нелинейному пьезомагнитному коэффициенту.

Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, композитная структура, нелинейное преобразование частоты

NOISE FREQUENCY NONLINEAR CONVERSION IN MAGNETOELECTRIC COMPOSITES

Burdin D.A.;
Chashin D.V.;
Ekonomov N.A.;
Fetisov Y.K.;

Moscow Technological University

© Corresponding author: Бурдин Д.А. e-mail: phantastic@mail.ru

Noise frequency shift was observed in a layered magneto-electric composite. It was shown that frequency-shifted noise signal is proportional to the nonlinear magnetoelectric coefficient.

Key words: magneto-electric effect, composite structure, nonlinear frequency conversion

Ранее было показано, что в композитных структурах пьезоэлектрик-ферромагнетик наблюдаются нелинейные магнитоэлектрические эффекты [1]. В данной работе исследовался магнитоэлектрический эффект в двухслойной структуре при одновременном возбуждении гармоническим и шумовым магнитными полями. Образец был изготовлен из слоёв лантан-галлиевого танталата и аморфного магнитоэлектрического сплава Метглас и имел форму прямоугольной пластины с размерами $25 \times 5 \text{ мм}^2$. Толщина пьезоэлектрического слоя составляла 0,5 мм, толщина ферромагнитного слоя – 20 мкм. Образец помещался в соосные поля магнитных катушек возбуждения и катушки смещения, расположенных в магнитном экране. Белый шум, сформированный с помощью

генератора Agilent 33210a, подавался на фильтр SR770 с полосой пропускания $\Delta f_N \approx 4$ кГц вокруг центральной частоты $f_N = 10$ кГц и питал одну из катушек возбуждения. Магнитоэлектрический сигнал, генерируемый структурой, подавался на вход анализатора спектра SR650. Спектр МЭ сигнала, измеренный при возбуждении фильтрованным шумовым сигналом, показан на рис. 1,а.

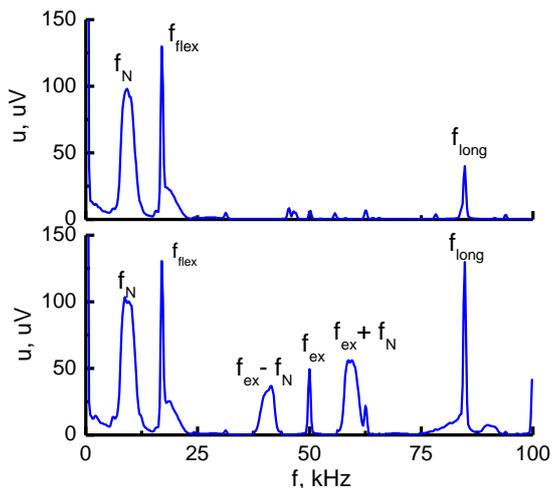


Рис.1. Спектр МЭ сигнала: а) возбуждение фильтрованным шумом б) одновременное возбуждение шумовым и гармоническим полями

Наблюдается возбуждение колебаний структуры на частотах изгибного ($f_{flex} = 17$ кГц) и продольного ($f_{long} = 85$ кГц) акустических резонансов. На рис.1,б приведён спектр, полученный при одновременной подаче шумового сигнала на одну катушку и гармонического сигнала с частотой $f_{ex} = 50$ кГц – на вторую катушку возбуждения. Наблюдаются подъёмы спектральной плотности МЭ сигнала шириной Δf_N около частот $f_{ex} \pm f_N$, вызванные нелинейным взаимодействием шумового и гармонического сигналов. Были измерены зависимости спектральной плотности сигнала на частотах f_N и $f_{ex} \pm f_N$, которые показывают, что амплитуда линейного и нелинейного шумового сигнала пропорциональна линейному и нелинейному пьезомагнитным коэффициентам соответственно.

Работа была выполнена в рамках гос. задания проект № 8.1183.2017.

Список литературы

1. D.V. Chashin, N.A. Ekonomov, L.Y. Fetisov, Y.K. Fetisov G. Srinivasan G. Sreenivasulu Non-linear magneto-electric effects in ferromagnetic-piezoelectric composites, *JMMM*, 2014, v. 358-359, p. 98-104

УДК 621.373.8

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СОБЫТИЙ КРИЗИСНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ПУТЕМ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕПЛОВИЗИОННОГО И ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛОВ

Андрущак Е.А., д.т.н.;
 Сатеев Е.Г., магистрант;
 Егоров А.Д., магистрант;

Боевский В.И., магистрант

Физико-технологический институт Московского технологического университета

@Автор для переписки: Сатеев Е.Г. e-mail: pismachata1@mail.ru

Работа посвящена разработке прикладного программного обеспечения для мобильной станции мониторинга кс/ч. В работе присутствуют аппаратно-программные методы совмещения информационных оптических каналов разных диапазонов. Приведены результаты работы программы.

Ключевые слова: “СОТА”; потиксельная обработка; микроспектральные методы; КС/ЧС

DEVELOPMENT OF THE DEVICE AND SOFTWARE COMPLEX FOR DETECTING

EVENTS OF CRISIS AND ENVIRONMENTAL CHARACTER BY THE CONNECTION PROCESSING OF THERMAL AND TELEVISION SIGNALS

Andrushak E.A.;
Sateev E.G.;
Egorov A.D.;
Boevskiy V.I.

Moscow technological university. Phisico-technological institute

@corresponding author: Sateev E.G.; e-mail: pismachata1@mail.ru

The work is dedicated to the development of application software for the monitoring station of Crisis situation and Emergency situation. There are hardware-software methods of combining information optical channels of different diapsons. And presented methods of programm work.

Key words "SOTA", Pixel-by-pixel processing; Microspectral methods, Crisis situation and Emergency situation

В данной работе реализован алгоритм комплексирования изображений в ИК и видимом диапазоне длин волн. Схема установки приведена на (Рис. 1).

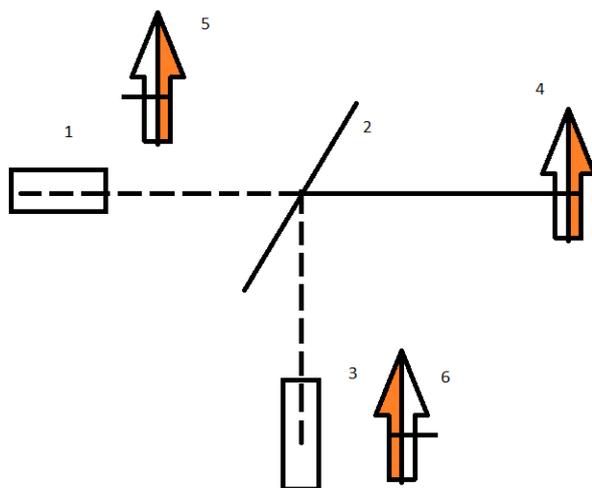


Рис. 1. Схема установки. 1 – телевизионная камера, 2 – делитель, 3 – тепловизионная камера, 4 – объект, 5 – изображение объекта на телевизионной камере, 6 – изображение объекта на тепловизионной камере

Как видно из схемы одним из ключевых отличий рабочей установки от ее аналогов является расположение камер. Следствием этого является зеркальное изображение на одной из них. Путем модификации кода проблема была решена.

Из преимуществ данного способа следует отметить, что получаемые картинки абсолютно одинаковы, что значительно упрощает их объединение программным путем.

Такое расположение камер позволило получать снимки объектов без искажения и совмещать их поля на всей протяженности кадра. Кроме того, установка была дополнена цветной камерой с возможностью оптического зуммирования, что позволило выбирать масштаб кадра и делать его похожим на кадр куда менее «поворотливого» тепловизора.

На изучаемой установке получена серия снимков.



Рис. 2. Наблюдение объектов с двух разных каналов ИК 8-12мкм (слева) и Видео 0,4-0,8 (справа)

На Рис. 2. мы видим 3 тестовых объекта, внутри 2 из них находятся разные резисторы под напряжением, в следствие чего происходит их нагрев с разной скоростью. Объекты расположены от холодного к горячему.



Рис. 3. Наложение фотографий тестобъектов в очередности Видео+0,8*ИК

На Рис. 3. виден результат работы программы по совмещению изображений, у третьего объекта, имеющего температуру

на 5 градусов выше, отчетливо прорисованы тепловые границы, что дает представление о разнице температур объектов. Исходные данные температур объектов представлены в таблице 1 (температура в помещении 24°C).

Таблица 1
 Исходные данные температур объектов

Номер объекта	Температура объекта °С
1	24
2	26
3	30

УДК 621.373.8

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ БЛА- ЗЕМЛЯ

Зивенко Н.О., аспирант;
Бурага А.В., ведущий инженер-разработчик РЭА;
Попович Т.Г., студентка;
Гущо Ю.П., д.т.н., профессор

*Московский технологический университет,
 Физико-технологический институт, г. Москва,
 119454, Российская Федерация.*

© Автор для переписки: Бурага А.В. e-mail: dtp-avb@yandex.ru

Разработан лабораторный образец физического канала информационного обмена между наземным объектом и удаленным подвижным объектом (КА, БЛА и др.) с пассивным скачиванием информации по отраженному лучу.

Ключевые слова: информация, оптическая модуляция, кодирование, модулятор света

OPTICAL DATA TRANSMISSION SYSTEM OF UAV

Zivenko N.O
Buraga A.V.
Popovich T.G.
Guscho Yu.P.

Список литературы

1. Сатеев Е.Г., Егоров А.Д., Иванов А.И., Андрущак Е.А. Объединение каналов регистрации видео и ИК диапазонов для повышения информативности систем контроля обстановки в условиях КС / ЧС. / Первая научно-техническая конференция московского технологического университета.
2. Студитский А.С. Эффективность наблюдательных тепловизионных и оптико-электронных систем. / Вестник компьютерных и информационных технологий, №10, 2013. - С. 33-36.

Moscow technological university. Physico-technological institute, Moscow, 119454, Russian Federation

© Corresponding author e-mail: dtp-avb@yandex.ru

A laboratory sample of a physical information exchange channel between a ground object and a remote mobile object (spacecraft, UAV, etc.) with passive information retrieval on a reflected beam is developed/

Key words: Information, optical modulation, coding, light modulator

Автономные и дистанционно управляемые беспилотные летательные аппараты (БЛА) находят широкое применение в задачах экологического мониторинга, оценки транспортной обстановки, геодезии и картографии, разведки и т.д. Обеспечение надежной и энергоэффективной связи с данными аппаратами является важной и актуальной задачей на сегодняшний день.

Классическим способом решения задачи организации двухстороннего канала информационного обмена для передачи команд управления и получения телеметрии является использование радиомодемов. Однако в ряде случаев их использование является неэффективным или невозможным.

Альтернативным способом реализации канала информационного обмена является оптическая система передачи данных, использующая в качестве способа передачи

данных модулированный оптический сигнал (рис. 1,а).

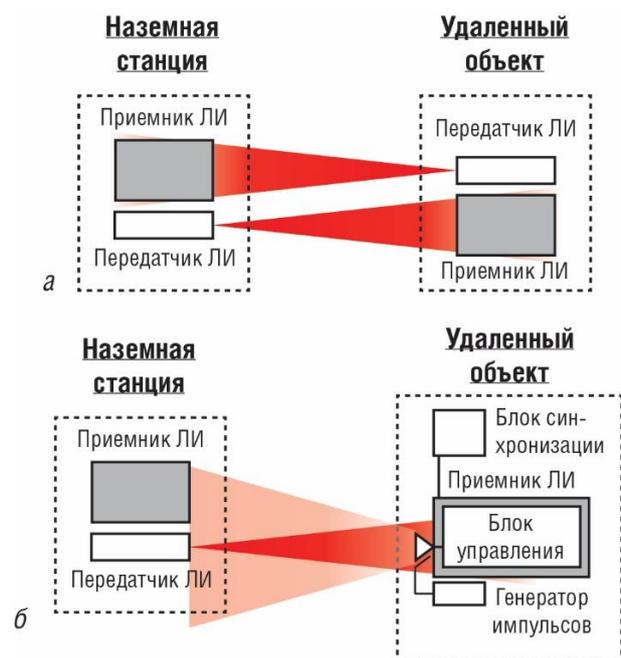


Рис 1. Схема реализации физического канала информационного обмена с удаленным подвижным объектом: а – классическая реализация канала передачи данных «аппарат – наземная станция», б – предложенная реализация канала передачи данных «аппарат – наземная станция»

Система может быть доработана путем отказа от передатчика и при использовании оптических модуляторов и оптических систем, эффективно отражающих сигнал (призмы полного отражения, уголковые отражатели и т.д.). При использовании данного подхода удаленный подвижный объект не имеет активной системы передачи данных (лазерного излучателя и передающей оптической системы), что существенно упрощает структуру бортового оборудования аппарата, снижает его массу и уменьшает энергопотребление. Информационный обмен с удаленным объектом происходит в полудуплексном режиме. Наземная станция формирует информационный кадр необходимого формата, модулируя исходящий сигнал.

Приемник лазерного излучения, установленный на удаленном объекте, регистрирует принятое излучение, обеспечивая демодуляцию и восстановление сигнала.

Блок синхронизации выделяет несущую частоту модуляции информационного кадра и обеспечивает привязку к ней (рис. 1,б).

Модулятор «Рельеф», установленный на уголковом отражателе, обеспечивает фазовую манипуляцию над сигналом, кодируя информацию, передаваемую по тракту «подвижный объект – наземная станция». Генератор импульсов обеспечивает модуляцию на необходимой несущей частоте путем подачи управляющего напряжения на электроды модулятора.

Фотоприемная оптическая система наземной станции обеспечивает демодуляцию, восстановление и декодирование отраженного сигнала и дальнейшую передачу принятого сигнала потребителю.

Предложенная система может быть использована для реализации оптического канала информационного обмена с малыми беспилотными летательными аппаратами. Система обеспечивает высокую степень надежности передачи данных, мало чувствительна к доплеровскому сдвигу частоты, помехам в радиодиапазоне, проста в реализации, компактна и энергоэффективна. Спектральная характеристика модулятора «Рельеф» предполагает высокую эффективность при работе с длинами волн видимого диапазона, в ближнем и среднем ИК-диапазоне, позволяя повысить пропускную способность и устойчивость работы канала информационного обмена при различных погодных условиях путем использования нескольких излучателей.

Нами была разработана схема и реализован на оптической скамье лабораторный образец физического канала информационного обмена между наземным объектом с удаленным подвижным объектом (КА, БЛА). Достигнутая частота передачи информации в лабораторной установке равна 50 кГц. В качестве модулятора использован модулятор света «Рельеф» [1], позволяющий передавать информацию с частотой до 450 кГц. Установка матрицы уголковых отражателей с разной частотой передачи позволит на порядки увеличить пропускную способность системы.

В перспективе система может быть скомбинирована с оптической лазерной

системой передачи энергии, что существенно увеличит время работы беспилотных летательных аппаратов.

Список литературы

1. Гуцо Ю.П. Физика рельефографии, Наука, 1999, с. 528.

УДК 576.32/.36

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ФАЗОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК

Болотова А.А., магистрант;
Звержховский В.Д., аспирант;
Вышенская Т.В., ктн;
Кретушев А.В., к.т.н.;
Евдокимов А.А., д.х.н.;

МТУ(МИРЭА), Специализированная учебно-научная межвузовская лаборатория «Когерентная фазовая микроскопия», Москва, 119454

@ Автор для переписки: Болотова А.А. email: and7.4@mail.ru

Работа посвящена проблеме информативности фазовых изображений. Рассмотрены методики извлечения количественной информации об объекте по его фазовому изображению, разрабатываемые в разных странах. Предложен метод исследования внутренних структур клеток с помощью интегральных функций фазовых изображений. Обозначена перспективность применения такой методики в биологических и медицинских исследованиях.

Ключевые слова: когерентная фазовая микроскопия, интерференционная микроскопия, анализ фазовых изображений

INFORMATIVE PHASE IMAGES OF BIOLOGICAL CELLS

Bolotova A.A.;
Zverzhovskiy V.D.;
Vyshenskaya T.V.;
Kretushev A.V.;
Evdokimov A.A.;

Moscow Technological University (MIREA) Specialized educational and scientific intercollegiate laboratory «Coherent Phase Microscopy», Mos-

cow, 119454

@ Corresponding author: Bolotova A.A. email: and7.4@mail.ru

The article takes up the issues of informative phase images. Methods of extracting quantitative information about the object from its phase image are considered. A new method proposed to research intracellular structures with using integral functions of the phase image. Advantages of proposed method are described.

Key words: coherent phase microscopy, interference microscopy, analysis of the phase images

На сегодняшний день применение фазовой микроскопии в медицинских и биологических исследованиях ограничено из-за недостатка алгоритмов извлечения количественной информации об объекте по его фазовому изображению. Однако, возможность количественно измерять прозрачные структуры, делает фазовую микроскопию одним из наиболее перспективных и актуальных методов микроскопии.

В методе когерентной фазовой микроскопии (КФМ) используется модифицированный микроинтерферометр Линника (МИИ-4, ЛОМО). В качестве осветителя используется лазер с $\lambda=632,8$ нм [1]. Опорная волна модулируется по линейно-периодическому закону. Получение фазового изображения осуществляется путем регистрации интерференционного сигнала в каждой точке изображения. Оптическая разность хода или фаза измеряется методом временных интервалов. В результате, полученное изображение является двумерным распределением фазы в плоскости координатно-чувствительного фотоприёмника. Метод КФМ позволяет получать изображения живых клеток без окрашивания и фиксации. Фазовые изображения КФМ обладают высокой разрешающей способностью, в 2-4 раза превышающей критерий Рэля. [2].

Важной задачей является разработка алгоритмов извлечения количественной информации об объекте по его фазовым изображениям. Исходным количественным параметром в фазовых изображениях является фазовая высота объекта:

$$h(x,y) = \lambda \varphi(x,y) / 2\pi \Delta n, \quad (1)$$

где λ – длина волны источника света, $\Delta n = n_c - n_0$ – рефрактерность – разность показателей преломления объекта и окружающей среды.

Из фазового изображения можно определить такие параметры, как: площадь проекции для каждой клетки; эквивалентный круговой диаметр, путем интегрирования фазовой высоты по проецируемой области рассчитывается фазовый объем клетки (мкм³):

$$V = \iint h(x,y) dx dy, \quad (2)$$

Площадь поверхности SA (мкм²) отдельных клеток определяется с помощью параметризации Монжа, где вклад каждого пикселя элемента dA может быть посчитан, как:

$$dA = dx dy (1 + h_x^2 + h_y^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где dx и dy – ширина и высота каждого пикселя, h_x и h_y – градиенты значений фазовой высоты вдоль x и y направлений соответственно. Из значения площади поверхности определяются такие параметры, как сферичность (ψ) и минимальный цилиндрический диаметр. Сферичность эритроцитов определяется, как отношение площади поверхности сферы с определенным объемом к реальной площади поверхности клетки, рассчитывается, как:

$$\psi = 4,84 \frac{V^{2/3}}{SA}, \quad (4)$$

и имеет значения от 0 до 1, является безразмерной величиной. Минимальный цилиндрический диаметр (MCD (мкм)) – теоретический параметр, определяет наименьший диаметр капилляров, в которых клетка может передвигаться. Оба параметра ввели Канхам и Бертон [3] и показали их клиническую значимость.

В работе [4] описаны методы определения таких параметров, как: периметр, круговой диаметр, эксцентриситет, минимальное, максимальное и среднее значение толщины, округлость, интегральная плот-

ность и др. Исследование всех параметров способствует развитию методов диагностики заболеваний.

В работе [5] была показана зависимость фазовой высоты от сухой массы, а именно - показатель преломления в клетке линейно зависит от концентрации вещества в ней:

$$n_c(x,y) = n_0 + \beta C(x,y), \quad (5)$$

где β [мл/г] – коэффициент рефрактерности, связанный с концентрацией белков C [г/мл]; n_c – показатель преломления клетки; n_0 – показатель преломления окружающей среды. По фазовым изображениям можно измерять рост сухой массы клетки.

В работе [6] рассмотрено преобразование фазовых изображений в распределение сухой массы клетки в плоскости изображения методом Фурье фазовой микроскопии:

$$\sigma(x,y) = \frac{\lambda}{2\pi\beta} \varphi(x,y). \quad (6)$$

Сухая масса клетки пропорциональна величине фазового объема клетки. Барер в работе [7] показал, как связан фазовый объем с сухой массой клетки:

$$W = \iint OPD(x,y) dx dy = \alpha \cdot m, \quad (7)$$

где W – фазовый объем (мкм³), m – сухая масса клетки (г), α – коэффициент пропорциональности.

Натан Шакед и Пинхас Гиршовиц получают фазовые изображения с помощью интерференционной фазовой микроскопии, так же известной, как внеосевая цифровая голографическая микроскопии [8]. Для характеристики объектов по его фазовому изображению необходимо использовать комплекс параметров. Помимо описанных выше параметров исследуются такие, как: фазовая площадь поверхности; отношение фазовой площади к объему и к сухой массе; отношение проекции площади к объему; фазовые статистические параметры (дисперсия фазы и фазовый эксцесс); эксцентриситет клетки.

Значения оптической толщины, полученные методом фазовой микроскопии, могут быть использованы для определения концентрации вещества и физической толщины объекта. Так, в работе [9] были исследованы концентрации гемоглобина, а

также толщина эритроцита по фазовым изображениям.

Описанный набор параметров и их взаимные корреляции могут характеризовать функциональное и энергетическое состояние клеток. В последнее время проводятся многочисленные исследования клеток с применением фазовой микроскопии, направленные на внедрение методик в медицинскую диагностику.

Для изучения внутренних структур клеток в лаборатории «Когерентная фазовая микроскопия» МИРЭА был предложен метод интегральных функций [10,11]. Интегральная функция площади фазового изображения представляет собой зависимость площади области топограммы, ограниченной изолинией от уровня изолинии h_i , измеряется в мкм^2 :

$$S(h_i) = \iint f(x, y, h_i) dx dy, \quad (8)$$

где $f(x, y, h_i)$ - фигура, образующаяся в результате пересечения $h(x, y)$ плоскостью h_i , Интегральная функция Фазового объема представляет собой зависимость фазового объема области топограммы, ограниченной изолинией от уровня изолинии h_i , измеряется в мкм^3 :

$$W(h_i) = \int_0^{L_x} dx \cdot \int_0^{L_y} dy \cdot \int_{h_i}^{h(x,y)} dz + h_i \cdot \iint f(x, y, h) dx dy, \quad (9)$$

где L_x, L_y – размеры всего фазового изображения.

Совокупность всех параметров клетки, определяемых при помощи методики интегральных функций фазового изображения (площади, фазовые высоты, фазовые объемы, рефрактерности зон, соотносимых с органеллами) получила название «фазовый портрет» клетки. Применяя данную методику к фазовым изображениям можно оценить параметры отдельных органелл клетки в норме и при заболеваниях. Т.к. одним из параметров методики является фазовый объем, то есть возможность определить сухой вес не только всей клетки, но

и отдельных органелл.

Список литературы

1. Тычинский В.П. Когерентная фазовая микроскопия внутриклеточных процессов // УФН. – 2001. – т. 171, №6. – с. 649-662.
2. Tychinsky V.P. "Super-resolution and singularities in phase images", *Physics-Uspekhi* 51(11), 2008, pp. 1161-1169.
3. Hoa Vinh Pham. REAL-TIME QUANTITATIVE PHASE IMAGING FOR CELL STUDIES pp. 43-60// University of Illinois at Urbana-Champaign, 2013
4. M. Mir, K. Tangella, and G. Popescu, "Blood testing at the single cell level using quantitative phase and amplitude microscopy," *Biomedical Optics Express*, vol. 2, pp. 3259-66, Dec 1, 2011
5. Mustafa Mir, Basanta Bhaduri, Ru Wang, Ruoyu Zhu and Gabriel Popescu, *Progress in optics, Chapter three - Quantitative Phase Imaging*, P.133-217, 2012
6. Popescu G., et al. *Fourier phase microscopy for investigation of biological structures and dynamics // Opt. Lett.* – 2004. – 29, №21. – p. 2503-2505
7. R. Barer, "Interference microscopy and mass determination," *Nature* 169(4296), 366–367 (1952)
8. P. Girshovitz and N. T. Shaked, "Generalized cell morphological parameters based on interferometric phase microscopy and their application to cell life cycle characterization," *Biomed. Opt. Express* 3(8), 1757–1773 (2012).
9. M. Mir, K. Tangella and G. Popescu, *Blood testing at the single cell level using quantitative phase and amplitude microscopy*, *Biomed. Opt. Exp.*, 2 (12), 3259 (2011)
10. Vladimir P. Tychinsky et al. *Dissecting eukaryotic cells by coherent phase microscopy: quantitative analysis of quiescent and activated T-lymphocytes// Journal of Biomedical Optics* 17(7), 076020 (July 2012)
11. Vladimir Tychinsky et al. *Quantitative phase imaging of living cells: application of the phase volume and area functions to the analysis of 'nucleolar stress// J. Biomed. Opt.* 18 (11), 111413 (August 22, 2013); doi: 10.1117/1.JBO.18.11.111413

УДК 621.378.331

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ С НАКАЧКОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Зверев М.М., д.ф.м.н., профессор;
Гамов Н.А., инженер;
Жданова Е.В., к.ф.м.н., доцент;
Студенов В.Б., к.ф.м.н., доцент

Московский государственный технологический университет (МИРЭА), 117454, Москва, пр.Вернадского, 78, Россия.

Автор для переписки: Зверев М.М. e-mail: mzverev@mail.ru

В статье приведен краткий обзор работ по импульсным полупроводниковым лазерам и лазерным сборкам с накачкой электронным пучком. Показана возможность достижения импульсной мощности излучения в несколько кВт в зеленой области спектра с 1 см^2 сборки при использовании для накачки электронов с энергией менее 10 кэВ .

Ключевые слова: лазер, квантоворазмерная структура, лазерная сборка, электронный пучок.

ELECTRON BEAM PUMPED SEMICONDUCTOR EMITTERS

Zverev M. M.;
Gamov N.A.;
Zhdanova E.V.;
Studionov V.B.

The article gives a brief review of the works on pulsed semiconductor lasers and laser arrays pumped by an electron beam. It is shown that using of electrons with energies of less than 10 keV for pumping makes it possible to obtain a pulsed radiation power of several kW in green region from 1 cm^2 of array.

Keywords: electron beam pumped laser, quantum size structure, heterostructure, electron beam.

e-mail: mzverev@mail.ru

В настоящее время источники света на основе полупроводниковых материалов находят широчайшее применение. Системы записи информации, оптическая связь и оптоволоконные линии связи, обработка

материалов, различные осветительные системы, спектроскопия, системы накачки твердотельных и волоконных лазеров, метрология, медицина – вот далеко не полный перечень областей использования полупроводниковых лазеров и светодиодов. Накачка таких лазеров и светодиодов осуществляется электрическим током. Для их работы принципиальным является наличие р-п перехода, образованного на границе областей полупроводниковых материалов с электронной и дырочной проводимостью.

Именно это обстоятельство в ряде случаев ограничивает или делает невозможным достижение некоторых параметров излучения. Действительно, не на всех полупроводниках возможно получение материала р – типа проводимости. Особенно это касается широкозонных полупроводников, излучение которых лежит в ультрафиолетовой области спектра. Область, занимаемая р-п переходом, имеет небольшие размеры – как правило, доли микрона. В связи с этим возникают ограничения для выходной мощности излучения, так как при малом размере излучающей области плотность световой мощности может достигать значений, при которых происходит разрушение материала собственным излучением (порядка 10^7 Вт/см^2 и выше). Поэтому для получения высокой импульсной мощности (порядка $1000\text{-}10000 \text{ Вт}$) используют лазерные сборки. Конструкция таких сборок очень сложна, так как при наличии большого количества лазерных элементов необходимо к каждому из них подвести ток накачки. В настоящее время технология изготовления таких сборок освоена только для излучателей ближнего ИК диапазона с длиной волны $800\text{-}1000 \text{ нм}$.

В то же время существует другой метод накачки полупроводниковых излучателей – метод накачки электронным пучком. При таком методе накачки нет необходимости в р-п переходе и контактах, возбуждение является объемным, размер накачиваемой области зависит в основном от глубины проникновения быстрых электронов в кристалл и может составлять десятки и сотни микрон. Использование электронных пуч-

ков площадью несколько квадратных сантиметров позволяет осуществить накачку лазерных сборок, состоящих из нескольких тысяч отдельных элементов. Полупроводниковые лазеры с накачкой электронным пучком были предложены и впервые реализованы в Советском Союзе в 1964 году [1]. Разработки двух типов лазеров - сканирующих квазинепрерывных лазеров [2], предназначенных в основном для систем отображения информации на большом экране, и мощных импульсных лазеров (лазерных сборок) были доведены до промышленного выпуска [3,4]. В таблице 1 представлены некоторые характеристики излучения лазерных сборок на основе полупроводниковых монокристаллов, достигнутые в лабораторных условиях [5]; максимальная импульсная мощность составила около 14 МВт на длине волны 530 нм. Устройства в приборном исполнении имели значения импульсной мощности до 5-10 МВт при длительности импульса 3-5 нс [3,4,6]. Была успешно продемонстрирована возможность использования таких излучателей для систем посадки самолетов и проводки судов, систем наблюдения в условиях плохой видимости, для медицинских применений, для диагностики быстропротекающих процессов [6,7]. Благодаря низкой пространственной когерентности излучения лазерных сборок удавалось получать высококачественные, с отсутствием спекл-структуры, интерференционные изображения объектов, движущихся со сверхзвуковыми скоростями [6,7,8]. Тем не менее системы с использованием импульсных полупроводниковых лазерных сборок не получили пока широкого распространения. Одной из главных причин этого является высокие значения энергии электронов, используемых для накачки. Действительно, в мощных импульсных лазерах использовались электроны с энергией $U = 200-300$ кэВ, что требовало защиты как от высокого напряжения, так и от сопутствующего рентгеновского излучения. Существенного снижения рабочей энергии электронов накачки в лазерах данного типа удалось добиться за счет использования квантоворазмерных структур. При этом используется поперечная схема

накачки, при которой направление пучка электронов перпендикулярно оси лазерного резонатора.

Таблица 1.

Энергия излучения в импульсе для лазерных сборок на основе различных полупроводниковых кристаллов

Кристалл	Энергия в импульсе, мДж		Длина волны, нм
	Длительность импульса $\tau = 20$ нс	Длительность импульса $\tau = 1$ нс	
ZnO	50	2	390
ZnSe	150	1	480
CdS	300	10	530
ZnCd _x Se _{1-x}	-	4	570
ZnCd _y Se _{1-y}	-	3	630
GaAs	250	-	890

В 1993-95 годах появилась серия статей, в которых сообщалось о разработке малогабаритных лазеров на основе квантоворазмерных структур CdTe/CdMnTe, GaAs/GaAlAs, ZnSe/ZnCdSe с накачкой электронами с энергией 10 кэВ [9,10,11]. В наших работах была показана возможность уменьшения энергии электронов накачки до 3.2 – 3.5 кэВ при комнатной температуре T активного элемента для лазеров синезеленого [12] и инфракрасного [13] диапазонов, и до 2.5 кэВ – при криогенном охлаждении образцов [14]. Были разработаны лазерные сборки, работающие в зеленом диапазоне длин волн, на которых были получены при T=300K значения импульсной мощности до 630 Вт при U=24кэВ [15] и до 180 Вт при U = 5.6 кэВ [16,17]. Максимальные значения импульсной мощности излучения этих сборок ограничивались разрушением лазерных элементов собственным излучением. Нами были выполнены расчеты предельной мощности, которой можно достичь с единицы площади лазерной сборки (рис.1). При расчетах учитывалась зависимость пороговой плотности тока от длины резонатора, оптическая прочность материала, а также наличие областей конечных размеров d (на рис.1 d=30 мкм), разделяющих отдельные элементы друг от друга. Резуль-

таты расчетов сравнивались с экспериментальными данными, полученными для сборок на основе ZnCdSe –содержащих структур [16,17]. Лучшее согласие результатов расчетов с экспериментом наблюдалось при плотности мощности света P_0 , при которой происходит разрушение активного элемента, равной $P_0=5 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$.

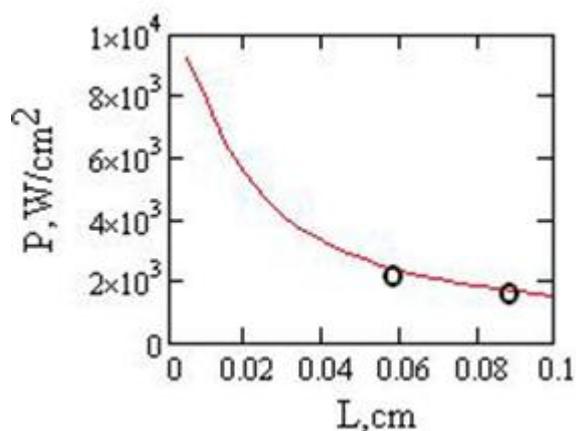


Рис.1. Зависимость выходной импульсной мощности, излучаемой с 1 см^2 лазерной сборки, от длины резонатора L одиночного лазера (расчет). $P_0=5 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$, размер волновода $h=0.5 \text{ мкм}$. Кружки – результаты экспериментов при $U=5.6 \text{ кВ}$ [16,17].

При малых ($< 0.2 \text{ мм}$) длинах резонатора порог генерации может возрастать из-за импульсного нагрева образца, который не учитывался в расчетах. Однако из прямых измерений следует [18], что при длинах резонатора $\sim 0.5 \text{ мм}$ нагрев незначителен, так как даже при длительности импульса накачки $\sim 100 \text{ нс}$ процесс является неадиабатическим, существенным является поток тепла в подложку через боковую поверхность структуры. Таким образом, по-видимому, уменьшение длины резонатора до величины $\sim 0.2 \text{ мм}$ не приведет к заметному увеличению импульсного нагрева образца в связи с увеличением пороговой плотности тока. При такой длине резонатора возможно достижение импульсной мощности излучения $\sim 6 \text{ кВт}$ с единицы площади мишени (рис.1). Заметим, что при увеличении размера волновода h и оптической прочности P_0 материала структуры

предельная выходная мощность пропорционально возрастает. Дополнительной возможностью уменьшения импульсного нагрева является сокращение длительности импульса накачки до величины $\sim 10 \text{ нс}$ или меньше.

Таким образом, для увеличения предельных значений импульсной мощности излучения сборок необходимы структуры с увеличенным размером волновода, необходима также отработка технологии изготовления сборок с уменьшенной длиной резонатора, а также совершенствование источника накачки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки, задание №3.5160.2017/БЧ

Список литературы

1. Басов, Н.Г. Возбуждение полупроводникового квантового генератора пучком быстрых электронов / Н.Г. Басов, О.В. Богданкевич, А.Г. Девятков // ДАН СССР. – 1964. -Т. 155. - № 4. - С. 283-290.
2. Уласюк, В.Н. Квантоскопы / В.Н. Уласюк. - М.: Радио и связь, 1988.
3. Гольченко, А.Н. Излучатель световых импульсов наносекундной длительности/ Гольченко А.Н., Гуцин М.М., Кошевой А.В., Олихов И.М., Петрушенко Ю.В., Уласюк В.Н.// Электронная промышленность. – 1989.-Т.5. - стр.48.
4. М. М. Зверев, С. Иванов, И. Олихов. Полупроводниковые лазеры с электронно-лучевой накачкой // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2006. -(70). - С. 66.
5. Зверев, М.М. Докторская диссертация. ВНИЦПВ, Москва, 1993.
6. Олихов, И.М. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. -1998. - №3-4. - с.25.
7. Богданкевич, О.В. Устройства на основе полупроводниковых лазеров с накачкой электронным пучком/ О.В. Богданкевич, Г.А. Меерович, И.М. Олихов, А.В. Садчихин// Радиотехника и электроника. - 1999. – Т. 44. - № 8. – С. 901 - 919.
8. Альбом сверхзвуковых течений. Под ред. П.И. Ковалева и Н.П. Менде. – 2011.-С-Пб. - Изд-во Политехн. ун-та. - стр. 245.
9. E.Molva, R.Accomo, G.Labrunie, J.Cibert, C.Bodin, L.S.Dang, G.Fenillet. Microgun-pumped semiconductor laser // Appl. Phis.Letters. – 1993. – 62. P. 796.
10. Herve, D. Microgun-pumped blue and blue-green lasers/ D. Herve, E. Molva, L. Vanzetti, L. Sorba, A. Francioci // Electronics Letters.

-1995. –V.31. –N 6, - P. 459-461.

11. Herve, D. Microgun-pumped blue lasers / D. Herve, R. Accoto, E. Molva, L. Vanzetti, J.J. Paggel, L. Sorba, A. Francioci // *Appl. Phys. Letters*. - 1995. - V 67. – №9. - P. 2144-2146.

12. Зверев, М.М. Лазер зеленого диапазона на основе ZnSe-содержащих структур с накачкой электронным пучком с энергией менее 10 кэВ / М.М. Зверев, Н.А. Гамов, Е.В. Жданова, Д.В. Перегудов, В.Б. Студенов, С.В. Иванов, С.И. Гронин, И.В. Седова, С.В. Сорокин, П.С. Копьев // *Письма в ЖТФ*. -2007. - Т. 33 (24). - С. 1-7.

13. M.M. Zverev, N.A. Gamov, E.V. Zhdanova, D.V. Peregoudov, V.B. Studionov, A.A. Marmalyuk, M.A. Ladugin *InGaAs/AlGaAs-nanostructure based pulse laser pumped by electron beam of 3.5 – 15 keV energy / Proceedings of 18th International Symposium “Nanostructures: Physics and Technology”*. - June 20-25, 2011. - Ekaterinburg, Russia. - P. 31-32.

14. N.A. Gamov, E.V. Zhdanova, M.M. Zverev, A.A. Marmalyuk, M.A. Ladugin, I.A. Anishchenko, T.A. Bagaev, D.V. Peregoudov, V.B. Studionov *Pulse low-energy electron beam pumped IR-lasers based on InGaAs/AlGaAs/GaAs nanoheterostructures / 12th International Conference on Fiber-Optical Networks Modeling LFNМ'2013*. - 11-13 September 2013. - Sudak,

Ukraina. - *Conference Proceedings*. - pp 82-83.

15. Zverev, M.M. Green electron-beam pumped laser arrays based on II–VI nanostructures / M.M. Zverev, S.V. Ivanov, N.A. Gamov, E.V. Zdanova, V.B. Studionov, D.V. Peregoudov, I.V. Sedova, S.V. Gronin, S.V. Sorokin, P.S. Kop'ev, I.M. Olikhov // *Phys. Status Solidi*. -2010. - В 247(6). –P. 1561-1563.

16. Zverev, M.M. RT ZnSe-based lasers and laser arrays pumped by low-energy electron beam / Zverev M.M., Sorokin S.V., Gamov N.A., Zhdanova E.V., Studionov V.B, Sedova I.V., Gronin S.V., Ivanov S.V. // *Physica status solidi (c)*.- 2016. –v.13, 7-9. - pp 661–664.

17. Zverev, M.M. ZnSe-based laser array pumped by electron beam with energy below 6 keV / Zverev M.M.; Gamov N.A.; Zhdanova E.V.; Studionov V.B.; Sedova I.V.; Sorokin S.V.; Gronin S.V.; Ivanov S.V. // *Laser Optics (LO)*, - 2016 International Conference, -27 June-1 July 2016, -S-Pb, DOI: 10.1109/LO.2016.7549752.

18. Зверев, М.М. Импульсный нагрев активных элементов низкороговых зеленых лазеров с накачкой электронным пучком на основе наноструктур II-VI / М.М. Зверев, Н.А. Гамов, Е.В. Жданова, В.Б. Студенов, С.В. Иванов, Д.В. Перегудов, С.В. Гронин, И.В. Седова, С.В. Сорокин, П.С. Копьев // *Оптика и спектроскопия*. - 2009. –Т. 107(3).– С. 410-414.

УДК 538.958

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОКОМПОЗИТЕ CoSiO₂

Лысина Е.А. – магистр кафедры нанoeлектроники Физико-технологического института МИРЭА

Юрасов А.Н., д. ф.-м. н., профессор кафедры нанoeлектроники Физико-технологического института МИРЭА

Московский технологический университет (МИРЭА), 119454, проспект Вернадского, 78, Москва, Россия.

Email: alexey_yurasov@mail.ru,
Lysina93@rambler.ru

Аннотация. Данная работа посвящена теоретическому исследованию экваториального эффекта Керра (ЭЭК) и

магниторефрактивного эффекта (МРЭ) в нанокompозите CoSiO₂ обсуждены возможные механизмы их усиления. МРЭ представляет собой изменения коэффициентов отражения, прохождения и поглощения электромагнитных волн в образцах с магнитосопротивлением (МС) при приложении магнитного поля. Результаты расчетов были сравнены с экспериментальными данными. Продемонстрировано, что величина и частотная зависимость ЭЭК и МРЭ сильно зависят от оптических свойств нанокompозита, толщины пленки и величины МС. Продемонстрировано, что МРЭ напрямую связан с МС в нанокompозитах под действием магнитного поля. Таким образом, ЭЭК и МРЭ могут рассматриваться как бесконтактный метод измерения МС нанокompозитов.

Ключевые слова: Экваториальный эффект Керра, магниторефрактивный эффект, нанокompозиты, магнитосопротивление

MAGNETOOPTIC EFFECTS IN NANOCOMPOSITE CoSiO₂

**Lysina E.A.,
Yurasov A.N.**

Moscow technological university, 119454,
 Vernadsky avenu, 78, Moscow, Russian

Keywords: transverse Kerr effect, magnetorefractive effect,
 nanocomposites, magnetoresistance.

Abstract. We have theoretical investigated the transverse Kerr effect (TKE) and the magnetorefractive effect (MRE) in nanocomposite CoSiO_2 . We discuss possibility of magnifications for these effects. MRE can be considered as variations of the coefficients of reflection, transmission and absorption of electromagnetic waves of samples with magnetoresistance (MR) under applied magnetic field. The results of calculations have been analyzed in comparison with experimental data in the IR range. It was shown that the magnitude and frequency dependencies of TKE and MRE are sensitive to the optical properties of the nanocomposite, their thickness and MR values. It was shown that MRE are strictly connected with the magnetoresistance of the nanocomposites under applied magnetic field. So as TKE and MRE can be used as contactless method for MC measurements for nanocomposites.

Экваториальный эффект Керра представляет собой один из магнитооптических эффектов суть которого заключается в изменении интенсивности и сдвиге фазы линейно-поляризованного света, отраженного от поверхности намагниченного материала.

Исходя из определения можно получить спектральные зависимости экваториального эффекта Керра от различных величин, например: от энергии, длины волны, частоты и посмотреть как меняется интенсивность и сдвигается фаза линейно-поляризованного света.

Для наглядной демонстрации рассчитывался ЭЭК (δ) от энергии при различных углах падения (см. рис. 1) на примере нанокompозита CoSiO_2 со следующими параметрами в рамках теории эффективной среды [1-3]:

$$\epsilon_1 := \begin{pmatrix} 5.3 \\ 5.03 \\ 4.88 \\ 4.78 \\ 4.66 \\ 4.49 \\ 4.27 \\ 4.02 \\ 3.69 \\ 3.50 \end{pmatrix} \quad \epsilon_2 := \begin{pmatrix} 2.95 \\ 2.85 \\ 2.84 \\ 2.91 \\ 3.06 \\ 3.23 \\ 3.42 \\ 3.51 \\ 3.50 \\ 3.42 \end{pmatrix}$$

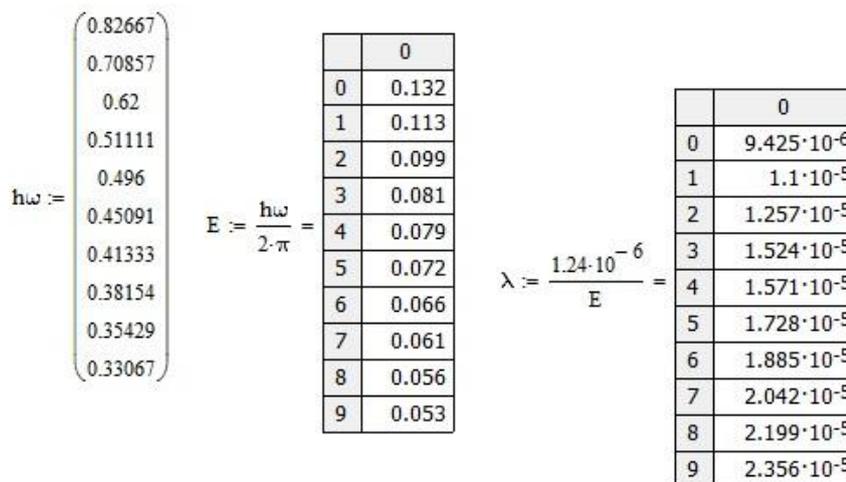
$$\epsilon := \epsilon_1 - i\epsilon_2 =$$

	0
0	5.3-2.95i
1	5.03-2.85i
2	4.88-2.84i
3	4.78-2.91i
4	4.66-3.06i
5	4.49-3.23i
6	4.27-3.42i
7	4.02-3.51i
8	3.69-3.5i
9	3.5-3.42i

$$\gamma_1 := \begin{pmatrix} 0.068 \\ 0.0203 \\ 0.0317 \\ 0.0395 \\ 0.048 \\ 0.052 \\ 0.051 \\ 0.047 \\ 0.041 \\ 0.0328 \end{pmatrix} \quad \gamma_2 := \begin{pmatrix} 0.0018 \\ 0.0059 \\ 0.098 \\ 0.0119 \\ 0.017 \\ 0.024 \\ 0.032 \\ 0.036 \\ 0.0415 \\ 0.044 \end{pmatrix}$$

$$\gamma := \gamma_1 - i\gamma_2 =$$

	0
0	0.068-1.8i·10 ⁻³
1	0.02-5.9i·10 ⁻³
2	0.032-0.098i
3	0.04-0.012i
4	0.048-0.017i
5	0.052-0.024i
6	0.051-0.032i
7	0.047-0.036i
8	0.041-0.042i
9	0.033-0.044i



Построим зависимость параметра ЭЭК от энергии по формуле (1):

$$\delta_p = (A \cdot \gamma_1 + B \cdot \gamma_2) \cdot \frac{2 \cdot \sin 2\varphi}{A^2 + B^2} \quad (1)$$

где $A = \varepsilon_2 (2\varepsilon_1 \cos^2 \varphi - 1)$, $B = \cos^2 \varphi (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2 + 1) + \varepsilon_1 - 1$

при разных углах падения: $\varphi_1 = 60^\circ$, $\varphi_2 = 10^\circ$, $\varphi_3 = 45^\circ$.

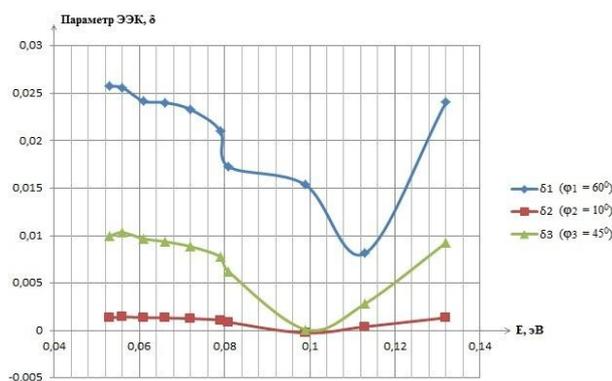


Рис.1 – Зависимость ЭЭК от энергии поля при изменении угла падения света

Аналогично можно построить зависимость параметра ЭЭК от длины волны падающего света (см. рис.2):

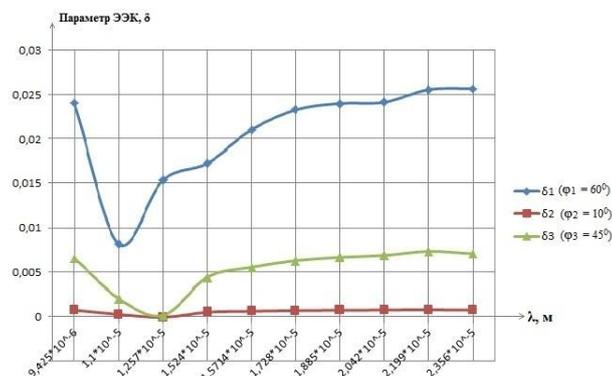


Рис.2 – Зависимость ЭЭК от длины волны при изменении угла падения света

Из приведенных графиков видно, что значения параметра ЭЭК изменяются пропорционально с изменением угла падения света.

Также на рисунках просматриваются ярко выраженные минимумы, которые можно объяснить проявлением интерференции света ($2dn \cdot \sin \varphi = m\lambda$), а также размерным эффектом, суть которого заключается в геометрическом ограничении эффективной длины пробега электронов, когда размеры исследуемого объекта становятся сопоставимы с этой длиной[2].

Далее наблюдаем магниторефрактивный эффект (МРЭ) в нанокompозите CoSiO_2 , который заключается в изменении коэффициентов отражения R , пропускания T и поглощения A света образца со значительным магнитосопротивлением при его намагничивании[4].

Рассмотрим случай р-поляризованного света, падающего из прозрачного немагнитного диэлектрика (с коэффициентом преломления $n_1=1$) на магнитный образец CoSiO_2 (с коэффициентом преломления n_2) под углом падения φ . Коэффициент преломления третьей среды примем равным $n_3=1$.

Построим зависимость коэффициента отражения R (по формуле Френеля) от длины волны при разной толщине пластины для двух углов падения света $\varphi=0^\circ$,

$$r_{123} := \frac{r_{12} + F_2^2 \cdot r_{23}}{1 + F_2^2 \cdot r_{12} \cdot r_{23}}$$

$$R := (|r_{123}|)^2$$

$\varphi=40^\circ$.

$n1 := 1$ $n3 := 1$

	0
0	2.384
1	2.325
2	2.294
3	2.278
4	2.262
5	2.238
6	2.207
7	2.163
8	2.095
9	2.049

$$n2 := \sqrt{\frac{\epsilon1 + \sqrt{\epsilon1^2 + \epsilon2^2}}{2}} =$$

	0
0	2.384
1	2.325
2	2.294
3	2.278
4	2.262
5	2.238
6	2.207
7	2.163
8	2.095
9	2.049

$$g1 := \sqrt{n1^2 - n1^2 \cdot (\sin(\varphi))^2} = 1$$

	0
0	2.384
1	2.325
2	2.294
3	2.278
4	2.262
5	2.238
6	2.207
7	2.163
8	2.095
9	2.049

$$g2 := \sqrt{n2^2 - n1^2 \cdot (\sin(\varphi))^2} =$$

	0
0	2.384
1	2.325
2	2.294
3	2.278
4	2.262
5	2.238
6	2.207
7	2.163
8	2.095
9	2.049

$$d := 100 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$d2 := 400 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$d3 := 1000 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Для $d=100 \text{ нм}$

	0
0	0.987-0.158i
1	0.991-0.132i
2	0.993-0.114i
3	0.996-0.094i
4	0.996-0.09i
5	0.997-0.081i
6	0.997-0.073i
7	0.998-0.067i
8	0.998-0.06i
9	0.999-0.055i

Для $d=400 \text{ нм}$

	0
0	0.805-0.594i
1	0.862-0.507i
2	0.897-0.443i
3	0.93-0.367i
4	0.935-0.354i
5	0.947-0.32i
6	0.957-0.29i
7	0.965-0.263i
8	0.971-0.237i
9	0.976-0.217i

Для $d=1000 \text{ нм}$

	0
0	-0.018-1i
1	0.24-0.971i
2	0.411-0.912i
3	0.591-0.807i
4	0.618-0.786i
5	0.687-0.727i
6	0.741-0.671i
7	0.787-0.617i
8	0.826-0.563i
9	0.854-0.52i

$$F2 := e^{\left(-2 \cdot \pi \cdot i \cdot \frac{g^2 \cdot d}{\lambda}\right)} =$$

$$F2 := e^{\left(-2 \cdot \pi \cdot i \cdot \frac{g^2 \cdot d2}{\lambda}\right)} =$$

$$F2 := e^{\left(-2 \cdot \pi \cdot i \cdot \frac{g^2 \cdot d3}{\lambda}\right)} =$$

$$r12 := \frac{g1 \cdot n2^2 - g2 \cdot n1^2}{g1 \cdot n2^2 + g2 \cdot n1^2} =$$

	0
0	0.409
1	0.398
2	0.393
3	0.39
4	0.387
5	0.382
6	0.376
7	0.368
8	0.354
9	0.344

$$r23 := \frac{g2 \cdot n3^2 - g3 \cdot n2^2}{g2 \cdot n3^2 + g3 \cdot n2^2} =$$

	0
0	-0.409
1	-0.398
2	-0.393
3	-0.39
4	-0.387
5	-0.382
6	-0.376
7	-0.368
8	-0.354
9	-0.344

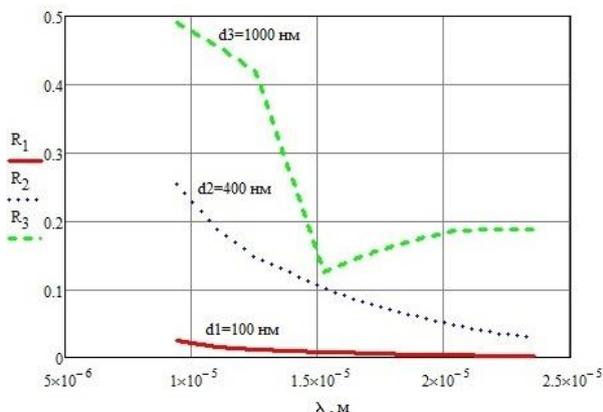


Рис. 3 - Зависимость коэффициента отражения R от длины волны при разной толщине пластины для угла падения света $\varphi=0^\circ$.

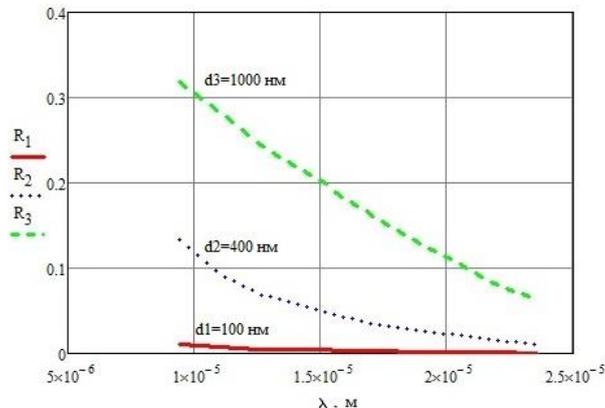


Рис. 4 - Зависимость коэффициента отражения R от длины волны при разной толщине пластины для угла падения света $\varphi=40^\circ$.

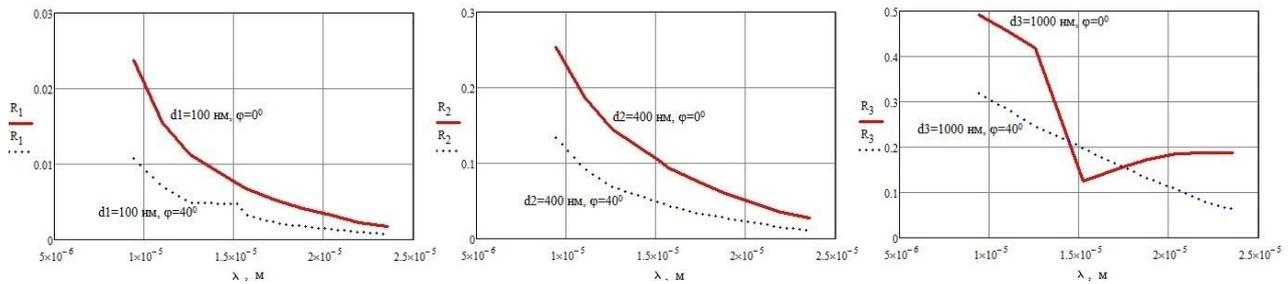


Рис. 5 – Зависимость коэффициента отражения R от изменения угла падения φ

Далее построим зависимости МРЭ при $\varphi = 0^\circ$ от изменения угла падения φ при $\lambda = 10^{-5}$ м противления нанокompозита.

$$R = \frac{(1-n)^2 + k^2}{(1+n)^2 + k^2} = T = 1 - R =$$

	0
0	0.194
1	0.186
2	0.183
3	0.183
4	0.185
5	0.187
6	0.189
7	0.189
8	0.185
9	0.18

	0
0	0.806
1	0.814
2	0.817
3	0.817
4	0.815
5	0.813
6	0.811
7	0.811
8	0.815
9	0.82

1)

$$\Delta\rho_1/\rho_1 = 0.01$$

$$\Delta R_1/R_1 = -(1-R) \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} k^2 \cdot \frac{3n^2 - k^2 - 1}{(n^2 + k^2) \cdot [(1-n)^2 + k^2]} = \Delta T_1/T_1 = \frac{1}{2} \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} T \cdot k^2 \cdot \frac{2n^2 + n}{n^2 + k^2} =$$

	0
0	$-5.874 \cdot 10^{-3}$
1	$-5.565 \cdot 10^{-3}$
2	$-5.401 \cdot 10^{-3}$
3	$-5.308 \cdot 10^{-3}$
4	$-5.21 \cdot 10^{-3}$
5	$-5.066 \cdot 10^{-3}$
6	$-4.878 \cdot 10^{-3}$
7	$-4.64 \cdot 10^{-3}$
8	$-4.299 \cdot 10^{-3}$
9	$-4.084 \cdot 10^{-3}$

	0
0	0.048
1	0.048
2	0.048
3	0.048
4	0.047
5	0.047
6	0.046
7	0.046
8	0.045
9	0.045

2)

$$\frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} = 0.03$$

$$\Delta R_2/R_2 = -(1-R) \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} k^2 \cdot \frac{3n^2 - k^2 - 1}{(n^2 + k^2) \cdot [(1-n)^2 + k^2]} = \Delta T_2/T_2 = \frac{1}{2} \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} T \cdot k^2 \cdot \frac{2n^2 + n}{n^2 + k^2} =$$

	0
0	-0.018
1	-0.017
2	-0.016
3	-0.016
4	-0.016
5	-0.015
6	-0.015
7	-0.014
8	-0.013
9	-0.012

	0
0	0.143
1	0.144
2	0.144
3	0.143
4	0.142
5	0.14
6	0.138
7	0.137
8	0.135
9	0.135

3)

$$\frac{\Delta \rho_3}{\rho_3} = 0.05$$

$$\Delta R_3 / R_3 = -(1 - R) \frac{\Delta \rho_3}{\rho_3} k^2 \left[\frac{3 \cdot n^2 - k^2 - 1}{(n^2 + k^2) \cdot [(1 - n)^2 + k^2]} \right] =$$

	0
0	-0.029
1	-0.028
2	-0.027
3	-0.027
4	-0.026
5	-0.025
6	-0.024
7	-0.023
8	-0.021
9	-0.02

$$\Delta T_3 / T_3 = \frac{1 \Delta \rho_3}{2 \rho_3} T \cdot k^2 \cdot \frac{2 \cdot n^2 + n}{n^2 + k^2} =$$

	0
0	0.239
1	0.24
2	0.239
3	0.238
4	0.236
5	0.234
6	0.23
7	0.228
8	0.225
9	0.225

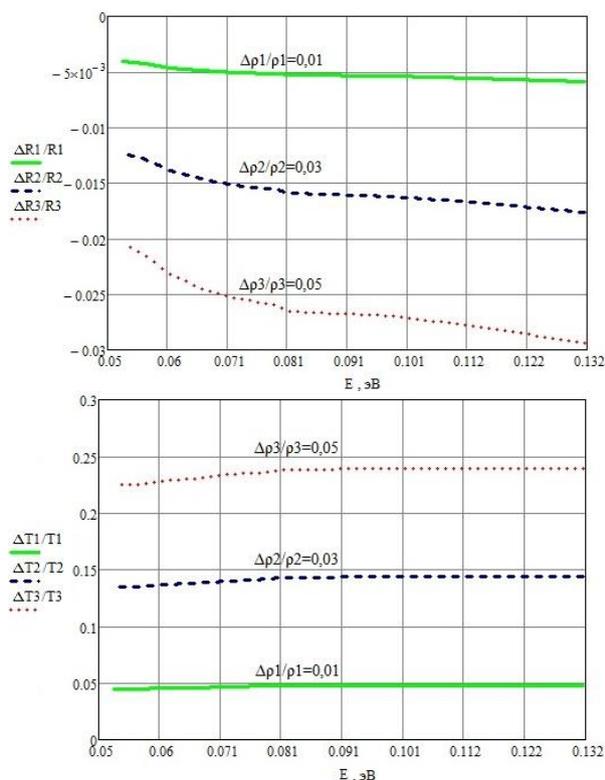


Рис. 7 – Зависимость МРЭ от энергии поля при различных значениях магнитосопротивления $\Delta \rho / \rho$

С увеличением магнитосопротивления нанокompозита $\Delta \rho / \rho$ скорость изменения коэффициента отражения R (прохождения

T) увеличивается-демонстрируется прямая пропорциональность между МРЭ и МС.

При малом изменении $\Delta \rho / \rho$ коэффициенты отражения и прохождения практически не изменяются (остаются постоянными при различных изменениях во времени). Таким образом исследование ЭЭК и МРЭ является важным бесконтактным способом измерения магнитосопротивления.

Список литературы

1. Niklasson G.A., Granqvist C.G.. // *J. Appl. Phys.* 1984. V. 55 P. 3382-3410.
2. Granovsky A.B., Gan'shina E.A., Vinogradov A.N., Rodin I.K., Yurasov A.N. and Khan H.R. // *Physics of Metals and Metallography.* 2001. V. 91. S52-56.
3. Юрасов А.Н. О распределении по размерам гранул в нанокompозитах// *Российский технологический вестник.* 2016. №1(10). С.25-27.
4. Грановский А., Быков И., Ганьшина Е., Гуцин В., Козлов А., Юрасов А., Калинин Ю., Инуге М.. *Магниторефрактивный эффект в магнитных нанокompозитах// Журнал экспериментальной и теоретической физики.* 2003. Т. 123. Вып. 6, С. 1256-1265.

УДК 538.958

ВОЗБУЖДЕНИЕ СПИНОВЫХ ВОЛН, ИНДУЦИРОВАННОЕ СВЕРХБЫСТРЫМ ТРАНСПОРТОМ СПИН- ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НОСИТЕЛЕЙ В СТРУКТУРЕ Fe/Au/Fe

Ильин Н.¹, к.ф.-м.н., младший научный
 сотрудник
 Раздольский И.², к.ф.-м.н.
 Алехин А.², PhD
 Meyburg Jan P.³, PhD
 Roddatis V.⁴, PhD
 Diesing D.³, PhD
 Bovensiepen U.⁵, PhD
 Мельников А.^{2,6}, к.ф.-м.н.

¹ Физико-технологический институт Московского технологического университета

² Physical Chemistry Department, Fritz Haber Institute of Max Planck Society

³ Faculty of Chemistry, University of Duisburg-Essen

⁴ University of Göttingen, Institute for Physics of Materials

⁵ Faculty of Physics and Center for Nanointegration (CENIDE), University of Duisburg-Essen

⁶ Institute of Physics, Martin Luther University Halle-Wittenberg

© Автор для переписки: Ильин Н.А. e-mail: alexander-nick@bk.ru

Анализ распространения спиновых волн, возбуждаемых сверхбыстрым переносом спин-поляризованных электронов позволяют исследовать динамику намагниченности. Для возбуждения сверхбыстрой спиновой динамики в ферромагнетике используются короткие импульсы спин-поляризованного тока, возбужденные, в свою очередь, лазерными импульсами. Анализируется при этом переходная область возбуждения. Возбужденная неоднородная спиновая динамика имеет частоту вплоть до 0,6 ТГц, что свидетельствует о локализации возмущения намагниченности слоя ферромагнетика до 2 нм.

Ключевые слова: спинтроника, спиновые волны, сверхбыстрые процессы, спиновая динамика, ферромагнетика

SPIN WAVES INDUCED BY ULTRAFAST SPIN-POLARIZED CARRIER TRANSPORT IN Fe/Au/Fe STRUCTURE

Ilyin N.¹
 Razdolski I.²
 Alekhin A.²
 Meyburg Jan P.³
 Roddatis V.⁴
 Diesing D.³
 Bovensiepen U.⁵
 Melnikov A.^{2,6}

¹ Moscow Technological University. Institute of Physics and Technology

² Physical Chemistry Department, Fritz Haber Institute of Max Planck Society

³ Faculty of Chemistry, University of Duisburg-Essen

⁴ University of Göttingen, Institute for Physics of Materials

⁵ Faculty of Physics and Center for Nanointegration (CENIDE), University of Duisburg-Essen

⁶ Institute of Physics, Martin Luther University Halle-Wittenberg

© Corresponding author e-mail: Ilyin N.A. alexander-nick@bk.ru

The spatio-temporal properties of the impulsive spin transfer torque exerted by ultrashort spin current pulses on the FM open the time domain for probing non-uniform magnetization dynamics. Here we employ laser-generated ultrashort spin current pulses for driving ultrafast spin dynamics in FM and analysing its transient local source. Transverse spins injected into FM excite inhomogeneous high-frequency spin dynamics up to 0.6 THz, indicating that the perturbation of the FM magnetization is confined to 2 nm.

Key words: spintronics, spin waves, ultrafast processes, spin dynamics, ferromagnetics

Приближаясь к временным масштабам, лежащим в основе элементарных процессов [1], спиновые токи с длительностью фемтосекундного импульса [2, 3] могут дать ценную фундаментальную информацию о сверхбыстрой динамике спинов [4]. Помимо изменения намагниченности в многослойных структурах [2], ультракороткие импульсы спиновых токов переносят вращательный момент и, следовательно, приводят к изменению когерентной динамики намагниченности в полупроводниковых пленках [5] или перпендикулярно связанных магнитных бислоинных структурах [6]. В дополнение к статическим или частотным исследованиям, этот подход во временной области использует квази-мгновенное возбуждение спинового тока ультракороткими импульсами, что позволяет проводить исследования когерентной спиновой динамики. Однако до сих пор динамика когерентной намагниченности, обусловленная передачей вращательного момента спина, ограничивалась однородной ($k = 0$) прецессией на пикосекундной шкале [7]. Как обсуждалось в [5], однородный характер динамики намагниченности обусловлен однородностью системы и квази-однородным лазерным возбуждением. В свою очередь, многослойные структуры, выполненные из тонких (несколько нанометров) ферромагнитных (ФМ) пленок, аналогичные исследованным в [6], приводят к быстрому увеличению частот собственных мод спиновых волн и могут препятствовать пространственно-разрешенным исследованиям их возбуждения.

Для изучения характерных микроскопических длин и временных параметров возбуждения спиновых волн, в данной работе была исследована спиновая динамика в толстых ФМ-слоях, в которых могут быть активны как интерфейсные, так и объемные механизмы возбуждения [8]. Исследования проводились в эпитаксиальных мультислоях Fe/Au/Fe/MgO(001) с помощью оптического детектирования стоячих спиновых волн в пленке Fe толщиной 15 нм, возбуждаемой через механизм передачи магнитного углового момента. Сложная модовая структура возбужденной неодно-

родной динамики намагниченности показывает, что ультракороткие лазерно-индуцированные импульсы спинового тока представляют собой удобный инструмент для возбуждения спиновых волн и изучения взаимодействия спинов с неколлинеарной намагниченностью.

Эксперимент.

Схема эксперимента представлена на рисунке 1. Импульс накачки длительностью 14 фс, поглощенный в слое ФМ1 (эмиттер толщиной 16 нм) приводит к эмиссии субпикосекундного спинполяризованного тока и последующей передаче его в слой золота (Au) посредством неравновесного спин-зависимого эффекта Зеебека [3].

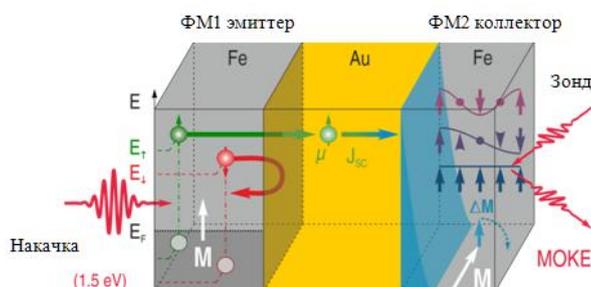


Рис 1. Принципиальная схема эксперимента

Из-за большого времени жизни носителей в пленке золота, перенос горячих электронов в квазибаллистическом режиме передает угловой момент спина ко второму ферромагнитному (ФМ2) слою (коллектор толщиной 14 нм). Поляризация спина электронов, прилетающих в область коллекторного слоя, ортогональна к намагниченности этого слоя. Таким образом, спиновый ток передает угловой момент μ от эмиттера к коллектору. Сильная локализация возмущения в окрестности границы раздела Au/Fe дополнительно подтверждается широким распределением электронов в импульсе спинового тока по энергиям [3], что способствует декогерентности возбуждения в объеме [8]. Следовательно, наряду с однородной прецессией намагниченности коллектора (M_C), возбуждаются и высокочастотные спиновые волны с ненулевыми k -векторами. В пленке конечной толщины поддерживаются только стоячие волны с $k_n = \pi n/d$, где нулевая производная

магнитного момента на границах [9] обусловлена слабой магнитной анизотропией границы раздела Fe/Au. Сложная динамика сигналов магнитооптического эффекта Керра с временным разрешением (МОКЕ), наблюдаемая в наших экспериментах (рис.2), связана с суперпозицией этих долгоживущих стоячих спин-волновых мод.

Для понимания процессов, происходящих в исследуемой структуре, проводились измерения в различных комбинациях направлений намагничивания ФМ1 и ФМ2, сохраняя их перпендикулярность друг другу. Основываясь на правилах четности по отношению к μ и M_C , мы выделяем полярный и меридиональный вклады МОКЕ в динамику поворота и эллиптичности в слое ФМ2 из измерения эллиптичности и вращения плоскости поляризации. Видно, что отклик МОКЕ имеет сложную, многочастотную структуру. Спектральный анализ Фурье для этих зависимостей показывает наличие четырех частот помимо основного возбуждения, которое соответствует однородной прецессии намагниченности ($k = 0$).

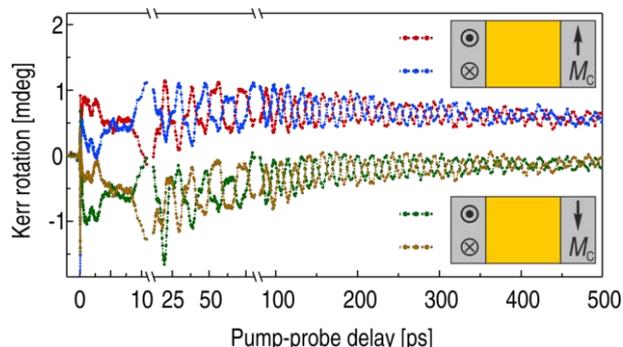


Рис 2. Временные зависимости поворота плоскости поляризации (МОКЕ), полученные в четырех различных геометриях намагниченностей эмиттера и коллектора.

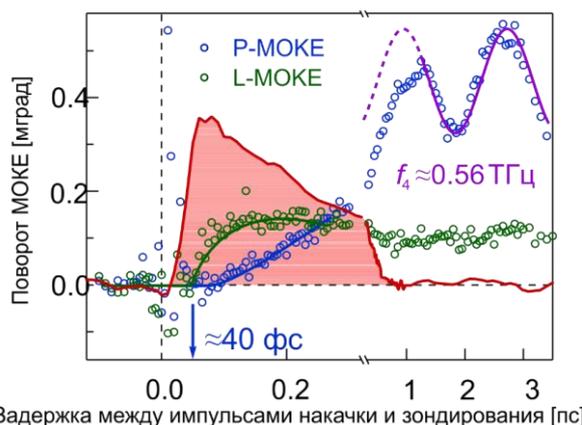
Мы утверждаем, что эти частоты указывают на возбуждение долгоживущих (до 500 пс) стоячих спиновых волн в пленке ФМ2, что подтверждается соответствием между частотами, полученными из спектрального анализа Фурье и рассчитанными по известной дисперсии стоячих спиновых волн в тонкой пленке [9].

Обсуждение результатов:

Экспериментальные данные однозначно

показывают, что механизм передачи магнитного углового момента способен возбуждать высокочастотные моды спиновой прецессии в ФМ-пленках. Отметим, что поскольку данные, показанные на рис. 2, были получены в отсутствие внешнего магнитного поля, механизм теплового возбуждения прецессии намагниченности, основанный на уменьшении магнитной анизотропии, неактивен.

Чтобы понять механизм возбуждения спиновых волн в коллекторе, обратимся теперь к сверхбыстрой шкале времени при $t < 1$ пс. На рисунке 3 показан начальный этап динамики намагничивания. Благодаря сохранению углового момента продольная спиновая поляризация импульса спинового тока приводит к быстрому увеличению соответствующей проекции намагниченности, начиная с задержки ~ 40 фс, что указывает на распространение спинового тока через прослойку Au толщиной 55 нм в баллистическом режиме.



Задержка между импульсами накачки и зондирования [пс]

Рис 3. Временные зависимости поворота плоскости поляризации (МОКЕ), полученные на коротких временах до 3пс.

Найденная длительность импульса спинового тока $\tau_{SC} \leq 250$ фс, что согласуется с результатами прямых измерений (красная линия на Рис. 3) [3]. На пикосекундной шкале времени «выживают» только резонансные спиновые волны из первоначально возбужденного волнового пакета с широким распределением k -векторов. Таким образом, образуются стоячие спиновые волны в коллекторе, что приводит к колебательной динамике, изображенной на рис. 3.

Передача магнитного углового момента от инжектированных электронов слою коллектора в окрестности границы раздела дает возможность локально управлять динамикой намагниченности. Таким образом, помимо длительности импульса спинового тока $\tau_{SC} \leq 250$ фс, позволяющей возбуждать моды с частотами до $1/2\tau_{SC} \approx 2$ ТГц, спектр возбужденных магнонов ограничен за счет пространственной локализации возбуждения, или, другими словами, характеристической глубиной λ . На рис. 3 видно, что первым обнаруженным колебанием является колебание с $n = 4$ и с частотой $f_4 = 0,56$ ТГц. Таким образом, предположительно моды с $n = 5$ и выше не возбуждаются из-за пространственных или временных ограничений. Оцененная длительность импульса удовлетворяет требованию эффективного возбуждения собственной моды с $n = 5$, $\tau_{SC} = T_5/2 \approx 0.6$ пс (T_5 – период соответствующего колебания). Предполагая критическую глубину возбуждения для стоячих спиновых волн с открытыми концами порядка четверти длины волны, можно оценить характеристическую длину для наблюдаемой в эксперименте моды с $n = 4$: $\lambda \leq 2\pi/4k_4 \approx 2$ нм. Заметим, что 2 нм является скорее верхним пределом глубины, которая может быть значительно меньше этого значения. Например, другие экспериментальные методы показывают, что глубина взаимодействия в переходных металлах составляет порядка 1-2 нм или менее [8]. На основании этого, а также данных МОКЕ, показанных на рис. 3, было получено, что передача углового момента в слой ФМ2 приводит к отклонению M_C на 1,3 градуса от его равновесного направления в слое толщиной λ . Также обнаружено, что плотность магнитного момента, передаваемого через границу раздела Au/Fe в импульсе составляет около $7\mu_B \text{ нм}^{-2}$, что может быть достаточно для сверхбыстрого переключения намагниченности в тонких ФМ-слоях.

Известно, что глубина проникновения

оптического излучения в металлах составляет величину порядка глубины скин-слоя и равна 10-15 нм. В этом случае возбуждение стоячих спиновых волн с ненулевыми k -векторами станет возможным только в относительно толстых пленках, что снижает частоты собственных колебаний вплоть до десятков ГГц. В связи с этим ультракороткие лазерно-индуцированные импульсы спинового тока являются уникальным инструментом, способным возбуждать моды с большими k .

Список литературы

1. Slonczewski, J. C. *Current-driven excitation of magnetic multilayers*. *J. Magn. Magn. Mater.* 159, L1–L7 (1996).
2. Malinowski, G. et al. *Control of speed and efficiency of ultrafast demagnetization by direct transfer of spin angular momentum*. *Nat. Phys.* 4, 855–858 (2008).
3. Alekhin, A. et al. *Femtosecond spin current pulses generated by the nonthermal spin-dependent Seebeck effect and interacting with ferromagnets in spin valves*. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1606.03614> (2016).
4. Woltersdorf, G. et al. *Magnetization dynamics due to pure spin currents in magnetic double layers*. *Phys. Rev. Lett.* 99, 246603 (2007).
5. Nemeč, P. et al. *Experimental observation of the optical spin transfer torque*. *Nat. Phys.* 8, 411–415 (2012).
6. Schellekens, A. J. et al. *Ultrafast spin-transfer torque driven by femtosecond pulsed-laser excitation*. *Nat. Commun.* 5, 4333 (2014).
7. Kimel, A. et al. *Ultrafast non-thermal control of magnetization by instantaneous photomagnetic pulses*. *Nature* 435, 655–657 (2005).
8. Stiles, M. & Miltat, J. in *Spin Dynamics in Confined Magnetic Structures III: topics Appl. Physics 1 edn, Vol. 101* (eds Hillebrands, B. & Thiaville, A.) Ch. 7 (Springer, 2006).
9. Gurevich, A. G. & Melkov, G. A. in *Magnetization Oscillations and Waves 1st edn, Vol. 1* (CRC Press, 1996).
10. Melnikov, A. et al. *Ultrafast transport of laser-excited spin-polarized carriers in Au/Fe/MgO(001)*. *Phys. Rev. Lett.* 107, 076601 (2011).

УДК 533.9.07

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ СБОРОК

Бишаев А.М., к.т.н., с.н.с., доцент;
Гамов Н.А., н.с.
Десятков А.В., зав. лаб.;
Зверев М.М., д.ф.-м.н., профессор, профессор;
Козинцева М.В., к.ф.-м.н., доцент, доцент;
Воронченко С.А., студент магистратуры МИРЭА
Сазонов П.Г., студент магистратуры МИРЭА

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Бишаев А.М. e-mail: bishaev@mirea.ru

Работа посвящена исследованию возможности использования метода ионного распыления для изготовления лазерныхборок.

Ключевые слова: лазерная сборка, плазма, ионное распыление

USING OF ION SPUTTERING METHOD FOR MANUFACTURING OF LASER ASSEMBLIES

Bishaev A.M.;
Gamov N.A.;
Desyatskov A.V.;
Zverev M.M.;
Kozintseva M.V.;
Voronchenko S.A.;
Sazonov P.G.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author: Bishaev A.M. e-mail: bishaev@mirea.ru

The work is dedicated to the investigation of the possibility of using of the ion sputtering method for the manufacturing of laser assemblies.

Key words: Laser assembly, plasma, ion sputtering

Полупроводниковые лазеры с накачкой электронным пучком обладают рядом характеристик, присущим только этому типу лазеров. Такой метод накачки позволяет изменять параметры светового пучка, используя хорошо отработанные методы управления электронным пучком. Использование квантоворазмерных полупроводниковых структур позволило уменьшить энергию электронов накачки до 4-10 кэВ [1], что сделало возможным разработку малогабаритных лазеров такого типа. Для получения высоких уровней выходной импульсной мощности излучения необходимо использовать лазерную сборку. Она представляет собой набор отдельных лазерных элементов, накачиваемых одновременно электронным пучком большого сечения. Для изготовления одномерного набора на поверхности полупроводниковой структуры нужно нанести ряд параллельных пазов – канавок шириной $d \sim 10 - 30$ мкм. Глубина разделительных пазов должна быть не менее толщины структуры (т.е. не менее 2-3 мкм) для того, чтобы отдельные лазерные элементы сборки были оптически изолированы друг от друга.

Для изготовления лазерныхборок на основе квантоворазмерных полупроводниковых структур был использован метод ионного распыления образцов. Распыление образцов проводилось в стационарном плазменном потоке Холловского источника ионами Кг с энергией 150 эВ [2]. Источник работал на Кг при массовом расходе через анод 1.0 мг/с и разрядном напряжении 200В. Магнитные поля источника соответствовали минимуму разрядного тока.

Для обеспечения требуемой глубины профиля была измерена скорость распыления структур в плазменном потоке источника. Для исследования профилей распыления использовался микроскоп Nikon Eclipse L150N. Для ZnSe-содержащих структур глубина профиля распыления составила в среднем 4мкм при распылении

ионами криптона (с энергией ~ 150 эВ) в течение 1 часа.

Для изготовления лазерной сборки использовалась маска в виде пластины из дюралюминия с прорезанными в ней щелями. С помощью люминесцентного микроскопа были сделаны фотографии сборок до плазменного травления и после него. Оценка d по фотографии дает величину ~ 60 мкм. Профиль поверхности сборки после ионного травления был исследован с помощью измерения зависимости выходных параметров генерации от поперечного размера активной области лазера. В результате данного эксперимента установлено, что в процессе обработки структуры ионным потоком через маску не происходит катастрофического ухудшения параметров материала структуры, т.е. эти эксперименты подтвердили работоспособность изготовленных методом ионного травления лазерныхборок. Однако для повышения эффективности излучения такой сборки необходимо довести размер паза до 10 – 30 мкм.

С этой целью изготовление лазерныхборок методом ионного травления было выполнено с помощью решеток (масок) из тантала с шириной прорезей 100 мкм. Было проведено травление ZnSe-содержащих структур на подложках из сапфира и арсенида галлия. Средняя ширина канавок составляет величину 30 мкм, а шаг канавок 350 мкм, что соответствует заданным параметрам.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, Задание №3.5160.2017/БЧ.

Список литературы

1. Зверев М.М., Гамов Н.А., Жданова Е.В. и др. Лазеры зеленого спектрального диапазона на основе CdSe/ZnSe наноструктур с накачкой электронным пучком с энергией менее 10 keV // Письма в ЖТФ. - 2007. - Т. 33, в. 24. –С. 1-7.
2. Морозов А.И., Бугрова А.И., Десятков А.В. и др. Влияние соотношения долей ионов разной кратности на интегральные параметры СПД типа АТОН. // Физика плазмы. - 1997. - т. 23, № 7. –С. 635-645.

УДК 621.396.96

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА ВЕТРОВОГО ПРОФАЙЛЕРА ДЛЯ КОСМОДРОМА БАЙКОНУР

Стерлядкин В.В., доктор физ.-мат.
наук, профессор;
Куликовский К.В., аспирант

Московский технологический университет
(МИРЭА), 107996, Россия, г. Москва

@ Автор для переписки: Куликовский К.В., e-mail:
constantink@mail.ru

Разработана методика калибровки метеорологического ветрового радиолокатора БОПВ-1 по натурным метеорологическим объектам. Методика калибровки радиолокатора необходима для подтверждения итогового потенциала РЛС, а также для усовершенствования алгоритмов обработки получаемых данных. Приведены результаты испытаний аппаратного комплекса, со-

стоящего из РЛС, радиометра и системы видеорегистрации. Импульсно-когерентный радиолокатор 8 мм диапазона предназначен для работы на космодроме Байконур для оперативного получения параметров ветра в тропосфере в широком диапазоне метеоусловий.

Ключевые слова: дистанционное зондирование атмосферы, ветровой профайлер, калибровка радиолокатора, потенциал РЛС, радиометрические измерения облачности, радиолокационная отражаемость, водность.

METEOROLOGICAL CALIBRATION OF THE WIND PROFILER FOR BAIKONUR COSMODROME

Sterlyadkin V.V.;
Kulikovsky K.V.

Moscow Technological University (MIREA),
107996, Russia, Moscow

Corresponding author e-mail: constantink@mail.ru

A method for calibration of weather wind radar BOPV-1 on

full-scale meteorological objects is designed. Methods of calibrating the radar is required to confirm the final building radar properties, as well as to improvements of the data processing algorithms. Preliminary results of tests of hardware complex, consisting of radar, radiometer and video recording system are submitted. Pulse-coherent 8 mm range radar is designed to work at Baikonur cosmodrome for the instantaneous wind measurements in the troposphere in a wide range of weather conditions.

Keywords: remote sensing of the atmosphere, wind profiler radar calibration, radar potential, radiometric measurements of cloud cover, radar reflectivity, water vapor content.

Для повышения безаварийности пусков космических аппаратов необходимо располагать точными и своевременными метеорологическими данными. Этому фактору уделяется первостепенное внимание, как с целью прогноза, так и для оперативных измерений непосредственно перед самим пуском. До настоящего времени измерения скорости ветра на различных высотах проводятся с помощью радиозондов, серьезными недостатками которых являются большая длительность измерений и их малая периодичность. Для более оперативного получения точной информации используют дистанционные методы оптического или радиолокационного зондирования.

На космодроме Байконур для получения параметров ветра введен в эксплуатацию радиолокатор БОПВ-1, разработанный в ЦКБА города Тулы [1] и представляющий собой 8мм импульсно-когерентную РЛС для беззондового определения параметров ветра на высотах до 8 км. Для калибровки радиолокатора были проведены комплексные РЛС измерения, совместно с радиометром 8 мм диапазона и системой видео фиксации состояния исследуемого участка неба. Микроволновый радиометр-поляриметр Р08П диапазона 8 мм, представляет собой модуляционный радиометр прямого усиления с центральной частотой 36,0 ГГц и полосой 2 ГГц, разработана ИКИ РАН, имеет диаграмму направленности 9° по уровню -3 дБ. На первом этапе калибровки при помощи радиометра определяется водозапас облака W кг/м² вдоль луча по скачку яркостной температуры, зафиксированной радиометром при переходе от ясного неба $T_{\text{ясн}}$ к облаку $T_{\text{обл}}$, ис-

ходя из формулы:

$$T_{\text{обл}} - T_{\text{ясн}} = KW, \quad (2)$$

где (для 8 мм радиометра) величина $K=60 \text{ К}/(\text{кг}/\text{м}^2)$ [2,3].

Мощность сигнала, регистрируемая на некоторой дальности связана с метеорологическим потенциалом Π радиолокатора и радиолокационной отражаемостью $Z(R)$ (мм⁶/м³) следующим соотношением:

$$P(R) = \Pi Z(R) / R^2 \quad (3)$$

Для облаков «Cumulus humilis» основной спектр размеров облачных капель лежит в диапазоне 10-15 мкм. При фиксированном спектре размеров частиц для облаков хорошей погоды удастся получить соответствие между радиолокационной отражаемостью $Z(R)$ и водностью облака. По данным натурных измерений радиолокационная отражаемость $Z(R)$ связана с водностью $w(R)$ (г/м³) облака экспериментально полученной формулой [3]:

$$Z(R) = A w(R)^2, \quad (4)$$

где $A=4.8 \cdot 10^{-2}$ (мм⁶ м³/г²), Z выражено в мм⁶/м³, а $w(R)$ выражено в г/м³

В результате получаем формулу:

$$P(R) = \Pi A w^2(R) / R^2, \quad (5)$$

откуда можно получить выражение для водности:

$$w(R) = [P(R)R^2 / \Pi A]^{1/2} \quad (6)$$

Последний шаг методики заключается в том, чтобы связать профиль водности $w(R)$ вдоль луча с водозапасом вдоль луча W кг/м².

$$W = \int_{R1}^{R2} w(R) dR, \quad (7)$$

где dR – измеряется в км, $R1$ и $R2$ – дальности нижней и верхней наклонных границ облачности. Метеорологический потенциал радиолокатора рассчитывается по итоговой формуле:

$$\Pi = \frac{\left\{ \int_{R1}^{R2} P(R)^{0.5} R dR \right\}^2}{AW^2} \quad (8)$$

в которой величина мощности $P(R)$ измеряется в условных ваттах как площадь под доплеровским спектром, $A=4.8 \cdot 10^{-2}$ (мм⁶ м³/г²), а W определяется по формуле (2).

Основные измерения были проведены летом 2016 года в г. Тула на базе ЦКБА. Зондирование проводилось по конусу с углом места 45 градусов. Один цикл ка-

либровочных измерений включал измерения в облаке и измерения в отсутствие облака, в ясном небе. Ниже приведен пример измерения, выполненного 15 июня 2016 г в цикле из 12-ти измерений (с 16ч 50мин до 17ч 10мин по московскому времени). Ниже представлена таблица данных радиометра.

Таблица 1.

Зависимости сигнала радиометра $U_{\text{рег}}$ и пересчитанной яркостной температуры $T_{\text{я}}$ (К) от направления зондирования.

Напр.	0	1	2	3	4	5
$U_{\text{рег}}$	-754,61	-753,26	-750,81	-754,56	-751,03	-744,12
$T_{\text{я}}$ (К)	39,68	40,16	41,04	39,7	40,96	43,42
Напр.	6	7	8	9	10	11
$U_{\text{рег}}$	-731,94	-730,03	-742,53	-747,06	-741,15	-743,41
$T_{\text{я}}$ (К)	47,77	48,45	43,99	42,38	44,48	43,68

На рис. 1 представлены кадры видеосъемки, полученные при двух направлениях зондирования. Одно из них при направлении 4 ($\alpha_{\text{зонд}}=120^\circ$) соответствует ясному небу, а второе при направлении 6 ($\alpha_{\text{зонд}}=180^\circ$) соответствует появлению облаков. Температура у поверхности земли составляла 29°C . Балльность облачности – 3÷4. Осадки отсутствуют. Ветер у земли – около 6-8 м/с.

Отметим, что левый график на рис.2 изображает сигнал, который формировался отражениями от ясного неба без облаков. При этом до высоты 2250м имеются сигналы от ясного неба, которые повторяются от одного направления к другому и, по-видимому, обусловлены наличием сильных температурных неоднородностей и высокой влажности атмосферы. С помощью радиометра определялся водозапас

облака $W_{\text{кг/м}^2}$ вдоль луча по скачку яркостной температуры, зафиксированной радиометром при переходе от ясного неба $T_{\text{ясн}}$ к облаку $T_{\text{обл}}$, исходя из формулы (2). Для примера на рис.1, и данных таблицы 1, разница яркостных температур составила $\Delta T = T_{\text{обл}} - T_{\text{ясн}} = 47,77 - 40,96 = 6,81\text{K}$. Исходя из формулы (2) водозапас W облака составил $W = 110\text{ г/м}^2$.



Рис.1. Фото облачности с видеокамеры, полученные при направлении 4 ($\alpha_{\text{зонд}}=120^\circ$) и при направлении 6 ($\alpha_{\text{зонд}}=180^\circ$). В поле зрения видеокамеры отмечены диаграммы направленности РЛС – (центральный кружок) и диаграммы радиометра (большой круг).

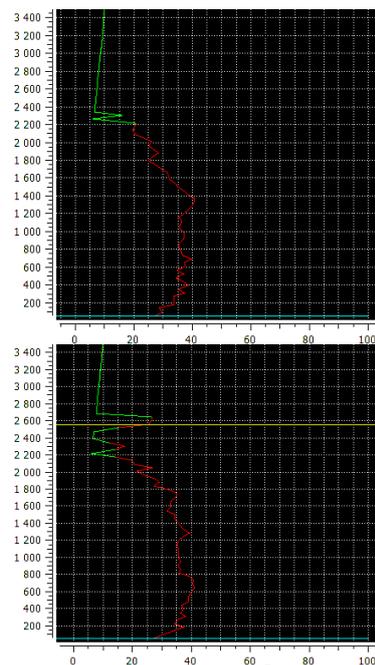


Рис.2. Зависимость $P(R)R^2$ мощности принимаемого сигнала умноженной на квадрат дальности от высоты зондирования при направлении 4 и при направлении 6.

В том же облаке измерялся профиль мощности радиолокационного сигнала от дальности внутри облака $P(R)$. (Мощность является интегралом под доплеровским сигналом, отсчитываемым от уровня сред-

ней мощности шумов). В соответствии с методикой калибровки необходимо рассчитать интеграл сигнала от облака по формуле (7).

Вклад облачности рассчитывался как $P_{\text{обл}} = P_6(R) - P_4(R)$. В результате расчета интеграл величина для нашего примера составил 398 отн км², где интеграл рассчитывался в относительных единицах мощности умноженной на км². Метеорологический потенциал радиолокатора рассчитывался по итоговой формуле:

$$П = \frac{\left\{ \int_{R1}^{R2} P_{\text{обл}}(R)^{0.5} R dR \right\}^2}{AW^2} \quad (8)$$

В которой величина мощности $P_{\text{обл}}(R)$ измеряется в относительных единицах, $A = 4.8 \cdot 10^{-2}$ (мм⁶ м³/Г²), а W определяется по формуле (2).

Для рассматриваемого примера получаем оценку величины потенциала радиолокатора:

$$П = 0,7 \cdot 10^6 \text{ отн}/(\text{мм}^6/\text{м}^3) \quad (9)$$

На основе проведенной калибровки, которая была проведена для 8 различных циклов и различных метеоситуаций, получено, что минимальная отражаемость, которую данный радиолокатор может зарегистрировать на высоте 1 км составляет $Z_{\text{min}}(H=1\text{км}) = 3 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^6/\text{м}^3$ ($Z_{\text{min}} = -58\text{dBZ}$).

В заключение стоит отметить, что созданный миллиметровый ветровой профайлер показал возможность измерения про-

филей ветра в условиях ясного неба и слабой облачности до высот 300 м в 80% метеоусловий средней полосы. Созданный радиолокационный ветровой профайлер позволяет проводить измерения ветра в любом типе облачности во всем слое облаков или осадков. Проведенная метеорологическая калибровка по метеообъектам с известными радиофизическими характеристиками показала, что потенциал созданного профайлера позволяет на высоте 1 км регистрировать сигналы с радиолокационной отражаемостью на уровне $Z_{\text{min}} = -58\text{dBZ}$. Достоинством миллиметрового диапазона являются малые габариты и вес, высокая устойчивость к наводкам и сетям мобильной связи. Предполагается, что его комплексное использование с лидаром позволит создать всепогодную систему ветрового зондирования в тропосфере.

Список литературы

1. Новые возможности для метеобеспечения. / Арсенал. Военно-промышленное обозрение. 5, (23) 2010, с. 124-126.
2. Боровиков А.М., Костарев В.В., Мазин И.П., Соловьев В.И., Черников А.А. Радиолокационное измерение осадков. / Л. Гидрометеоиздат, 1967, 140с.
3. Борин В.П., Наумов А.П. К методике дистанционного определения влагосодержания атмосферы. / Пятое Всесоюзное совещание по радиометеорологии. - М.: Гидрометеоиздат, 1981, с.169-172.

УДК 621.373.8

ПРОВЕДЕНИЕ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОСЛЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ

Колесникова Т.Г.,
Юрьев А.С.,

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Колесникова Т.Г. e-mail: kolesnikova@mirea.ru

Работа посвящена развитию высокоэффективных технологий по анализу отказов в малоразмерных элементах интегральных схем, соблюдению требований к параметрам технологических процессов при изготовлении и разработке элементного состава.

Ключевые слова: рентгеноспектральный анализ, плазмохимическое травление, рентгеновское излучение

CONDUCTING X-RAY SPECTRAL ANALYSIS AFTER PLASMA-CHEMICAL ETCHING

OF ALUMINUM

Kolesnikova T.G.
Yurev A.S.

*Moscow technological university. Physico-
technological institute*

© Corresponding author e-mail: kolesnikova@mirea.ru

The work is dedicated to the development of highly efficient technologies for analysis of failures in the little-sized elements of integrated circuits (IC), following the rules to parameters of technological processes in constructing and developing elements composition.

Key words: X-ray analysis, plasma-chemical analysis

На сегодняшний день в микроэлектронике одним из основных вопросов является вопрос интеграции. По мере уменьшения минимального размера элемента интегральных схем предъявляются все более сложные требования к параметрам технологических процессов их обработки. Приборы становятся все меньше и меньше, что делает процесс изготовления схем весьма сложной и специфической задачей. На этапе производства интегральных схем крайне важно иметь отработанную технологию тестирования и анализа отказов, которая позволяла бы корректировать технологию изготовления. Основой же технологического анализа отказов является возможность последовательного селективного удаления слоев металлизации и межслойной изоляции, например путем плазмохимических процессов.

Специфические особенности плазмохимических реакций обусловлены тем, что в отличие от традиционных химических процессов они проводятся в открытых в термодинамическом смысле системах.

Для получения плазмы необходимы внешние источники энергии, предназначенные для осуществления химических процессов. Можно выделить три основных этапа в иницировании и проведении плазмохимических реакций:

1. Энергия от внешнего источника передается в газ через электронную компоненту плазмы;

2. Электронный газ передает полученную энергию тяжелым частицам в процессе нагрева, возбуждения внутренних степеней свободы атомов и молекул, ионизации или в процессе диссоциации. Таким образом происходит перераспределение энергии внешнего источника и создаются химически активные частицы;

3. Происходит химические превращения в полученной химически активной среде.

Таким образом, процессы в химически активной плазме связаны с присутствием трех групп частиц: заряженных, возбужденных, нейтральных. При этом роль электронной компоненты плазмы в иницировании реакции является определяющей.

При проведении исследований необходимо учитывать степень воздействия на электрофизические свойства полупроводниковых структур излучающих особенность плазмы. Причиной возникновения излучений являются различные виды столкновений между частицами плазмы. В частности, при относительно небольшой концентрации заряженных частиц на движение каждой из них в большей степени влияют столкновения с нейтральными атомами или молекулами.

Для травления различных слоев используются различные химические соединения. Как известно, алюминий (*Al*) – это основной металл использующийся в металлизации СБИС. Он не имеет летучих галогенидов при комнатной температуре. Поэтому травление пленок алюминия осуществляется с помощью Cl_2 , CCl_4 , BCl_3 , CCl_4 . Активными частицами, взаимодействующими с поверхностью, являются атомы и молекулы хлора. Скорость травления не зависит от разности потенциалов между плазмой и поверхностью. Основной продукт – Al_2Cl_6 . Травление изотропно. Однако поверхность пленок алюминия легко окисляется атмосферным воздухом. Анизотропия травления осуществляется за счет добавок газов CCl_4 , BCl_3 , генерирующих в плазме хлороуглеродные и борхлорные радикалы. Они осаждаются на поверхности пассивируя ее и удаляются также как и окисленные слои, за счет ионной бомбардировки. Продукты травления

переосаживаются на поверхности стенок реактора и частично на поверхности травимых образцов. Пары воды адсорбируются, вступая в реакцию с образованием гидроксида алюминия. Это приводит к невоспроизводимости результатов и изменению свойств изделий вплоть до полного стравливания оставшихся участков пленки СБИС во время хранения на атмосфере даже под защитным покрытием. Поэтому необходим контроль за примесью паров воды, а также меры по очистке и пассивированию поверхности после травления и защите изделий, чтобы исключить последующий контакт алюминиевых слоев с атмосферой.

После проведения плазмохимической реакции, проводится рентгеноспектральный анализ. Рентгеноспектральный анализ основан на ионизации внутренних электронных оболочек атомов, происходящей вследствие неупругого рассеяния электронов высоких энергий на электронах внутренней оболочки и последующего выделения избыточной энергии при переходе электрона между оболочками в виде рентгеновского фотона. Различают два типа рентгеновского излучения: тормозное и характеристическое. Среди различных экспрессных методов определения химического состава веществ (таких, как опико-эмиссионный, атомно-абсорбционный, электрохимический и другие) рентгеноспектральный анализ занимает одно из ведущих мест, как по количеству единиц выпускаемой аппаратуры, так и по широте применения в самых различных областях исследований и производства. Широкое распространение в настоящее время описываемого метода при решении многих аналитических задач, возникающих в самых разнообразных областях науки и техники, обуславливается такими его достоинствами, как многоэлементность анализа, то есть возможность определять несколько десятков химических элементов одновременно. Широкий диапазон проникающей способности рентгеновского первичного и

вторичного излучений позволяет получать излучающие слои, толщина которых в зависимости от используемой области длин волн и поглощения в анализируемом материале может меняться от миллиметров до тысячных долей миллиметра. Например, распределение сигнала по срезу Al после проведения плазмохимической реакции в исследуемом образце может иметь следующий вид (Рис. 1):

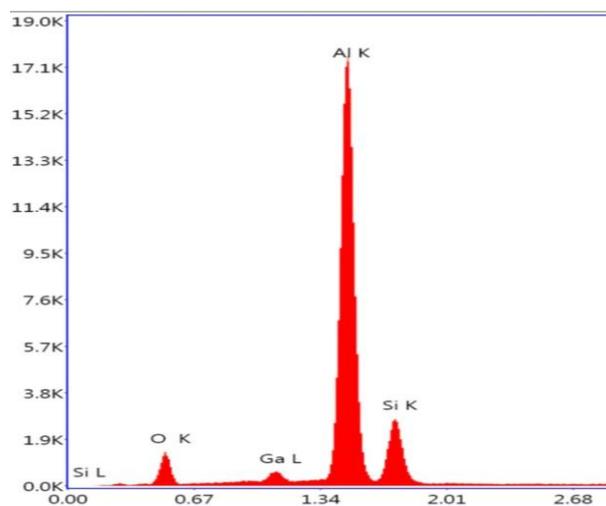


Рис. 1. Пример распределения сигнала по срезу Al

Список литературы

1. Галперин В.А., Данилкин Е.В., Мочалов А.И. Процессы плазменного травления в микро и нанотехнологиях. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2010. – С. 283-285.
2. Акуленок М.В., Андреев В.М., Громов Д.Г. и др. Введение в процессы интегральных микро и нанотехнологий. Т.2: Технологические аспекты. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2010. – С. 252-255.
3. Григорьев Ф.И. Плазмохимическое и ионно-химическое травление в технологии микроэлектроники: Учебное пособие / Московский государственный институт электроники и математики. М. 2003. – С. 48-53.
4. J.I. Goldstein, D.E. Newbury, D.C. Joy, C.E. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer, J. Michael. Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis, 3-d edition – Kluwer Academic Plenum Press – 2003. Phys. Rev. Lett. 107, 076601 (2011).

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННОГО LDO- РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ БМК СЕРИИ 5400TP01

Оганесян О.Э., аспирант;

Кафедра нанoeлектроники Физико-технологического института Московского технологического университета

© Автор для переписки: Оганесян О.Э. e-mail: oganesyan@dcsouyz.com

Работа посвящена исследованию и разработке прецизионных схем на основе стандартной элементной базы Аналого-цифрового БМК. В качестве разрабатываемого блока приведена пример возможность построение прецизионного LDO-регулятора.

Ключевые слова: LDO – регулятор, операционный усилитель, источник опорного напряжения, усилитель ошибки, проходной элемент, вложенный каскод.

RESEARCH AND DESIGN OF PRECISION LOW DROP OUT REGULATOR BASED ON ANALOG-DIGITAL ULA SERIES 5400TP01

Оганесян О.Е.

Moscow technological university. Physico-technological institute

© Corresponding author e-mail: oganesyan@dcsouyz.com

The work is dedicated to research and design of precision devices by using standard element base of Analog-digital uncommitted logic array. As an example of designed device is used precision LDO-regulator.

Key words: LDO regulator, operational amplifier, bandgap voltage reference, error amplifier, bypass element, folded cascode.

Введение. Традиционно прецизионные схемы разрабатывают в виде заказных СБИС. Это очень дорогостоящий процесс в случае мелкосерийности производства.

Для повышения экономической эффективности подобных разработок необходимо применять полузаказное проектирование [1]. В данной работе исследуется возможность применения стандартных элементов типового базового матричного кристалла (БМК) серии 5400TP01 как основы для реализации прецизионных схем на его основе. В качестве примера рассмотрена схема LDO регулятора [4].

Постановка задачи и ее реализация. Регулируемые стабилизаторы напряжения с малым падением напряжения между входом и выходом или LDO-регуляторы (Low Drop Out) являются важным элементом электронных схем. Стабилизация осуществляется путем изменения сопротивления одного из плеч делителя: сопротивление постоянно поддерживается таким, чтобы напряжение на выходе находилось в установленных пределах. Преимуществом линейных регуляторов является простота и небольшое количество используемых элементов.

Типовая структурная схема LDO-регулятора приведена на рисунке 1.

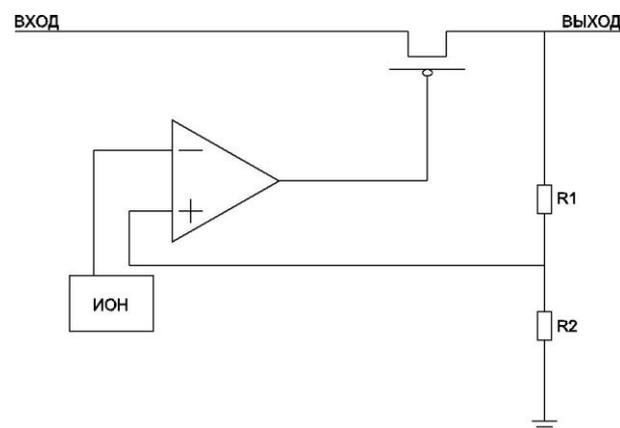


Рис.1 Структурная схема LDO – регулятора

LDO-регулятор состоит из трех основных элементов:

— проходной элемент, который представляет из себя транзистор или комбинацию транзисторов, работающих в линейном режиме близко к насыщению. Падение напряжения на LDO-регуляторе зависит от характеристик и структуры проходного элемента. Минимальное падение напряжения достигается при работе транзистора в

зоне насыщения;

ИОН - источник опорного напряжения, который обеспечивает точность регулирования;

усилитель ошибки, который сравнивает выходное напряжение с опорным.

Выходное напряжение V_{out} LDO-регулятора определяется из соотношения:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) * V_{ref} \quad (1)$$

где – $R1$, $R2$ – номиналы резисторов, V_{ref} – входное опорное напряжение. По техническим требованиям к разработке в данной работе опорное напряжение равно 1В, а входное напряжение находится в диапазоне от 3В до 3,6В и преобразовывается в стабильное напряжение 2,7В.

В данной работе основные элементы регулятора определяются исходя из состава базовых элементов серийно выпускаемых БМК 5400TP01, представляющим собой схемы для аналог-цифрового преобразования.

В частности, в качестве проходного элемента используется р-МОП транзистор. Блок ИОН также является встроенным источником опорного напряжения. Значение опорного напряжения формируется исходя из ширины запрещенной зоны кремния. В качестве усилителя ошибки используется операционный усилитель. Известно, что для достижения необходимой точности преобразования выходного напряжения при разбросе входного напряжения $\pm 10\%$, коэффициент усиления LDO-регулятора должен быть довольно большим. Значение коэффициента усиления регулятора определяется коэффициентом усиления ОУ.

В ходе данной работы были рассмотрены разные архитектуры для построения ОУ. Поскольку при большом коэффициенте усиления ОУ может произойти самовозбуждение выходного сигнала LDO-регулятора, необходимо скомпенсировать регулятор. Показано, что поскольку в LDO-регуляторе ОУ и проходной элемент формируют полюсы передаточной функции, для сглаживания АЧХ и компенсации LDO-регулятора целесообразно использовать операционный усилитель с минимальным числом каскадов. Соответственно был разработан однокаскадный опера-

ционный усилитель для достижения большого коэффициента усиления которого в качестве нагрузки дифференциальной пары была выбрана типовая схема, представляющая собой вложенный каскод с активным регулированием выходного тока [3], [4]. В результате удалось достичь коэффициента усиления для ОУ ~ 110 Дб. Результаты симуляции АЧХ и ФЧХ разработанного операционного усилителя приведены на рисунке 2.

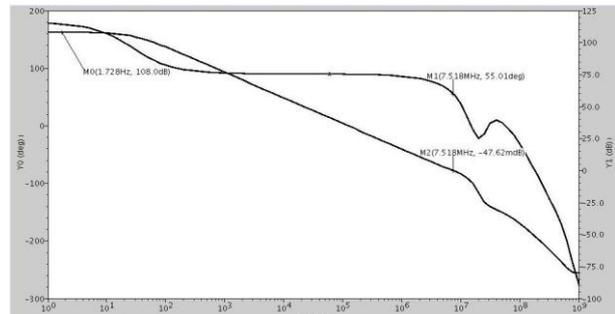


Рис.2 АЧХ и ФЧХ разработанной схемы операционного усилителя

Соответствующие АЧХ и ФЧХ LDO – регулятора представлены на рисунке 3.

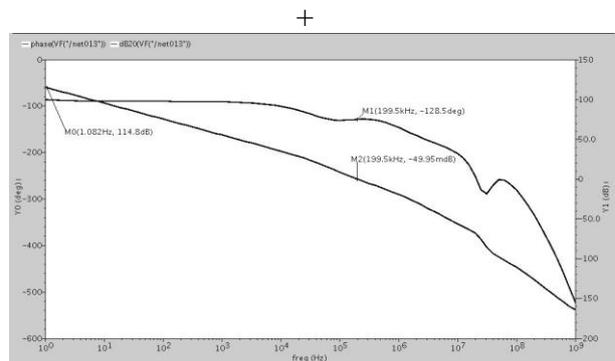


Рис.3 АЧХ и ФЧХ LDO – регулятора.

Результаты симуляции показали, что нестабильность выходного напряжения стабилизатора во всем диапазоне рабочих температур при изменении входного напряжения от 3...3,6В равно ~ 240 мкВ.

Выводы: На основе инструментов Cadence Design Systems выполнен полный комплекс проектных процедур, решающих задачи исследования и разработке прецизионных схем на основе стандартной элементной базы, использующейся при реализации типового аналого-цифрового преобразователя в составе БМК. В качестве раз-

работываемого блока приведен пример реализации прецизионного LDO-регулятора.

Список литературы

1. О. Э. Оганесян, Д. П. Фролов Особенности проектирования прецизионных схем на основе АЦ БМК на примере СБИС преобразователя напряжение-частота // 20-ая н.-т. конф. студ. и асп. "Микроэлектроника и ин-

форматика-2013". Тезисы докладов, М.: МИ-ЭТ, 2013, С. 101.

2. <http://www.russianelectronics.ru/developer-r/review/micro/doc/50621/>

3. В. И. Эннс, Ю. М. Кобзев Проектирование аналоговых КМОП-микросхем краткий справочник разработчика Москва 2005, С. 184.

4. Behzad Razavi, Design of Analog CMOS Integrated Circuits, p.291.

УДК 535.3(075)

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ФОТОТРАНЗИСТОРНОГО ПРИЕМНИКА

Абросимов И. Н., к.т.н., доцент;
Башкатов И.П., к.т.н., доцент;
Кузнецов В. В., к.т.н., заведующий
кафедрой;
Точинский Е. Г., к.т.н., профессор

Физико-технологический институт Московского технологического университета,
118454, Москва, Россия

© Автор для переписки: Башкатов И.П. e-mail:
ibashkatov@gmail.com

Работа посвящена улучшению эффективности фотоприемников оптического излучения, за счет схемотехнической оптимизации с применением электрических и оптических обратных связей и применением согласующих оптических элементов.

Ключевые слова: источник оптического излучения, фототранзистор, отрицательная обратная связь, фоточувствительность, шумы

OPERATING DUTY CIRCUIT OPTIMIZATION OF PHOTOTRANSISTOR RECEIVER

Abrosimov I.N.,
Bashkatov I.P.,
Kuznetsov V.V.,

Tochinskiy E.G.

Moscow technological university. Physico-technological institute, 118454, Moscow, Russia

© Corresponding author: Bashkatov I.P. e-mail:
ibashkatov@gmail.com

This scientific work devoted to improve efficiency of the photodetectors of optical radiation by circuit optimization including electrical and optical feedback, including matcing optical elements.

Key words: source of optical radiation, phototransistor, negative feedback, photosensetivity, noises

Фототранзисторный приемник является фотопреобразователем оптического излучения с внутренним усилением сигнала. Наличие усиления позволяет уменьшить вклад шумов последующих устройств и тем самым повысить чувствительность фотоприемника. Но наряду с чувствительностью к фотоприемникам предъявляются и другие требования, в частности: стабильность рабочего режима, величина и линейность динамического диапазона, малый уровень внутренних шумов, получение максимального коэффициента усиления фототранзистора β и высокого коэффициента передачи фототранзисторного усилителя K , так как с увеличением коэффициента передачи K уменьшается вклад внешних шумов, создаваемых устройствами, подключенными к фототранзисторному усилителю.

Параметры транзисторных и фототранзисторных усилителей аналогичны и к анализу их работы можно использовать

единый подход. Рабочие режимы и характеристики транзисторных малошумящих усилителей рассмотрены в работе [1], в которой рассмотрены зависимости коэффициента шума F и коэффициента передачи K от тока коллектора, приведенные на рисунке 1. Зависимость чувствительности фототранзистора S от тока коллектора приведена на рисунке 2 [2].

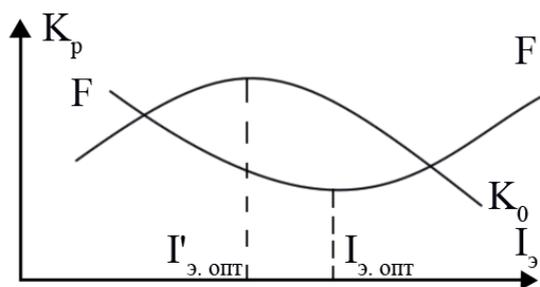


Рис. 1. Зависимость коэффициента шума F и коэффициента передачи K от тока коллектора транзистора.

Из приведенных характеристик видно, что оптимальные значения вышеуказанных параметров получаются при различных значениях тока коллектора. То есть одновременное получение оптимальных значений коэффициентов усиления β , фоточувствительности S , минимального коэффициента шума F , высокого значения коэффициента передачи K в транзисторном усилителе с резистивной нагрузкой невозможно, так как они реализуются при различных значениях коллекторного тока. Но возможность их согласования обеспечивается применением динамической нагрузки. Динамическая нагрузка позволяет получить большой коэффициент передачи K транзисторного усилителя при сохранении необходимого значения коллекторного тока [3].

Основными параметрами фототранзисторного приемника являются световые и вольтамперные характеристики. В настоящее время в приемниках оптического излучения используются различные типы фототранзисторов, в том числе фототранзисторы с электрической и со свободной (плавающей) базой. Фототранзисторы со свободной базой находят все более широкое применение, связанное с отсутствием

электрической базовой цепи фототранзистора. Отсутствие базового тока фототранзистора позволяет уменьшить темновой ток фототранзистора и обеспечить условия лучшего согласования апертуры фотоприемника с оптическим излучением. Электрические характеристики транзисторов и фототранзисторов аналогичны. Но для фототранзисторов вольтамперные характеристики рассматриваются при различных значениях светового потока. Указанные характеристики приведены на рис. 3 [4].

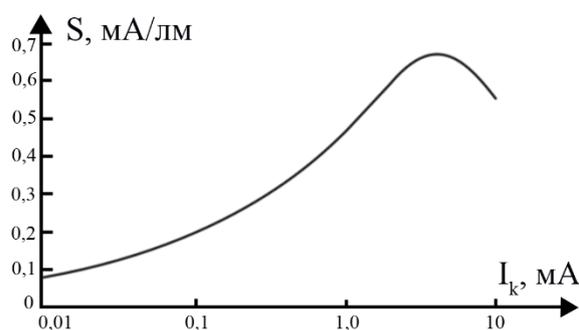


Рис. 2. Зависимость фоточувствительности от величины коллекторного тока для транзистора ОСР202.

Схема фототранзисторного усилителя приведена на рисунке 4 [5]. В схеме используется фототранзистор с оптической свободной базой. Отсутствие электрической базы позволяет устранить базовый ток, который является одним из источников внутренних шумов фототранзистора. Для стабилизации рабочего режима фототранзисторного усилителя применяются последовательные и параллельные обратные связи по току и напряжению. Для реализации большого динамического диапазона применена оптическая связь, позволяющая зафиксировать режим работы фототранзистора в одной рабочей области его вольтамперных характеристик. Оптическое согласование источника сигнала и источника оптического смещения с фототранзистором осуществляется с помощью волоконнооптического разветвителя и коннекторов.

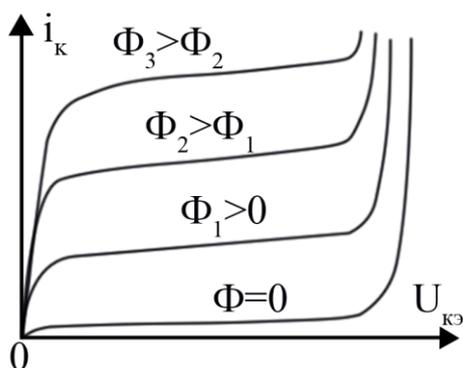


Рис. 3. Вольтамперные характеристики фототранзистора.

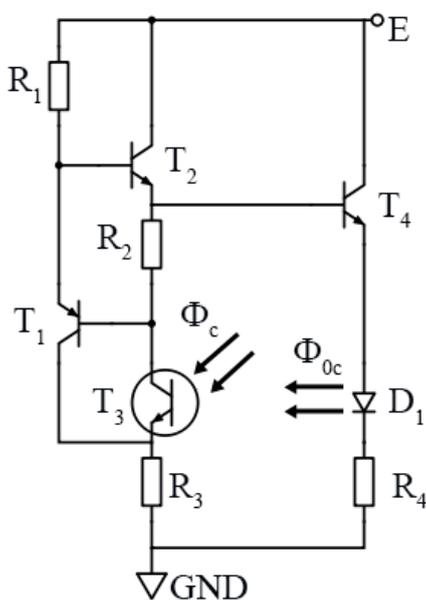


Рис. 4. Принципиальная схема фототранзисторного преобразователя с оптоэлектронной связью.

Оптическое согласование позволило

обеспечить стабилизацию рабочей точки, в результате чего удалось реализовать линейность динамической характеристики фототранзисторного приемника в широких пределах, практически ограниченных значениями напряжения источника питания. Порог фоточувствительности приемника улучшается за счет отсутствия базового темнового тока, а уровень квантовых шумов источника смещения не превышает радиационных шумов источника сигнала.

Список литературы

1. Шор К. Г. Малошумящие транзисторные усилители / «Энергия», Москва, 1971 г. - 112 С.
2. Шоу Д., Крамп Б. Термические и оптические свойства фототриодов / Сборник статей «Полупроводниковые фотоприемники и преобразователи излучения», «Мир Москва», Москва, 1965 г. - С. 145-159.
3. Абросимов И. Н. Усилитель с динамической нагрузкой / Описание изобретения к авторскому свидетельству №570978, БТИ №32.
4. Казаков А.Ю., Федотов В.И., Витвицкий В.Г., Манухин М.А. Полупроводниковые фотоприемники / Пенза, ПГПУ, 2009 г. – С. 44
5. Абросимов И. Н., Вилков С. А., Точинский Е. Г. Фототранзисторный преобразователь с оптоэлектронной связью / Труды координационного совещания социалистических стран по физическим проблемам оптоэлектроники, «Оптоэлектроника – 89», Баку, 1989 г. - С. 219

УДК 535.317.2

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ
 ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
 ИЗЛУЧЕНИЯ,
 МОДУЛИРОВАННОГО
 СИГНАЛАМИ С
 ПЕРИОДИЧЕСКИМ И
 ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ
 ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ
 РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ**

**Абросимов И. Н., к.т.н., доцент;
 Кузнецов В. В., к.т.н., заведующий
 кафедры;
 Осинцев О.Н., доцент**

Физико-технологический институт Московского технологического университета,
 118454, Москва, Россия

© Автор для переписки: Осинцев О.Н. e-mail:
 osincev@mirea.ru

В работе рассматривается модуляция электромагнит-

ного излучения в радиотехническом и оптическом диапазонах сигналами с периодическим и цилиндрическим пространственным распределением. Проведен анализ основных информационных характеристик модулированного излучения

Ключевые слова: модуляция, радиотехническое, оптическое, излучение, производящие функции

THE ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION MODULATED BY SIGNALS WITH PERIODICAL AND CYLINDRICAL DIRECTIONAL DISTRIBUTION

Abrosimov I.N.;
Kuznetsov V.V.;
Osintsev O.N.

Moscow technological university. Physico-technological institute, 118454, Moscow, Russia

© *Corresponding author: Osintsev O.N. e-mail: osincev@mirea.ru*

This scientific work devoted to show the electromagnetic radiation in radio technical and optical range by signals with periodical and cylindrical directional distribution. The analysis of the parameters of electromagnetic radiation modulated by signals with periodical and cylindrical directional distribution.

Key words: modulation, radio engineering, optical, radiation, generating functions

Электромагнитное излучение охватывает широкий спектр частот и подразделяется на радиотехнический, оптический и рентгеновский диапазоны. Эти диапазоны имеют одинаковую волновую природу, что подтверждается сходством большинства физических эффектов. В то же время взаимодействие рентгеновского излучения с материальной средой значительно отличается от других спектральных диапазонов электромагнитного излучения. В отличие от радиотехнического и оптического диапазона рентгеновскому излучению не свойственно явление рефракции, что усложняет проблему его модуляции. Материалы, прозрачные для радиотехнического

и оптического спектральных диапазонов имеют хорошие рефракционные свойства. Они характеризуются различными значениями диэлектрической проницаемости и показателей преломления, которые преимущественно связаны квадратичной зависимостью.

Модуляцию электромагнитного излучения можно осуществить механическими, пьезоэлектрическими, акустооптическими, электрооптическими и магнитооптическими устройствами. По функциональным возможностям наибольший интерес представляет взаимодействие электромагнитного излучения с акустическими колебаниями, магнитными и электрическими полями. Акустические колебания могут распространяться во всех изотропных и анизотропных материалах, а для лучшего взаимодействия излучения с магнитными и электрическими полями необходимо обеспечивать согласование и учитывать симметрию и физические свойства упругой среды. В частности, электрооптические линейные эффекты первого порядка могут иметь место только в нецентросимметричных средах. Технологически проще осуществить модуляцию электромагнитного излучения акустическими колебаниями. Большее распространение получило взаимодействие акустических колебаний с электромагнитным излучением в оптическом спектральном диапазоне. Модуляция оптического излучения акустическими колебаниями осуществляется на бегущих и стоячих волнах.

В данной работе рассматривается рефракционное акустооптическое взаимодействие на стоячих волнах в устройствах с прямоугольной и цилиндрической геометрией. Такую геометрию используют акустические, оптические и радиотехнические объемные резонаторы, которые применяются для создания когерентных и некогерентных источников колебаний. Стоячие волны могут возникать в объемных резонаторах на частотах резонансных колебаний. Они могут иметь различные пространственные распределения, то есть различные моды колебаний. Причем, периодическое и цилиндрическое пространственные распределения значительно отли-

чаются по параметрам. Периодические и цилиндрические распределения колебаний описываются соответственно выражениями:

$$A \sin \omega_n t \cdot \cos k_n z \quad (1)$$

$$A \sin \omega_n t \cdot J_n(k_n r) \quad (2)$$

Где A – амплитуда колебаний, ω_n – резонансные частоты, k_n – волновые числа, z и r – координаты, J_n – функция Бесселя первого рода n -го порядка.

Выражения (1) и (2) содержат частотно-временные и пространственные составляющие, которые характеризуют временные и пространственные параметры колебаний. Тригонометрические функции \sin и \cos описывают гармонические сигналы, пространственно-временные параметры которых периодичны, и, при неограниченной длительности, они имеют единственную спектральную компоненту. У цилиндрических функций отсутствует периодичность, и они характеризуются монотонным изменением амплитуды. Для этих функций свойственно увеличение концентрации в радиальном направлении.

Взаимодействие оптического излучения с колебаниями описывается производящими функциями следующего вида:

$$\sin(A \sin \omega_n t \cdot \cos k_n z) \quad (3)$$

$$\sin [A \sin \omega_n t \cdot J_n(k_n r)] \quad (4)$$

Аргументы выражений (3) и (4) характеризуют временные и пространственные характеристики модулирующего сигнала, а их функции описывают параметры модулированного электромагнитного излучения.

Графики указанных производящих функций для нескольких значений глубины модуляции приведены на рис. 1 [1].

В обоих распределениях полезными сигналами является первая основная гармоника, характеризующая синусоидальные формы сигнала, а негативными сигналами являются высшие гармоники модулирующих сигналов. Анализ пространственных распределений показывает, что цилиндрические моды обладают фильтрующими свойствами к высшим гармоникам модулированных сигналов. То есть высшие гармоники с периодическим распределением режектируются в резонаторах с пространственным цилиндрическим распреде-

лением. Периодическое распределение, наоборот, характеризуется значительным уровнем высших гармоник, в результате кратности их частот с основной первой гармоникой сигнала.

Был выполнен спектральный анализ производящих функций с цилиндрическим и периодическим пространственным распределением, и проведены экспериментальные исследования параметров модулированных сигналов. Исследовались параметры фазовой, поляризационной и амплитудной модуляции. На рис. 2(а) и 2(б) изображены моды колебаний с цилиндрическим пространственным распределением для излучения с линейной и круговой поляризацией.

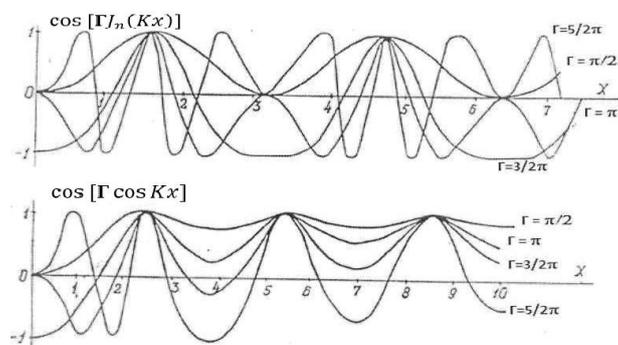


Рис. 1. Производящие функции для периодического и цилиндрического распределения.

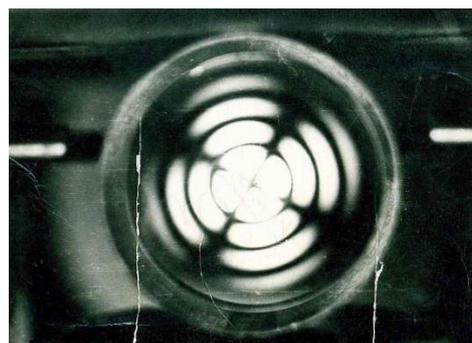


Рис. 2(а).



Рис. 2(б).

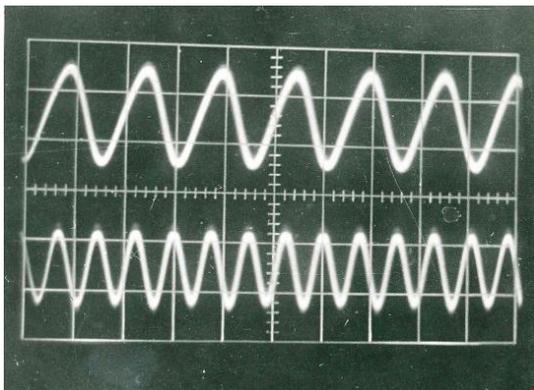


Рис. 3(а).

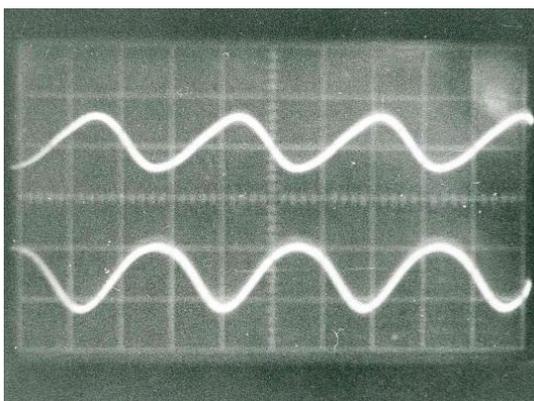


Рис. 3(б).

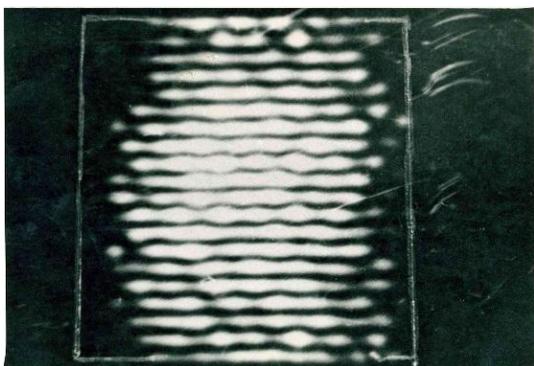


Рис. 4(а).

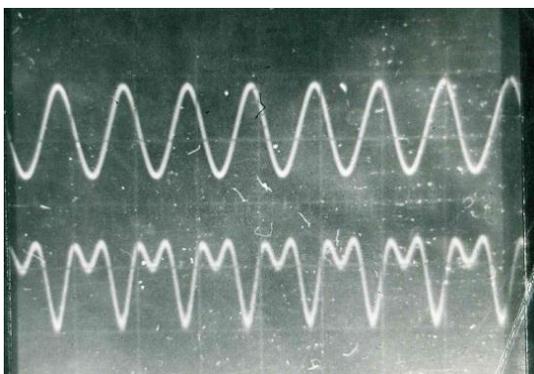


Рис. 4(б).

Изменение характера поляризации сопровождалось изменением кратности частотно-временных параметров модулированных сигналов, осциллограммы которых приведены на рис. 3(а) и 3(б).

На верхних осциллограммах изображены модулирующие, а на нижних – модулированные сигналы. Уровень высших гармоник в частотном спектре сигнала не превышал 1%.

На рис. 4(а) представлено периодическое распределение колебаний в прямоугольном резонаторе. А на рис. 4(б) приведены осциллограммы модулирующего и модулируемого сигналов периодического распределения.

Светлые полосы соответствуют пучностям сигнала, темные – узлам. Отношение максимальной и минимальной амплитуды характеризует коэффициент стоячей волны ($K_{СВ}$). Уровень искажений модулированного сигнала может достигать более 30% [2,3].

Список литературы

1. Абросимов И.Н., Кузнецов В.В., Точинский Е.Г. Применение производящих функций при исследовании упругих напряжений и деформаций / XXIX Уральская конференция «Физические методы неразрушающего контроля (Янусовские чтения), 22-23 ноября 2016 г.
2. Бонч-Бруевич А.М. Прохождение поляризованного света через среду со стоячими ультразвуковыми волнами / Журнал технической физики, 1956 г., с. 442-444.
3. Ryszard K. Bauer, Andrzej Kowalczyk, Aleksander Balter, Henryk Cherec and Wlodzimierz Roguski, An Efficient Elastooptic Light Modulator; Optika Applicata V, 3-4, 1975, p. 43-47.

УДК 537.6

E-mail: ostsilograf@ya.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В КОМПОЗИТНОЙ СТРУКТУРЕ «ФЕРРОМАГНЕТИК-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК-ФЕРРОМАГНЕТИК» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРА ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Федулов Ф. А.^{1,2}, аспирант, инженер

¹Московский Технологический Университет (МИРЭА)

²НОЦ «Магнитоэлектрические материалы и устройства», Москва, Россия, 119454

E-mail: ostsilograf@ya.ru

В работе предлагается использование нелинейного магнитоэлектрического эффекта в трёхслойной композитной структуре, содержащей пьезоэлектрический и ферромагнитные слои для детектирования переменных магнитных полей. Исследованная структура впоследствии будет использована в качестве чувствительного элемента для анализатора спектра переменных магнитных полей в диапазоне частот от 1 кГц до 50 кГц.

Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, композитная структура, спектр магнитных полей

USING OF NONLINEAR MAGNETOELECTRIC EFFECT IN «FERROMAGNET-PIEZOELECTRIC-FERROMAGNET» COMPOSITE STRUCTURE FOR SPECTRAL ANALYSIS OF ALTERNATING MAGNETIC FIELDS

Fedulov F.A.^{1,2}

¹Moscow Technological University (MIREA)

²Research Center «Magnetolectric materials and devices»,

Using of nonlinear magnetolectric effect in a three-layer planar composite structure containing piezoelectric and ferromagnetic layers for detection of alternating magnetic fields was proposed. Investigated structure will be utilized as a sensor in a spectral analyzer of alternating magnetic fields in the range of 1 – 50 kHz.

Keywords: magnetolectric effect, composite structure, spectrum of magnetic fields

В последние годы большое внимание приковано разработке сенсоров переменных магнитных полей на основе композитных структур, содержащих ферромагнитные (ФМ) и пьезоэлектрические (ПЭ) слои [1]. В таких структурах проявляется магнитоэлектрический (МЭ) эффект, представляющий собой взаимосвязь процессов намагничивания и поляризации в композитной структуре. Было установлено, что чувствительность МЭ сенсоров можно существенно увеличить, дополнительно прикладывая к композитной структуре переменное магнитное поле смещения. Таким образом, удаётся детектировать переменные магнитные поля величиной $\sim 10^{-5}$ Э [2].

Подобные композитные структуры также могут быть использованы в качестве высокочувствительного элемента для анализа спектра магнитных полей в широкой полосе частот.

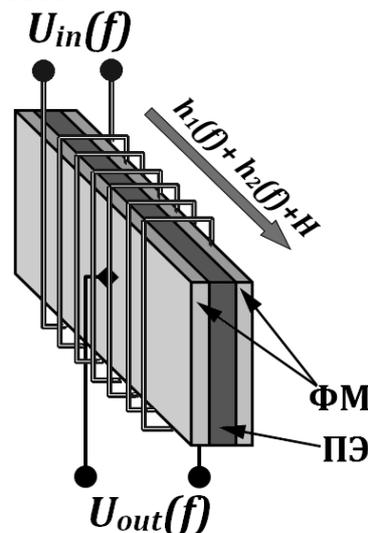


Рис.1. Схематическое изображение чувствительного элемента анализатора спектра на основе композитной структуры «ферромагнетик-пьезоэлектрик-ферромагнетик».

В данной работе представлена композитная трёхслойная структура, содержащая два ФМ слоя и ПЭ слой, расположенный между ними. В качестве ПЭ слоя использовался монокристалл лангата $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ размерами 30 мм * 7 мм и толщиной 0.47 мм. В качестве ФМ материала использовался ферромагнитный сплав Metglas 2605S3A Magnetic Alloy с размерами 30 мм * 7 мм. Толщина каждого ФМ слоя составляла 25 мкм.

Образец помещался внутрь катушки индуктивности, которая создавала переменное магнитное поле смещения.

Исследования показали, что на основе данной композитной структуры существует возможность создания анализатора

спектра магнитных полей в диапазоне частот до 50 кГц с возможностью детектирования переменных магнитных полей в диапазоне от 0.25 Э до 5 Э.

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания №8.1183.217/П4 и гранта Президента Российской Федерации МК-Э690.2016.9.

Список итературы

1. J. F. Scott, "Applications of magnetoelectrics," *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 11, pp. 4567–4574, 2012
5. R. Jahns, H. Greve, E. Woltermann, E. Quandt, and R. Knochel, "Sensitivity enhancement of magnetoelectric sensors through frequen-
cy

УДК 533.95; 533.665

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ МЕТОДАМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ И ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Давыдов В.А., д.ф.м.н., профессор
Коробкин Ю.В., к.ф.м.н., доцент

Физико-технологический институт Московского технологического университета

© Автор для переписки: Давыдов В.А. e-mail: davydov@mirea.ru

Работа предлагает новый метод исследования динамики переполаризации диэлектрика, основанный на рассмотрении процессов, происходящих под влиянием электрических и световых полей.

Ключевые слова: поляризация, плотность заряда, импульс тока

RESEARCH OF POLARIZATION REVERSAL DYNAMICS OF THE FERROELECTRIC MATERIAL BY METHODS OF SWITCHING OF THE EXTERNAL FIELD AND

LASER INFLUENCE

Davydov V.A.;
Korobkin Yu.V.

Moscow technological university. Physico-technological institute

@ Corresponding author e-mail: e-mail: davydov@mirea.ru

Work offers the new method of research of polarization reversal dynamics of ferroelectric based on consideration of the processes happening under the influence of electric and light fields.

Key words: polarizarization, charge density, current impulse

Хотя основной целью экспериментов является разработка эмиттеров мощных электронных пучков, необходимых в ускорительной или рентгеновской технике, определение зависимости тока от времени (и даже его интегральных характеристик — протекших зарядов) может дать важную информацию о нестационарной динамике спонтанной поляризации, возникающей под влиянием внешних воздействий [1].

Рассмотрим вначале следующую схему возможного эксперимента. Возьмем пластину из неполяризованного сегнетоэлек-

трика (например, находящегося при температуре выше точки Кюри). Нанесем на ее торцы металлическое напыление, исключаящее прямой контакт сегнетоэлектрика с атмосферой, и замкнем проводником пластины получившегося конденсатора. Затем охладим сегнетоэлектрик до температуры меньшей, чем температура Кюри, и поляризуем его в направлении, перпендикулярном пластинам. При этом конденсатор зарядится (см. рис.1).

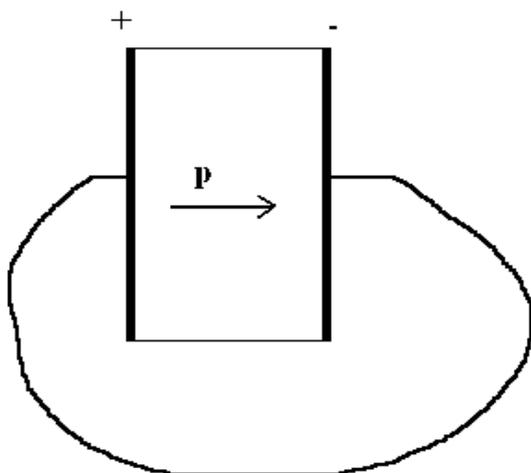


Рис.1. Схема эксперимента

Поскольку пластины накоротко замкнуты проводником, напряженность электрического поля E внутри конденсатора должна быть равна нулю. Отсюда электрическая индукция $D=P$, где P – поляризация сегнетоэлектрика (мы используем систему СИ). С другой стороны, электрическая индукция определяется плотностью свободного заряда на обкладках конденсатора: $D=\sigma$.

Благодаря внешнему воздействию поляризация сегнетоэлектрика будет меняться: $P=P(t)$. Вместе с ней будет меняться заряд на металлических пластинах. При этом ток в цепи соединяющего пластины проводника будет равен $I(t) = \frac{dP}{dt} S$, где S – площадь торца сегнетоэлектрического образца. Отсюда

$$P(t) = P_0 + \frac{1}{S} \int_0^t I(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где P_0 - начальная поляризация.

Соотношение (1) показывает, что измеряя зависимость тока от времени, мы получаем возможность исследовать динамику поляризации сегнетоэлектрика. Так, если протекший по соединяющему пластины проводнику заряд равен нулю, то после завершения нестационарных процессов поляризация вернулась к первоначальному значению. Если же направление тока осталось неизменным, произошло монотонное изменение поляризации от начального значения P_0 до конечного значения P_1 , определяемого протекшим зарядом q : $P_1 = P_0 + q/S$. Если же ток меняет направление, то в процессе перестройки поляризация достигает некоторого экстремального значения.

Таким образом, уже тот факт, что протекший заряд не равен нулю, говорит о том, что произошла перестройка доменной структуры сегнетоэлектрика. При этом относительная доля перестроившихся доменов равна $q/P_0 S$. Измерение же зависимости тока от времени позволяет исследовать и временную динамику поляризации.

Проиллюстрируем вышеприведенные соображения данными экспериментов по переполаризации сегнетоэлектрических образцов внешними воздействиями электрических полей и лазерных импульсов [2, 3]. В [2] исследовалась эмиссия тока планарным сегнетоэлектрическим образцом, изготовленным на основе керамики типа ЦТС-23 при воздействии на него электрических или лазерных импульсов. В [3] аналогичные внешние воздействия вызывали эмиссию зарядов у монокристалла ниобата лития. Во всех перечисленных случаях снимались осциллограммы импульсов эмиссионного тока. Здесь мы приведем некоторые результаты, наиболее полно иллюстрирующие обсуждаемые проблемы.

На рис. 2 показаны осциллограммы импульса тока в случае ориентации керамики, когда вектор поляризации направлен к коллектору. Перестройка поляризации осуществлялась высоковольтным импульсом длительностью 25 ns и амплитудой порядка 10 kV. Рис. 2а и 2б соответствуют случаям, когда внешнее поле, соответственно, антипараллельно и параллельно

вектору поляризации. Мы видим, что в случае 2a перестройка доменной структуры произошла немонотонно, так что поляризация, достигнув максимального значения, затем несколько уменьшилась. В случае же 2b поляризация менялась монотонно от начального до конечного значения.

На рис. 3 изображен импульс тока при воздействии на керамику лазерного импульса (второй гармоники наносекундного неодимового лазера). При этом вектор поляризации направлен к коллектору. Данная осциллограмма показывает, что в этом случае перестройка доменной структуры произошла монотонно. Отметим здесь, что при воздействии на керамику лазерных импульсов наблюдались также и немонотонные переходы от начальной поляризации к конечной.

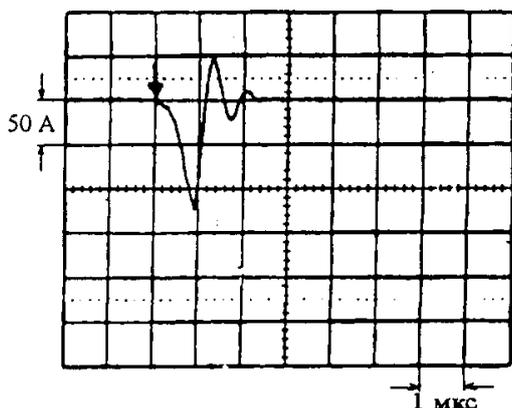


Рис.2а. Осциллограмма импульса тока при направлении вектора поляризации к коллектору

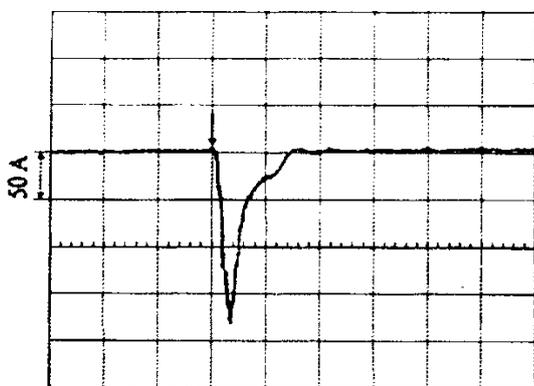


Рис.2б. Осциллограмма импульса тока при противоположном направлении вектора поляризации

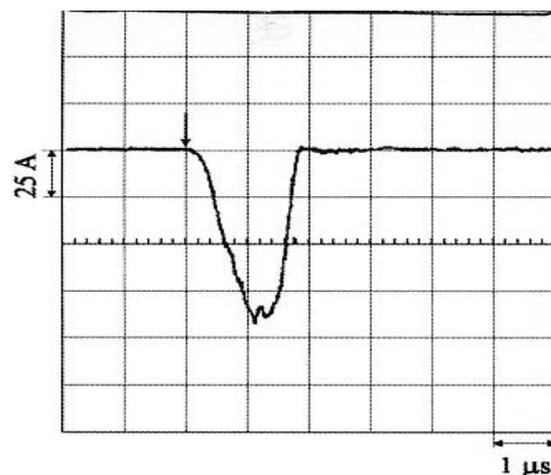


Рис.3. Осциллограмма тока при лазерном воздействии на керамику(вектор поляризации направлен к коллектору)

Аналогично исследовались осциллограммы токовых импульсов в случае монокристалла ниобата лития. Так на рис.4а приведен график зависимости от времени тока, вызываемого электрическим импульсом. При этом вектор поляризации направлен к коллектору и параллелен внешнему электрическому полю. Амплитуда электрического импульса - 20KV, его длительность - 25 ns. Мы видим, что в этом случае перестройка поляризации произошла монотонно. На рис.4б показана осциллограмма тока при воздействии на монокристалл лазерного импульса, которая свидетельствует о немонотонности процесса перестройки доменной структуры.

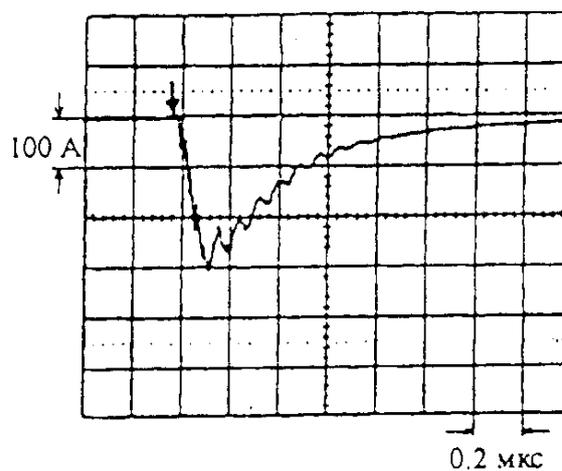


Рис. 4а. Осциллограмма тока при воздействии электрического поля на монокристалл ниобата лития

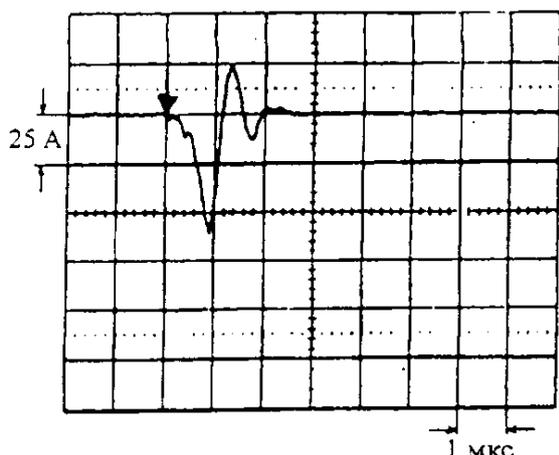


Рис. 4б. Осциллограмма тока при воздействии на монокристалл ниобата лития лазерного импульса

Обсуждение результатов и выводы.

Исходя из результатов проведенных экспериментов, можно сделать следующие выводы:

1. Токотенос в вакуумном диоде с сегнетоэлектрическим катодом осуществляется посредством электронной эмиссии из плазмы разрядов, возникающих на поверхности сегнетоэлектрика в результате изменения его состояния под воздействием лазерного излучения.

2. При малых изменениях спонтанной поляризации наиболее вероятно плазмообразование в результате поверхностных разрядов, возникающих за счет усиления тангенциальной компоненты электрического поля вблизи поверхности сегнетоэлектрика.

3. При использовании монокристаллов

ниобата лития $LiNbO_3$ наряду с эмиссией заряженных частиц наблюдается ряд других эффектов, характерных для взаимодействия лазерного излучения с фоторефрактивными кристаллами.

4. Наиболее перспективными материалами для использования в качестве эмиттеров являются сегнетоэлектрики с наибольшей спонтанной поляризацией \vec{P}_s и наименьшей температурой фазового перехода.

Исходя из статистики экспериментальных данных, необходимо отметить, что предложенный метод определения динамики реполяризации позволяет определить временную зависимость поведения спонтанной поляризации сегнетоэлектриков при внешнем воздействии.

Список литературы

1. В.А. Давыдов, Ю.В. Коробкин. Об одной возможности исследования динамики реполяризации сегнетоэлектриков // КСФ. - 2010. - №11. - С.50-54.
2. Korobkin Yu.V., Romanov I.V., Rupasov A.A., et.al. Laser-driven high-current-density pulsed electron emission from lead zirconium titanate ferroelectric ceramic. // Appl. Phys. Lett. - 2001. - V. 79. - №8. - P. 1163-1165.
3. Коробкин Ю.В., Романов И.В., Шиканов А.С., и др. Эмиссия электронов при изменении спонтанной поляризации в монокристалле $LiNbO_3$ под воздействием лазерного излучения и импульсного электрического поля // КСФ. - 2001. - №11. - С. 20-25

УДК 533.95

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ДИОДА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Коробкин Ю.В.¹, к.ф.м.н., доцент
Романов И.В.², к.ф.м.н, с.н.с.

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²Физический институт РАН

© Автор для переписки: Коробкин Ю.В. e-mail: korobkin@mirea.ru

Цель работы – экспериментальное исследование формирования плазменных струй, ионных пучков и источников рентгеновского излучения в низковольтных лазерно-индуцированных разрядах с высокой скоростью нарастания тока

Ключевые слова: лазер, плазма, пинчевание плазмы, ионные пучки, вакуумный разряд, заряд, энергия, ток, рентген.

ABOUT POSSIBILITY OF CREATION OF THE PULSE SOURCE OF CHARGED PARTICLES AND X-RAY RADIATION ON THE BASIS OF THE LASER - PLASMA DIODE FOR MODERN TECHNOLOGIES

Korobkin Yu.V.¹, assoc. prof.
Romanov I.V.²,

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

²P.N. Lebedev Physical Institute

© Corresponding author e-mail: e-mail: korobkin@mirea.ru

The work purpose is an experimental investigation of plasma streams, ionic bunches and sources of x-ray radiation formation in the low-voltage laser induced discharges with a high speed of increase of current

Keywords: laser; plasma; pinchevany plasmas; ionic bunches; vacuum discharge; charge; energy; current, x-ray

Введение

В настоящее время в ядерной физике, медицине, космонавтике, физике плазмы возрастает потребность в компактных, экономичных и экологических источниках заряженных частиц [1-3]. Как правило, в разработанных системах генерация многозарядных ионов происходит в плазме, создаваемой при облучении твердотельной мишени пучками мощных лазеров, а также в плазме сильноточных электрических разрядов. Основными недостатками таких систем являются высокий энергозатрат, требуемый для получения горячей плазмы, невысокий КПД, большие габариты и стоимость. Так для генерации ионов с энергиями в десятки МэВ требуется создание плазмы лазерным импульсом фемтосекундной длительности с плотностью мощности на мишени свыше 10^{19} Вт/см². В то же время, проведенные недавно исследования показали, что высокие энергетические параметры ионных пучков могут быть получены при весьма скромных характеристиках используемого оборудования [4,5]. Полученные результаты основаны на обнаруженном эффекте пинчевания плазмы катодной струи низкоиндуктивного (со скоростью нарастания тока $\sim 10^{10}$ А/с) вакуумного разряда малой мощности на его начальной стадии. Микропинчевые структуры с температурой электронов в сотни эВ образуются при токах разряда в диапазоне единиц кА, что почти на два порядка ниже, чем в традиционных сильноточных вакуумных искровых разрядах. Микропинч может обеспечивать дополнительную ионизацию материала катода и ускорение ионов объемным зарядом пучка эмитируемых электронов. При этом энергии, придаваемые ионам в процессе их ускорения, могут превышать потенциал источника тока. Ранее авторами

экспериментально и теоретически исследованы особенности динамики быстрых лазерно-индуцированных вакуумных разрядов [6,7,8]. Было установлено, что характеристики фор-плазмы, образуемой лазерным излучением, играют ключевую роль в процессе формирования пинча. Образование микропинчей приводит к возможности формирования горячих точек, являющимися источниками рентгеновского излучения в жесткой области спектра.

Эксперимент

Исследования проводились на лабораторном стенде для исследования характеристик ионной эмиссии из плазмы разряда, состоящем из вакуумного диода, лазерной системы на неодимовом стекле (длина волны 1,06 мкм), функционирующей в режиме модуляции добротности (энергия импульса $J \leq 0,15$ Дж, длительность импульса $\tau = 6$ нс) и корпускулярных диагностик. Схема эксперимента приведена на Рис.1.

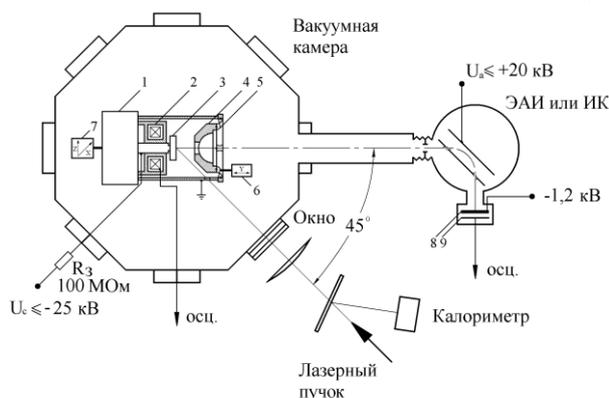


Рис.1. Схема эксперимента по исследованию ионной эмиссии из плазмы лазерно-индуцируемых разрядов: (1) конденсатор 0,22 мкФ; (2) пояс Роговского; (3) алюминиевая мишень - катод; (4) стальной анод; (5) гибкая подводная линия; (6,7) координатно-перемещающие устройства; (8) МКП; (9) электронный коллектор; ЭАИ- электростатический анализатор ионов; ИК- ионный коллектор.

Результаты эксперимента и выводы

В результате проведенных исследований было установлено:

1. Объяснением зависимости процесса

пинчевания плазмы от энергии, длительности инициирующего разряд лазерного импульса, площади фокального пятна пучка является зависимость соотношения Беннета от начальной погонной плотности ионов в разрядном промежутке, определяемой в частности массой испаренного вещества за время воздействия лазерного излучения на катод. Простая оценка, согласно [9], показывает, что масса испаренного вещества катода, определяемая соотношением: $M(z) \sim r_{cr}^{2/3} E^{1/3} \tau_L^{2/3} S^{2/3}$, где r_{cr} – критическая плотность плазмы, S - площадь фокального пятна, находится в степенной зависимости от энергии и длительности лазерного импульса. Как видно из соотношения, масса также находится в зависимости от критической плотности плазмы пропорциональной $1/\lambda^2$, где λ – где длина волны лазерного излучения и площади фокального пятна, что расширяет возможность управления процессом пинчевания плазмы разряда.

2. Для заданных характеристик разряда (напряжение на накопителе, ток разряда, его скорость нарастания, длина разрядного промежутка) существуют оптимальные начальные условия, определяемые характеристиками лазерного излучения, обеспечивающие устойчивое одиночное пинчевание плазмы катодной струи, при максимальном сжатии. Увеличение концентрации ионов и уменьшение температуры фор-плазмы, при уменьшении плотности мощности лазерного излучения на катоде за счет увеличения длительности импульса, позволяет повысить стабильность процесса пинчевания плазмы при меньшем энергозатрате.

3. Исследования ионной эмиссии из плазмы разряда с катодами из металлов с большой атомной массой, таких как Мо, Та, W показали, что максимальное значения производной тока разряда с Та - катодом примерно на треть меньше, чем в разряде с Al катодом. Для достижения прежнего значения производной необходимо увеличение напряжения на накопителе до 10 кВ. Предварительно, уменьшение производной тока объясняется увеличением

сопротивления фор-плазмы, вследствие увеличения кратности ионизации материала катода с увеличением его порядкового номера. При этом напряжении зарегистрирована эмиссия ионов Та из спинчеванной электроразрядной плазмы с зарядом +15. При этом, можно предполагать, заряд +15, не является максимальным, ввиду небольшого коэффициента усиления (10^3) детектора анализатора ионов и в настоящее время производится его замена на более чувствительный детектор.

Список литературы

1. Haseroth H. and Hill E. Multicharged ion sources for pulsed accelerators. // *Rev. Sci. Instrum.*- 1996.- V.67.- P. 1328
2. Haseroth H. and Hora H. Physical mechanisms leading to high currents of highly charged ions in laser-driven ion sources.// *Laser Part. Beams.*-1996.- V.14.- p. 393–438
3. Dimitre T., Zweiback J., Yarovsky V.P. // *Nature.*- 1999.- v. 398.- V. 489
4. Артамонов М.Ф., Красов В.И., Паперный В.Л. Регистрация ускоренных многозарядных ионов из катодной струи вакуумного разряда // *ЖЭТФ.*- 2001.- т.120.- №6.- стр.1404-1410
5. Е.А. Зверев, В.И. Красов, И.А. Кринберг, В.Л. Паперный. Формирование микропинча и генерация многозарядных ионов на фронте токонесящего плазменного факела // *Физика плазмы.*- 2005.- т.30.- № 11.- с. 909-922
6. Yu.V. Korobkin, I.V. Romanov, A.A.Rupasov, et al. Hard X-ray emission in laser-induced vacuum discharge // *Laser and Particle Beams.* -2005. - Vol.23. – P. 333-336.
7. Yu.V. Korobkin, V.L. Paperny, I.V. Romanov, et al. Micropinches in laser induced moderate power vacuum discharge. // *Physics Letters A.*- 2008.- v. 372.- P.1292-1296.
8. Yu.V. Korobkin, V.L. Paperny, I.V. Romanov, et al. Micropinches in laser induced moderate power vacuum discharge. // *Plasma Phys. Control Fusion.* - 2008.- V.50.- (14 pp.).
9. Yu.V. Afanasiev, E.G. Gamaly, S.Yu. Guskov, et al. *Laser and Particle Beams.*- 1988.- v. 6.- part1.- pp.1-23

УДК 537.5; 537.9

О ФИЗИКЕ ПРОЦЕССОВ И ХАРАКТЕРИСТИКАХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Коробкин Ю.В.¹, к.ф.м.н., доцент
 Романов И.В.², к.ф.м.н, с.н.с.

¹Физико-технологический институт Московского технологического университета

²Физический институт РАН

© Автор для переписки: Коробкин Ю.В. e-mail: korobkin@mirea.ru

Одной из важных задач ускорительной и рентгеновской техники остается создание долгоживущих, управляемых катодов, позволяющих формировать мощные электронные пучки с током свыше 1кА. Одним из предпочтительных методов увеличения токов пучка является увеличение площади эмиссии, которое легко достигается при использовании сегнетоэлектрического катода. Цель работы – экспериментальное исследование эмиссии электронных пучков при воздействии на сегнетоэлектрик электрических и световых полей

Ключевые слова: лазер, плазма, электрон, коллектор, ток

PHYSICS OF PROCESSES AND CHARACTERISTICS OF THE FERROELECTRIC SOURCE OF ELECTRONS AT INFLUENCE OF PULSE ELECTRIC FIELDS AND LASER

Korobkin Yu.V.¹, assoc. prof.
 Romanov I.V.²

¹Moscow technological university. Physico-technological institute

²*P.N. Lebedev Physical Institute*

@ *Corresponding author e-mail: e-mail:
korobkin@mirea.ru*

One of important problems of accelerating and x-ray equipment still remains creation of the long-living, operated cathodes allowing to form powerful electron beams with current from above 1kA. One of preferable methods of increase in currents of a bunch is the increase in the area of issue which is easily reached when using the ferroelectrical cathode. The work purpose is a pilot study of the electron bunches emission of at impact on a ferroelectric material of electric and light fields

Keywords: laser, plasma, electron, collector, current

Введение

Одной из важных задач ускорительной и рентгеновской техники остается создание долгоживущих, управляемых катодов, позволяющих формировать мощные электронные пучки с током свыше 1кА. Одним из хорошо изученных и используемых является лазерно-плазменный катод [1], который по сравнению с взрывными катодами может работать при любом ускоряющем напряжении, что является преимуществом для получения контрастных линий характеристического излучения. Однако ток электронного пучка, эмитированного из расширяющейся в межэлектродный промежуток лазерной плазмы, был ограничен пространственным зарядом и не превышал в [1] 100А. Одним из предпочтительных методов увеличения токов пучка является увеличение площади эмиссии, которое легко достигается при использовании сегнетоэлектрического катода.

Сегнетоэлектрические материалы представляют большой интерес с точки зрения потенциальных эмиттеров мощных электронных потоков, возникающих при изменении наведенной спонтанной поляризации под действием внешних воздействий [2-4]. Физические модели, объясняющие явление электронной эмиссии из сегнетоэлектрических материалов, основываются на изменении спонтанной поляризации под воздействием электрического поля либо лазерного излучения и подробно приведены в [5-7]. Качественное объяснение ме-

ханизма эмиссии заключается в том, что на поверхности поляризованной пластины сегнетоэлектрического образца появляются свободные заряды, компенсирующие электрическое поле связанных поверхностных зарядов (эффект экранирования), которые не удерживаются более полем сегнетоэлектрика и могут быть сняты. Наиболее перспективными материалами являются кристаллы и керамики с наибольшей спонтанной поляризацией и наименьшей температурой Кюри. Следует ожидать, что наибольшие плотности поверхностного заряда будут достигнуты при быстром изменении вектора \vec{P}_s и высвобождении пространственных зарядов при импульсном лазерном облучении. Для получения быстрого изменения \vec{P}_s необходимо работать в области, близкой к фазовому переходу.

Описание и результаты эксперимента.

В работе представлено три серии экспериментов: 1) исследование электронной эмиссии поляризованных керамик в режиме диода; 2) исследование электронной эмиссии монокристаллов ниобата лития в режиме диода; 3) дополнительное исследование механизмов возникновения и ускорения пучков заряженных частиц, возникающих при взаимодействии лазерного излучения с кристаллами ниобата лития. В первой серии использовались предварительно поляризованные таблетки керамики ЦТС-23 (ЦТС-19) толщиной 2мм и диаметром 40мм, во второй – примесный монокристалл $LiNbO_3$ с примесью Fe_2O_3 и Mg толщиной 6мм и диаметром 10мм; в третьей – чистый (толщиной 8мм) и примесный (аналогично второй серии) монокристаллы $LiNbO_3$. Пропускание примесного кристалла на длине волны $\lambda=0,53\mu\text{м}$ составляло 51%, на длине волны $\lambda=1,06\mu\text{м}$ -72%.

Измерения проводились в вакууме $2 \cdot 10^{-5}$ Торр. Для управления сегнетоэлектрическим катодом использовалось излучение второй гармоники неодимового лазера на фосфатном стекле с длиной волны $\lambda=0,527\mu\text{м}$, длительностью импульса 3нс и энергией до одного 1Дж. Угол падения

светового пучка на образец соответствовал 45° . Во избежание плазмообразования (в результате лазерного воздействия) плотность мощности излучения второй гармоники I на поверхности керамики не превышала величину $2 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$.

В первой серии сбор электронов в режиме диода производился с помощью коллектора-анода (медной пластины с площадью 3 см^2), находящегося под положительным потенциалом 17 кВ и заземленного через разделительную емкость 5 нФ . Ток диода регистрировался низкоиндуктивным частотно-независимым шунтом с сопротивлением $1,7 \text{ Ом}$, установленном в коллекторной цепи, с помощью осциллографа с полосой пропускания 500 МГц . Расстояние коллектор-керамика равнялось 4 см . Измерения тока диода проводилось в двух положениях керамической таблетки: с вектором спонтанной поляризации, направленном к коллектору навстречу лазерному излучению, и в противоположном направлении, при этом электрод на поверхности керамики, обращенной к коллектору был заземлен. В обоих случаях задержки между началом лазерного импульса и импульсом тока не наблюдалось, однако амплитуда тока в первом случае была больше более чем в три раза, а длительность импульса меньше в 2.5 раза (рис. 1а, б).

Максимальный ток в этой серии экспериментов составил 300 А , при плотности мощности лазерного излучения на керамике 10^7 Вт/см^2 . Измерения длительности импульса тока диода показали ее уменьшение с возрастанием плотности мощности лазерного излучения. При увеличении интенсивности I с $3 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$ до 10^7 Вт/см^2 длительность токового импульса сокращалась с 700 нс до 400 нс в первом случае и с $1,8 \text{ мкс}$ до $1,1 \text{ мкс}$ во втором. При этом амплитуда тока диода с возрастанием I практически не менялась. Столь большие значения тока и длительности импульса показывают, что фотоэмиссия не вносит определяющего вклада в процесс токопереноса в диоде и доминирующими механизмами в нашем случае, могут являться дополнительные ускорительные механизмы. К ним

можно отнести усиление нормальной составляющей электрического (до 10^9 В/см) в процессе его переполяризации [8]; плазмообразование в результате поверхностных разрядов [9]. Причинами появления которых могут являться: локальная переполяризация, пробой в тройных точках (металл-диэлектрик-вакуум по модели С.П.Бугаева, Г.А.Месяца [10]) за счет усиления тангенциальной компоненты поля (до 10^5 В/см).

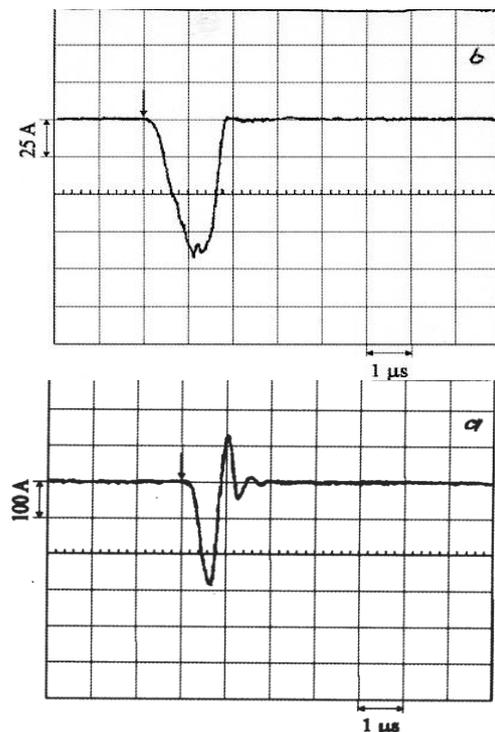


Рис. 1. Осциллограммы импульса тока диода при лазерном воздействии на керамику (стрелками показаны моменты воздействия на керамику лазерного излучения): а – вектор спонтанной поляризации \vec{P}_s направлен к коллектору; б – вектор спонтанной поляризации \vec{P}_s направлен от коллектора.

Во второй серии экспериментов исследовалась электронная эмиссия из монокристалла ниобата лития LiNbO_3 с добавками Fe_2O_3 и Mg (в объеме образца поглощалось 40% падающего излучения).

Интенсивность излучения второй гармоники на поверхности кристалла составляла величину $2 \cdot 10^8 \text{ Вт/см}^2$. Большинство измерений проводилось при потенциале кол-

лктора 20кВ и расстоянии коллектор эмиттер ≈ 1 см, так что вытягивающее поле было порядка 20 кВ/см. Измерения электронной эмиссии проводились при двух положениях кристалла: с вектором спонтанной поляризации \vec{P}_s , направленном по направлению падающего лазерного излучения, и в противоположном направлении. В обоих случаях задержки между началом лазерного импульса не было, однако амплитуда тока во втором случае была более чем в два раза больше (Рис. 2а, б). Длительность импульсов тока по полувысоте составляла 400нс и максимальная плотность тока достигала 150 A/cm^2 .

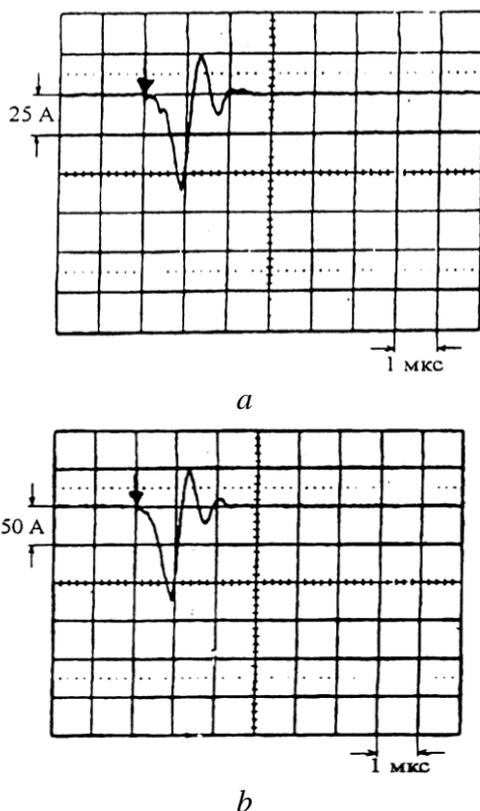


Рис. 2. Осциллограммы тока эмиссии при лазерном воздействии на кристалл ниобата лития ($\text{LiNbO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mg}$): а – вектор спонтанной поляризации \vec{P}_s совпадает по направлению с распространением падающего луча; б – вектор спонтанной поляризации \vec{P}_s направлен навстречу падающему лучу. Стрелкой указано время воздействия лазерного импульса. Интенсивность лазерного излучения на поверхности кристалла $2,5 \cdot 10^8 \text{ Вт/см}^2$.

В третьей серии экспериментов проводилось исследование механизмов возникновения эмиссии с поверхности монокристалла ниобата лития LiNbO_3 . В данной серии проводились чисто коллекторные измерения зарядового импульса, возникающего при облучении, изолированных от камеры пластин ниобата лития LiNbO_3 лазерным излучением наносекундной длительности различной длины волны, причем потенциал коллектора менялся от нуля до 400В с изменением полярности. Коллекторные измерения показали, что имеется электронная и ионная компоненты, что косвенно подтверждает возникновение плазмы на поверхности монокристаллов. Достаточно малая энергия ионов и электронов позволяет сделать вывод о преимущественном существовании тангенциальных полей вблизи поверхности монокристаллов за счет плазмообразования в результате поверхностных разрядов. Появление тангенциальных полей говорит также о роли фотогальванического эффекта в формировании процессов плазмообразования. При проведении данной серии были получены следующие результаты:

1. Взаимодействие излучения второй гармоники с примесными кристаллами ($\text{LiNbO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mg}$) привело к появлению слабого двуполярного коллекторного сигнала, который не зависел от направления вектора спонтанной поляризации по отношению к падающему излучению.
2. Использование смеси основного излучения и гармоники привело к заметному увеличению сигнала, что, по-видимому, объясняется увеличением поглощенной энергии.
3. Использование чистого ниобата лития привело к увеличению коллекторного сигнала на порядок.
4. Для выяснения влияния градиента светового поля лазерное излучение было задиафрагмировано, причем коллекторный сигнал возрос в пять раз, при этом были замечены повреждения на обратной стороне пластины. Наличие повреждений позволяет выдвинуть предположение о ро-

ли фоторефракции, которая имеет объемную зависимость.

5. Исследование микроструктуры повреждений показало, что они обладают 120-градусной симметрией, что характерно для изменения доменной структуры.

Обсуждение результатов и выводы.

Исходя из результатов проведенных экспериментов, можно сделать следующие выводы:

5. Токотеренос в вакуумном диоде с сегнетоэлектрическим катодом осуществляется посредством электронной эмиссии из плазмы разрядов, возникающих на поверхности сегнетоэлектрика в результате изменения его состояния под воздействием лазерного излучения.

6. При малых изменениях спонтанной поляризации наиболее вероятно плазмообразование в результате поверхностных разрядов, возникающих за счет усиления тангенциальной компоненты электрического поля вблизи поверхности сегнетоэлектрика.

7. При использовании монокристаллов ниобата лития $LiNbO_3$ наряду с эмиссией заряженных частиц наблюдается ряд других эффектов, характерных для взаимодействия лазерного излучения с фоторефрактивными кристаллами.

8. Наиболее перспективными материалами для использования в качестве эмиттеров являются сегнетоэлектрики с наибольшей спонтанной поляризацией \vec{P}_s и наименьшей температурой фазового перехода.

9. Исходя из статистики экспериментальных данных, необходимо отметить, что явного уменьшения эмиссии, при последовательном воздействии на сегнетоэлектрики лазерного излучения, не происходит, что говорит о возвращении системы к исходному состоянию.

В заключение можно сделать вывод о возможности получения электронных пучков наносекундной длительности с током свыше 1кА при использовании в качестве катода сегнетоэлектрических пластин

большой площади с оптимальными сегнетоэлектрическими параметрами.

Список литературы

1. Ерохин А.А., Кишинец А.С., Коробкин Ю.В. и др. Исследование генерации характеристического рентгеновского излучения, вызванной электронами лазерной плазмы, ускоренными электрическим полем // ЖЭТФ.- 2001.- т.119.- вып.6.- с.1151-1158
2. Gundel H., Riege H., Wilson E.J.N. Fast polarization changes in ferroelectrics and their application in accelerators. // *Nukl. Instruments and Methods in Phys. Res.* – 1989. - A280. - N1. - P.1-6.
3. Ю.В.Коробкин, И.В.Романов, А.А.Рупасов и др. Эмиссия электронов при изменении спонтанной поляризации в монокристалле $LiNbO_3$ под воздействием лазерного излучения и импульсного электрического поля // КСФ ФИАН. -2001.- №11/- с.13-18
4. Ю.В.Коробкин, И.В.Романов, А.А.Рупасов, А.С.Шиканов. Исследование токопрохождения в вакуумном диоде с электро- и лазерно-управляемым сегнетоэлектрическим катодом // Письма в ЖТФ.- 2003.- т.29.- вып.8.- с.24-31
5. Riege H., Boscolo I., Handerek J. et al. // *Features and technology of ferroelectric electron emission* // *J. Appl. Phys.* -1998.- v.84.- N3.- p.1602-1610
6. Korobkin Ju.V., Rozanov V.B., Vergunova G.A., Shikanov A.S. *Monochromatic x-ray sources based on emitters controlled by laser radiation* // *The Russian J. of Laser Research.* -1998.- V.19.- Iss2.- p.134-152
7. Rozenman G., Shur D., Krasik Ya.E. *Review-Ferroelectric cathodes*// *J. Appl. Phys.* 2000.- v.88.- p.6109-6161
8. Ivers J.D., Schachter L., Nation J.A. et al. *Electron-beam diodes using ferroelectric cathodes*// *J. Appl. Phys.* 1993.- v.73.- N6.- p.2667-2672
9. Dunaevsky A., Krasik Ya.E., Felsteiner J. *Electron ion emission from the plasma formed on the surface of ferroelectrics. I. Studies of plasma parameters without applying an extracting voltage* // *J. Appl. Phys.* 1999.- v.85.- N12.- p.8464-8473
10. Бугаев С.П., Месяц Г.А. Эмиссия электронов из плазмы незавершенного разряда по диэлектрику в вакууме // ДАН СССР. -1971.- т.196.- №2.- с.324-326

УДК 533.95; 533.665

ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫЙ ДИ- ОД КАК ПРООБРАЗ ДВИЖИТЕ- ЛЯ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АП- ПАРАТОВ

Коробкин Ю.В.¹, к.ф.м.н., доцент;
Романов И.В.², к.т.н., с.н.с.
Паперный В.Л.³, д.ф.м.н., профессор,
зав. кафедрой
Горбунов С.П.³, к.ф.м.н., с.н.с

¹Физико-технологический институт Москов-
ского технологического университета

²Физический институт РАН

³Иркутский государственный университет

© Автор для переписки: Коробкин Ю.В. e-mail:
korobkin@mirea.ru

В космонавтике стоит задача создания плазменного двигателя с высокими тяговыми характеристиками, имеющего простую и экономичную систему питания и позволяющего использовать тяжелые элементы в качестве рабочего тела. Предварительные эксперименты по исследованию эмиссионных свойств лазерной и электро-разрядной плазмы в сильном электрическом поле показали возможность управления параметрами плазменной струи. Таким образом, предлагаемые исследования являются актуальными, ввиду возможности развития новых физических принципов построения малогабаритных ионных источников.

Ключевые слова: плазма, пинч, ионы, тяговые характеристики

LASER-PLASMA DIODE AS THE DRIVER PROTOTYPE FOR CORRECTION OF SMALL SPACECRAFTS ORBIT

Korobkin Yu.V.¹,
Romanov I.V.²,
Paperny V.L.³,
Gorbunov S.P.³

¹Moscow technological university. Physico-

technological institute

²P.N. Lebedev Physical Institute

³Irkutsk state university

@Corresponding author e-mail:e-mail:
korobkin@mirea.ru

In astronautics there is a problem of creation of the plasma driver with high traction characteristics having a simple and economic power supply system and allowing to use heavy elements as a working body. Preliminary experiments on research of emissive properties of laser and electrocharge plasma in stronger electric field showed possibility of management of parameters of a plasma stream. Thus, the offered researches are actual, in view of possibility of development of the new physical principles of creation of small-sized ionic sources.

Keywords: plasma, pinch, ions, tractive characteristics

Введение

Целью проведенных исследований является разработка физических основ нового класса двигателей на основе импульсных сильноточных лазерно-плазменных и электроискровых разрядов. В настоящее время в качестве маневровых реактивных двигателей, предназначенных для коррекции орбиты ИСЗ, используются, в основном, плазменные ускорители газовой плазмы на основе замкнутого дрейфа электронов. Основными недостатками этих систем являются:

1) использование инертного газа в качестве рабочего тела, что ограничивает массу ионов (< 130 а.е.м.) и, следовательно, тяговое усилие двигателя,

2) необходимость использования высоковольтного сильноточного источника разрядного тока для получения достаточно высокой энергии ионного потока.

Поэтому актуальной представляется задача создания плазменного двигателя с высокими тяговыми характеристиками, имеющего простую и экономичную систему питания и позволяющего использовать тяжелые элементы в качестве рабочего тела. Численное моделирование и последние экспериментальные исследования показали существенное отличие динамики лазерно-индуцированных разрядов от динамики

разрядов, инициируемых посредством взрывной электронной эмиссии. Высокая скорость протекания процессов токовой фокусировки и дефокусировки, плазменно-эрозийного размыкания, формирование микроплазменного фокуса и др. обеспечивает: возможность перехода вещества в экстремальное состояние (даже в условиях низковольтного лазерно-индуцированного разряда), условия эффективной генерации корпускулярных потоков и электромагнитного излучения (включая рентгеновское). С другой стороны наличие внешнего электрического поля оказывает существенное влияние на динамику и эмиссионные характеристики плазмы. Предварительные эксперименты по исследованию эмиссионных свойств лазерной и электро-разрядной плазмы в сильном электрическом поле показали возможность управления параметрами плазменной струи. Таким образом, предлагаемые исследования являются актуальными, ввиду возможности развития новых физических принципов построения малогабаритных ионных источников.

Предварительные замечания

Известно, что вакуумный дуговой разряд, горящий в парах эродирующего материала катода, обеспечивает генерацию стационарного потока высокоионизованной металлической плазмы со скоростями порядка $(1-2) \cdot 10^6$ см/с [1]. Измерения в высоковольтных вакуумных искровых разрядах показали, что при токах разряда менее кА скорость плазменного потока близка к указанным значениям и остается практически постоянной при изменении в широком диапазоне значений напряжения на разрядном промежутке [2]. В работе [3] было обнаружено явление увеличения скорости катодной плазменной струи в 1.7 раза по сравнению со стационарными системами в импульсном вакуумном разряде длительностью около 1 мс при увеличении разрядного тока до 5 кА. Аналогичный эффект с близкими значениями скоростей наблюдался в высоковольтном (8 – 30 кВ) искровом разряде с жидкометаллическим катодом [4]. Авторами, в целом ряде работ

[5-7] были проведены исследования ионной эмиссии из плазмы лазерно-индуцируемого вакуумного разряда. Показано, что плазма разряда малой мощности, в частности, с амплитудой $\approx 1,7$ кА, скоростью нарастания тока $\approx 7,5 \cdot 10^9$ А/с и напряжением на накопителе 2,3 кВ, инициируемого лазерным импульсом с длительностью ~ 30 пс, энергией ~ 10 мДж и плотностью мощности $5 \cdot 10^{11}$ Вт/см² на Al-катоде, является эффективным эмиттером многозарядных ионов. Генерация ионов алюминия наблюдается в момент достижения скоростью нарастания тока своего максимального значения и при наличии процесса пинчевания плазмы на фронте расширяющейся в межэлектродный промежуток катодной струи. Энергетические спектры ионов характеризуются наличием заметного немаксвелловского хвоста ускоренных частиц. Максимальные заряд и энергия ионов достигают величин +8 (+9) и 14 кэВ/Z соответственно. Энергии ионов, как минимум, в 5Z раз превышают потенциал источника тока. Анализ энергетических спектров показывает превышение средних энергий ионов плазмы разряда над энергиями ионов лазерной плазмы (в отсутствие разряда), образуемой на поверхности мишени лазерным импульсом с длительностью 30 пс, энергией 400 мДж, плотностью мощности $2 \cdot 10^{13}$ Вт/см², и сравнимость их максимальных энергий. Были также исследованы параметры катодной плазменной струи вакуумного искрового разряда с классическим инициированием разряда, с длиной разрядного промежутка 1 см и временем нарастания тока около 1 мкс. Использование малоиндуктивной разрядной цепи позволило обеспечить изменение тока разряда от 0.6 до 10 кА при увеличении напряжения накопителя от 0.2 до 2.5 кВ. Был обнаружен и исследован эффект существенного увеличения скорости катодной струи по сравнению с указанными величинами. Так, было показано, что в случае медного катода разряд генерирует плазменный сгусток длительностью около 10 мкс, скорость которого возрастает от $2 \cdot 10^6$ до $7 \cdot 10^6$ см/с

при указанных изменениях параметров разряда, что почти в 6 раз превышает значения, характерные для стационарных источников на основе вакуумного дугового разряда. При этом, плотность ионного тока вблизи оси струи на расстоянии 35 см от разрядного промежутка достигает 100 мА/см^2 [8, 9].

Механические характеристики плазмы катодного факела низкоиндуктивной вакуумной искры

Эксперименты проводились в низкоиндуктивном ($L=40 \text{ нГ}$) вакуумном искровом разряде [10]. Электродная система состояла из медного катода-цилиндра диаметром 1 мм и расположенного на расстоянии 9 мм от него анода, находящегося под потенциалом заземленной вакуумной камер, где поддерживалось остаточное давление $(5-8) \cdot 10^{-6}$ Торр. Накопитель ($C=2 \text{ мкФ}$) заряжался до напряжения U_d , после чего инициировался разряд. Ток разряда, амплитуда которого определялась величиной U_d , измерялась непосредственно в цепи катода. Временное разрешение регистрирующей системы составляло около 40 нс. Для измерения скорости ионного потока времяпролетным способом использовалась конструкция разрядной камеры с сетчатым анодом, через который плазма расширялась в дрейфовую трубу длиной $L=10$ или 36 см. После прохождения трубки ионы регистрировались коллектором, находящимся под отрицательным относительно анода потенциалом -200 В , при котором регистрировался ионный ток насыщения. Во втором варианте для измерения механического импульса катодной струи использовался кольцевой анод с центральным отверстием диаметром 10 мм, в которое из межэлектродного промежутка вытекал плазменный струя. Непосредственно за анодом располагался баллистический маятник в виде металлического диска массой 0,35 г, подвешенный на заземленной проволочке. Под действием плазмы катодной струи диск отклонялся, и по углу отклонения оценивался механический импульс, сообщенный диску струей. Результаты времяпролетных измерений для раз-

ных длин дрейфовой трубки приведены на рис. 1, из которого видно, что в плазме катодного факела регистрируются две группы ионов.

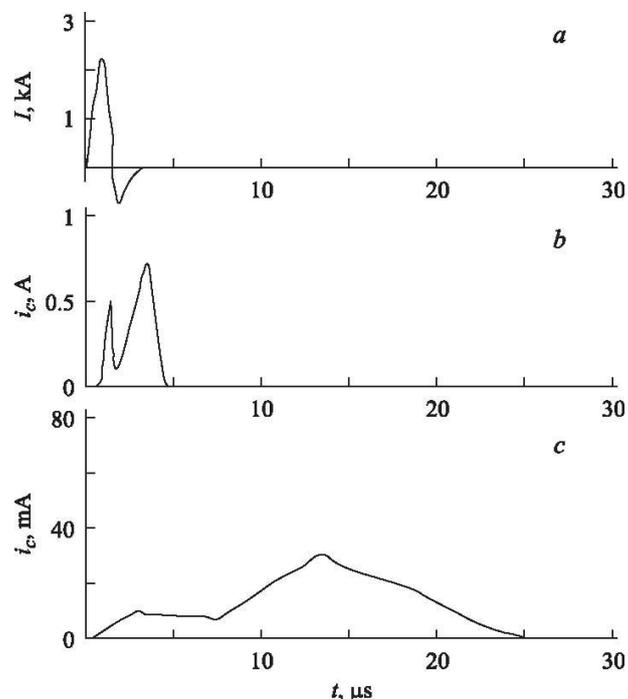


Рис. 1. Осциллограммы:

а - ток разряда; *б*, *в* - сигналы ионного тока с коллектора при длине дрейфовой трубки 10 и 36 см, соответственно

Анализ данных показал, что быструю компоненту составляют многозарядные ионы материала катода, генерируемые в начальной стадии разряда [11]. Медленная компонента представляет собой основную часть ионной плазмы катодной струи, средняя скорость этой компоненты при малой амплитуде разрядного тока близка к стандартным значениям скорости ионов в вакуумной дуге [12]. Для данных исследований важно, что число быстрых ионов в импульсе, пропорциональное площади под соответствующей частью осциллограммы, как видно из рис 1,б даже с учетом более высокого среднего заряда составляет заметную часть (несколько десятков процентов) полного ионного потока. Поэтому принимая во внимание, что скорость быстрых ионов в 3-5 раз превышает скорость основной компоненты, необходимо учитывать их вклад в полный механический импульс катодной струи.

При заданном значении напряжения накопителя и определяемой им величиной разрядного тока скорости обеих ионных компонент были вычислены путем усреднения данных, полученных из набора осциллограмм. Скорость основной компоненты определялась по времени задержки максимума соответствующего сигнала на осциллограмме тока коллектора относительно момента достижения первого максимума разрядного тока, когда согласно эктонной модели достигается также максимум ионного тока. Скорость быстрой компоненты определялась по времени задержки максимума соответствующего сигнала относительно момента $t_0 \approx 0,300$ нс после начала разряда. Вблизи этого момента, как показано в [13], генерируются пучки быстрых многзарядных ионов.

Из скоростей ионных компонент, найденных описанным способом, находилась средняя массовая скорость плазмы катодного факела \bar{V}_m , при этом учитывалось относительное содержание обоих видов ионов, которое оценивалось по коллекторному сигналу для $L = 10$ см. Рис. 2 показывает, что скорость существенно увеличивается с ростом амплитуды разрядного тока. Здесь же показаны результаты измерения механического импульса факела P , полученные по величине отклонения баллистического маятника.

При этом предполагалось, что плазменный факел полностью передает свой импульс маятнику и пренебрегалось возможным отражением ионов от поверхности маятника. Из рис. 2 видно, что импульс растет с увеличением амплитуды разрядного тока и достигает $25 \text{ мкН}\cdot\text{с}$ в одиночном разряде при амплитуде тока, равной 14 кА . Рост импульса обусловлен как ростом массовой скорости плазмы, так и переносимой катодным факелом в разряде массы материала катода M . Как показали измерения, величина M в диапазоне измерения параметров разряда оказалась пропорциональной заряду накопителя Q : $M = \gamma Q$, где γ - параметр эрозии остается почти постоянным и близким к величине, измеренной ранее в дуге: $\gamma = 60 - 80 \text{ мкг/Кл}$

[14].

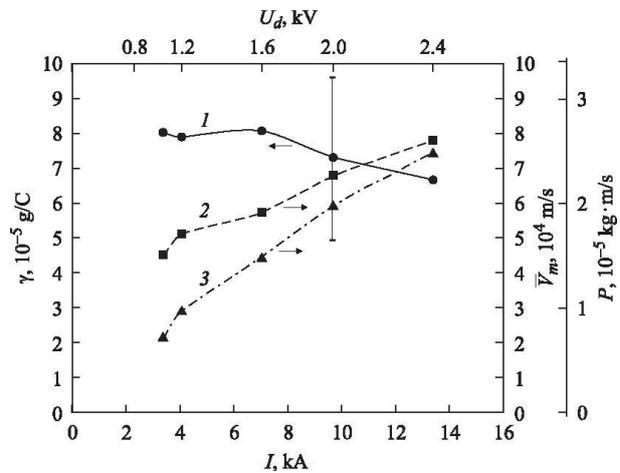


Рис. 2. Зависимость от параметров разряда коэффициента ионной эрозии (1), средней массовой скорости (2) и механического импульса (3) плазмы катодного факела.

Полученные данные позволяют оценить эффективность данного вида разряда в качестве плазменного движителя. Одной из основных характеристик последних является удельная тяга, определяемая как отношение силы тяги к электрической мощности, выделяющейся в разряде [15]. В данном случае эта величина оценивается по формуле $\Pi = 2P/cU_d^2$. В зависимости от напряжения накопителя U_d ($500 - 2500$) В удельная тяга меняется линейно от $0,8 \cdot 10^{-5}$ Н/Вт до $0,4 \cdot 10^{-5}$ Н/Вт. КПД (коэффициент полезного действия) определяется как отношение кинетической энергии плазменного факела к электрической энергии, расходуемой разрядом в импульсе: $\eta = P\bar{V}_m / cU_d^2$. КПД движителя составляет около 20% и остается практически постоянным в диапазоне напряжения накопителя ($500 - 2500$) В, в то время как удельная тяга падает с ростом напряжения накопителя.

Измерения механического импульса катодного факела были также проведены для материалов катода с существенно большей (W) массой и меньшей (Al), чем у меди, величиной атомной массы. Результаты показали, что эффект увеличения скорости катодного факела в искровом разряде по сравнению с дугой наблюдается и для дру-

гих видов материала катода, в частности, для вольфрама скорость увеличивается почти в три раза.

Обсуждение результатов и выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что плазма лазерно-индуцируемого разряда малой мощности, является эффективным источником высокозарядных ионов материала катода. Формирование микропинчевой структуры в катодной плазменной струе посредством выбора оптимальной энергии, инициирующего разряд лазерного импульса, увеличивает максимальный заряд ионов пучка и скорость основного ионного потока.

Проведенные исследования показали, что значения эксплуатационных параметров плазменного двигателя на основе искрового разряда (удельной тяги и КПД) превышают соответствующие величины для дугового разряда. Приведенные результаты показывают, что с ростом напряжения накопителя и амплитуды разрядного тока энерговклад в разряд, пропорциональный U_d^2 , растет быстрее, чем импульс катодного факела и, соответственно, величина тяги. Максимальная величина удельной тяги Π наблюдается в области малых значений напряжения накопителя U_d и амплитуды разрядного тока. Поскольку коэффициент ионной эрозии почти не зависит от амплитуды разрядного тока, увеличить импульс можно переходом к материалам катода с большой атомной массой (например, урану), а также путем увеличения скорости плазменного факела \bar{V}_m .

Увеличение амплитуды разрядного тока приводит к росту скорости, причем для повышения КПД и удельной тяги двигателя необходимо сохранить малую величину напряжения накопителя, для чего, в частности, следует использовать цепь с малым волновым сопротивлением $\rho = (L/C)^{0.5}$. Кроме того, как показано выше, скорость катодного факела можно увеличить при использовании лазерно-индуцируемого разряда. Использование указанных методов повысит тяговые характеристики плазменного двигателя на

основе низкоиндуктивного вакуумного искрового разряда, инициируемого лазерным излучением.

В ходе проведения исследовательской работы был создан макет маневрового двигателя для малых космических аппаратов, имеющий следующие характеристики:

- 1) Масса (без источников питания) - не более 1 кг.
- 2) Сила тяги (при частоте следования импульсов 10 Гц) - около 10^{-3} Н.
- 3) Коэффициент полезного действия - до 20%.
- 4) Потребляемая мощность - менее 50 Вт
- 5) Характеристическая скорость - до 8×10^6 см/с

Достоинствами предлагаемого типа ионного двигателя являются простота конструкции, отсутствие нагреваемых и эродирующих элементов (кроме, естественно, рабочего тела - катода), а также возможность использования металлов с большой атомной массой в качестве рабочего тела для повышения тяговых характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №15-02-03757, №16-02-01140).

Список литературы

1. Вакуумные дуги (под ред. Дж. Лафферти), М.: Мир.- 1982.- 428 с
2. Г.А. Месяц, Д.И. Проскуровский, Импульсный разряд в вакууме. М.:Наука.- 1986.- 398 с.
3. H.-J. Sheibe, B. Shultrich, H. Ziegele, P.Siemroth. // Proc. XVIIth Int. Simpon.Discharges Electr. Insul. in Vacuum.- Berkrlly.- USA.- 1996.- P.941
4. S.A. Popov, D.I. Proskurovsky, A.V. Batrakov. Mass-energy analysis of ions in the anode plasma created by high-current vacuum spark. // Proc. XIXth Proc. XVIIIth Int. Simpon.Discharges Electr. Insul. in Vacuum/- Xi'an, China.- 2000.-1.- P.81
5. Yu.V. Korobkin, I.V. Romanov, A.A. Rupasov, A.S. Shikanov. Hard X-ray emission in laser-induced vacuum discharge // Laser and Particle Beams. - 2005. - v.23. - № 3. - pp. 333-336.
6. Yu.V. Korobkin, V.L. Paperny, I.V. Roma-

nov, et al. Control of micropinches parameters formed in current-carrying plasma jet. // *Physics Letters A*. - 2008. - v. 372. - p.1292-1296.

7. Yu.V. Korobkin, V.L. Paperny, I.V. Romanov, A.A. Rupasov, A.S. Shikanov. Micropinches in laser induced moderate power vacuum discharge. // *Plasma Phys. Control Fusion*. - 2008. - v.50. - (14 pp.).

8. S. P. Gorbunov., V.I. Krasov, I.A. Krinberg, V.L. Paperny. Source of metal ions' with a variable velocity // *Proc. XXth ISDEIV/2002.- Tours.- France.- pp. 674-677*

9. Gorbunov S.P., Krasov V.I., Krinberg I.A., Paperny V.L Source of metal ions with a variable velocity. // *Proc. 6th Intern. Conf. on modification of materials with particle beams and plasma flow. 2002. -Tomsk.- Russia.- P.67-70.*

10. С.П. Горбунов, В.И. Красов, В.Л. Паперный, Ю.В. Коробкин, И.В. Романов. Пере-

нос массы и заряда катодным факелом низкоиндуктивной вакуумной искры. // *Письма в ЖТФ*. - 2005. - т.31. - в.22, с.87-94.

11. Горбунов С.П., Красов В.И., Паперный В.Л. Поток многоразрядных ионов металлов из низковольтного вакуумного искрового разряда. // *Прикладная физика*. - 2005. - №6. - С.60

12. Gorbunov S. P., Krasov V.I., Krinberg I.A., Paperny V.L. // *Plasma Sources Sci. Technol.* -2003. -V.12.- N3. -P. 313

13. Astrakhantsev N.V., Krasov V.I., Paperny V.L. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* -1995.- V. 28.- P. 2514

14. Daalder J.E. // *Physica B+C*. -1981. -V. 104. -N1.- P. 91

15. Schein J., Qi N., Binder R., Krishnan M et al. // *Proc 27th Int. Electric Propulsion Conf. - Pasadena, CA, 15-19 Oct. 2001. -IEPS-01-228*

ТЕЗИСЫ

УДК 535.42

Коды OCIS: 290.4020, 290.5825, 160.4236

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ С БОЛЬШИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

© 2017 г.

Трибельский¹ М. И.^{2,3} доктор физ.-
мат. наук, профессор;

¹МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

²НИЯУ МИФИ, Москва

³МИРЭА

E-mail: tribelsky@mirea.ru

Ключевые слова: рассеяние света, резонансы Ми, наночастицы

Представлен краткий обзор современных теоретических и экспериментальных результатов по рассеянию света субволновыми частицами с большим коэффициентом

том преломления и малой диссипацией, главным образом основанный на собственных результатах автора в этой области. Такое рассеяние сопровождается возбуждением острых резонансов Ми, которые приводят к существенным дифракционным искажениям электромагнитного поля, как внутри частицы, так и вне ее. Вне частицы каждая парциальная мода может быть представлена как суперпозиция бесконечных каскадов резонансов Фано. Выяснена природа этих резонансов. Приведены простые соотношения, непосредственно выражающие параметры асимметричной линии Фано через фундаментальные параметры задачи рассеяния (размер частицы, волновое число падающего излучения и комплексный коэффициент преломления). Внутри частицы резонансы характеризуются традиционной лоренцевской формой линии, однако амплитуда резонансов может быть очень велика, а резонансы различных порядков могут существенно перекрываться. Это создает условия для гигантского (на порядки величин) усиления поля внутри такой частицы, а также для управления контрастом этого поля. Указанные свойства открывают новые возможности для использования таких частиц в качестве многофункциональных элементов оптических сетей, а также для создания нелинейных гетерогенных наноструктур и других метаматериалов.

УДК 621.38-002. 532

**НОВЫЕ НОСИТЕЛИ – НОВЫЕ
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

Щука А.А., д.т.н. профессор

*Московский технологический университет
(МИРЭА)*

Возникшая к середине прошлого столетия полупроводниковая электроника стала самым крупным достижением второй половины двадцатого века. Однако в начале 21 века электроника столкнулась с проблемой дальнейшей миниатюризации элементной базы.

Электрон как носитель сигнала уже не всегда удовлетворяет исследователей: он переносит заряд, а значит возникает джоулево тепло. Его надо отводить. Появилась спинтроника, в которой носителем информации сигнала служит спин электрона: спин вверх соответствует «1», спин вниз – «0».

Уменьшение размеров на несколько порядков практически меняет физические основы работы наноэлементов. В наноэлементе используются уже не электроны как частицы, переносящие электрический заряд, а волновые функции, спины, и квазичастицы.

Квазичастицы представляют собой фундаментальное понятие теории конденсированного состояния вещества. Развитие квантовой теории конденсированных сред привело к созданию физических понятий, в частности, к концепции квазичастиц или элементарных возбуждений всей совокупности взаимодействующих частиц. Разнообразие типов квазичастиц велико, а их характер зависит от атомной структуры среды и взаимодействия между частицами. В одной и той же среде может существовать несколько типов квазичастиц. Квазичастицы, как и обычные частицы, могут иметь собственный механический момент — спин. В соответствии с его величиной их можно разделить на бозоны и фермионы. Между квазичастицами и обычными элементарными частицами существует ряд сходств и отличий.

Как и обычная частица, квазичастица может быть локализована в пространстве. Для квази-

частиц с квадратичным законом дисперсии можно ввести понятие эффективной массы. Поведение такой квазичастицы будет очень похоже на поведение обычных частиц. Но в отличие от обычных частиц, которые существуют сами по себе, в том числе и в вакууме, квазичастицы не могут существовать вне среды, колебаниями которой они и являются.

Применение полученных новых знаний на практике привело к возникновению новых научных дисциплин, которые легли в основу перспективных технологий.

Так использование спина электрона вместо его заряда привело к развитию нового направления – спинтроники, мемристорной электроники.

Аналогично использование плазмонов стимулировало развитие плазмоники, поляритоны стали основной движущей силой в развитии поляритоники, соответственно поляроны в направлении политроники.

Многоликий солитон используется в направлении развития нового направления нанотехнологии – солитоника.

Особый интерес представляет квантовая информация как суперпозиция двух или более энергетических состояний атома, которые поддаются регистрации. Уже создан интегрированный чип, построенный на одном искусственном атоме с волоконным выходом, с помощью которого можно передать квантовую информацию с атома на фотон. Такое устройство интегрирует функции ячейки памяти и однофотонного транзистора. Такие приборы, построенные на нескольких атомах, могут стать основой для создания новых технологий. Для управления потоками оптической информации в плазменных процессорах и компьютерах можно использовать термо-, электро- и магнитооптические эффекты, на которых основаны элементы и компоненты наноразмерных устройств. В качестве плазменных волноводов в устройствах могут использоваться полосковые линии. По ним можно транспортировать не только плазмоны, как носители информационного оптического сигнала, но и управляющие электрические токи низкой частоты.

Подводя итог изложенному прямо и коротко скажем: нанотехнологии сулят развитие нанoeлектроники по многим перспективным направлениям.

Список литературы

1. Щука А.А. *Нанoeлектроника: Учебник для бакалавриата и магистратуры. Под общ. ред. академика РАН А.С. Сигова.* - М.; Юрайт, 2017

Сборник научных трудов
Международной научно-технической конференции
«Информатика и технологии. Инновационные технологии в
промышленности и информатике»

Москва, 2017