

Материалы секции

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ФИЗИКИ**



22-27 апреля 2018
НОВОСИБИРСК

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МНСК-2018

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Материалы
56-й Международной научной студенческой конференции

22–27 апреля 2018 г.

Новосибирск
2018

УДК 53
ББК 22.3+32
И 72

Научный руководитель секции — д-р техн. наук А. М. Батраков

Председатель секции — канд. техн. наук Г. А. Фатькин

Ответственный секретарь секции — Е. С. Котов

Экспертный совет секции:
канд. техн. наук Е. В. Козырев
канд. техн. наук К. Ф. Лысаков
доцент М. Ю. Шадрин
канд. физ.-мат. наук И. Б. Логашенко

И 72 Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 56-й Междунар. науч. студ. конф. 22–27 апреля 2018 г. / Новосиб. гос. ун-т. — Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2018. — 42 с.

ISBN 978-5-4437-0748-8

УДК 53
ББК 22.3+32

ISBN 978-5-4437-0748-8

© СО РАН, 2018
© Новосибирский государственный университет, 2018

NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY
SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ISSC-2018

INSTRUMENTATION IN EXPERIMENTAL PHYSICS

Proceedings
of the 56th International Students Scientific Conference

April, 22–27, 2018

Novosibirsk
2018

УДК 53
ББК 22.3+32
И 72

Section scientific supervisor — Dr. Tekhn. A. M. Batrakov

Section head — Cand. Tekhn. G. A Fatkin

Section responsible secretary — E. S. Kotov

Section scientific committee:
Cand. Tekhn. E. V. Kozyrev
Cand. Tekhn. K. F. Lysakov
Assoc. Prof. M. Yu. Shadrin
Cand. Phys.-Math. I. B. Logashenko

И 72 Instrumentation in experimental physics : Proceedings of the 56th International Students Scientific Conference. April, 22–27, 2018 / Novosibirsk State University. — Novosibirsk : IPC NSU, 2018. — 42 p.

ISBN 978-5-4437-0748-8

УДК 53
ББК 22.3+32

ISBN 978-5-4437-0748-8

© SB RAS, 2018
© Novosibirsk State University, 2018

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

УДК 681.518.5

Программные и аппаратные средства мониторинга локального контроллера ЛИУ-20

А. О. Балуев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

В ИЯФ СО РАН разработан линейный индукционный ускоритель, измерение и управление элементами которого производится локальными контроллерами на основе измерительной электроники, размещенной в VME-крейтах, распределенных вдоль ускоряющей структуры общей протяженностью порядка 200 метров.

К качеству и стабильности питания локальных контроллеров предъявляются высокие требования, для отслеживания выполнения которых была разработана распределенная система мониторинга питания [1], причем необходимо было учитывать мощные импульсные электромагнитные помехи, возникающие во время работы ускорителя.

Мониторинг питания выполняется устройствами, размещающимися внутри VME-крейта, и соединенными в сеть общей шиной CAN с резервным питанием для оперативного оповещения оператора в случае отключения локального питания крейта.

Во время тестовой эксплуатации системы был зафиксирован ряд сбоев: электромагнитные помехи приводили к переключению триггера управления блоком питания; при первом подключении в сеть крейт включался без команды; сбивалась внешняя индикация, подключаемая к плате длинным шлейфом.

Для устранения выявленных неисправностей и повышения электромагнитной совместимости системы, были пересмотрены аппаратные [2] и программные решения. Добавлены слои для земли и питания, в схему включены дополнительные фильтры, развязывающие конденсаторы, и изменена трассировка платы. Программные средства позволяют оповещать оператора о произошедшем сбое и накапливать статистику работы устройств. В настоящее время система обеспечивает непрерывное функционирование восьми VME-крейтов.

1. Мат-лы 55-й МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики. Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. 55 с.

2. Кечиев Л. Н. Проектирование системы распределения питания печатных узлов электронной аппаратуры. М.: Грифон, 2016. 400 с.

Научный руководитель — канд. техн. наук Г. А. Фатькин

Разработка системы управления быстрыми компонентами электронно-лучевой установки

А. В. Герасёв

Новосибирский государственный университет

Современные электронно-лучевые установки состоят из большого числа различных подсистем, которыми необходимо управлять и состояние которых необходимо контролировать. Их можно условно разделить на быстрые и медленные. Медленные подсистемы допускают время реакции порядка нескольких секунд; это может быть реализовано с использованием обычного ПК. Быстрые подсистемы, включающие в себя управление электронным пучком и перемещение механических подвижек, требуют времени отклика порядка сотен микросекунд в сочетании с гибкой логикой управления.

В рамках данной работы требуется реализовать систему управления быстрыми подсистемами малой электронно-лучевой установки в ИЯФ СО РАН. Специфика работы заключается в том, что установка является экспериментальной, поэтому одним из требований к системе управления является простота дальнейшего внесения модификаций в логику управления вместе с возможностью подключения нового оборудования.

В качестве основного элемента системы управления было решено использовать микрокомпьютер Raspberry Pi. Этот одноплатный компьютер имеет большое количество различных интерфейсов и аппаратных компонент и в то же время работает под управлением ОС Linux, что значительно упрощает и ускоряет разработку программного обеспечения. Платформа Raspberry Pi открыта, широко распространена, имеет большое сообщество разработчиков и очень много готового ПО. Таким образом, соответствие требованиям вместе с легкостью разработки делают Raspberry Pi наиболее подходящей для данной задачи.

В рамках данной работы были рассмотрены варианты различных устройств и сделан выбор в пользу Raspberry Pi, изучена архитектура данной платформы. Была налажена работа с CAN-контроллером для управления электронным пучком. Была реализована библиотека для контроля подвижек с использованием аппаратных особенностей платформы, разработан программный интерфейс системы для удаленного управления. Работа системы была протестирована на установке.

Научные руководители — П. Б. Чеблаков,
канд. техн. наук Д. Ю. Болховитянов

Настройка режимов циркуляции пучка и генерации излучения ЛСЭ

В. Губайдулин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

Новосибирский лазер на свободных электронах (ЛСЭ) — мощнейший источник терагерцового излучения в мире. Важной задачей является автоматизация настройки ЛСЭ на параметры необходимые для проведения экспериментов.

Целью данной работы является разработка и применение программного обеспечения для корректировки режима циркуляции электронного пучка и автоматизации перестройки длины волны излучения на новосибирском Лазере на Свободных Электронах (ЛСЭ).

В данной работе было разработано высокоуровневое (клиентское) программное обеспечение с использованием протокола удаленного управления Channel Access из состава EPICS. Первая часть разработанного ПО производит подстройку режима магнитной системы для получения максимального среднего тока пучка.

Вторая часть реализует алгоритм перестройки длины волны излучения, максимизируя при этом мощность излучения ЛСЭ и величину тока пучка на поглотителе. Длина волны излучения ЛСЭ зависит от величины тока на ондуляторе. После шагового изменения тока на ондуляторе программой осуществляется настройка группирователя и его коррекционной обмотки на максимум мощности излучения. Затем, последовательно настраивая элементы магнитной системы, расположенные после ондулятора, ищется максимум тока пучка на поглотителе. Произведя нужное количество шагов по току ондулятора, программа выставляет требуемую длину волны излучения.

В настоящее время проходит внедрение разработанного программного обеспечения в работу ЛСЭ.

Научный руководитель — канд. техн. наук С. С. Середняков

Система отображения данных мониторинга детектора КМД-3

Д. С. Жадан

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН проводятся эксперименты на электрон-позитронном комплексе ВЭПП-2000. На накопителе установлены детекторы элементарных частиц КМД-3 и СНД, каждый из которых представляет собой сложную экспериментальную установку. КМД-3 — это универсальный криогенный магнитный детектор, имеющий сотни каналов контроля и измерительных датчиков, за показаниями которых должен следить дежурный. Для удобства работы исследователям требуется система мониторинга состояния детектора. Одно из решений — пользовательский веб-интерфейс, который не зависит от программного обеспечения измерительной аппаратуры, а также предоставляет унифицированный доступ к панели оператора через веб-браузер.

Интерфейс оператора системы медленного контроля играет ключевую роль при проведении экспериментов с детектором КМД-3. Данная работа посвящена разработке системы отображения данных мониторинга детектора КМД-3 и введению ее в эксплуатацию. Система представляет собой веб-сайт, где серверная часть реализуется на языке программирования Python с использованием фреймворка Django, что также обеспечивает модульную архитектуру сайта. При разработке клиентской стороны используются такие инструменты, как Bootstrap и JavaScript библиотека jQuery.

В настоящий момент разработанные модули отображения данных медленного контроля интегрированы в веб-интерфейс управления детектора КМД-3. Ведется разработка модуля «конструктора» для создания пользователем произвольного набора графиков медленного контроля. Ведется оптимизация и развитие модуля хранения данных медленного контроля для эффективного доступа и быстрого отображения значений датчиков за большой промежуток времени.

Научные руководители — А. В. Анисёнков,
канд. физ.-мат. наук И. Б. Логашенко

Развитие системы сбора данных детектора КМД-3

А. С. Зубакин

Новосибирский государственный университет

КМД-3 — детектор общего назначения, расположенный в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН. Детектор оснащен системой сбора данных (ССД), специально разработанной для проведения экспериментов. ССД решает целый ряд задач, таких как сбор и передача данных на последующую обработку, инициация начала или окончания измерений и другие. В рамках работы в ССД были реализованы две новые функции: автоматическая коррекция ошибок в передаваемых данных и централизованное управление триггером детектора.

В связи с особенностями работы электроники во время передачи данных с детектора на frontend-компьютеры могут происходить сбои, приводящие к порче данных. В среднем доля событий, в которых наблюдаются сбои, составляет около 3–13 %. Наличие ошибок контролируется с помощью CRC-16 сумм, передаваемых вместе с данными и пересчитываемыми на frontend-компьютерах. Для решения данной проблемы был реализован и внедрен в ПО ССД программный код, который методом прямого перебора производит коррекцию данных. Это позволило снизить долю событий со сбоями практически до 0. Код был оптимизирован с учетом распределения мест с наибольшей вероятностью появления ошибок.

Важной частью ССД является первичный триггер, принимающий решения о наличии интересного события в детекторе и запуске процесса оцифровки данных. Существуют две основных причины блокировки триггера: неготовность работы систем детектора (в частности, дрейфовой камеры) и переполнение входных буферов на frontend-компьютерах. В рамках работы реализован программный комплекс для централизованного управления триггером детектора, который принимает и объединяет запросы о блокировке триггера из разных источников. Разработан пользовательский интерфейс на основе web-технологий и внедрен в общий интерфейс ССД детектора.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доцент И. Б. Логашенко

Система управления лазерного поляриметра ВЭПП-4М

В. О. Ивакин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный технический университет

Эксперименты на ускорительном комплексе ВЭПП-4М и детекторе КЕДР требуют прецизионного измерения энергии пучков. На сегодняшний день самым точным методом измерений является метод резонансной деполяризации. В данный момент на ускорительном комплексе ВЭПП-4М используется метод, основанный на тушековском рассеянии. Его использование ограничено энергиями пучков до 2 ГэВ. Для калибровки более высоких энергий (эксперименты по измерению масс ипсилон-мезонов) можно использовать обратное комптоновское рассеяние. Циркулярно поляризованный свет, испытывая обратное рассеяние на поляризованном пучке электронов, имеет асимметрию в зависимости от направления циркулярности (левая, правая). Исчезновение асимметрии позволяет определить момент разрушения поляризации пучка деполяризатором. По частоте деполяризации оценивается энергия пучка.

На данный момент система лазерного поляриметра включает в себя лазер, ячейку Погкельса со специальным драйвером, оптическую часть, систему запуска, деполяризатор и детектор.

Цель данной работы — создание единой системы управления и сбора данных, которая предоставляет доступ ко всем частям системы, и с которой оператор может работать удаленно. Исходя из условий задачи, решено было сделать систему управления в виде веб-страницы. На странице оператору доступны данные о состоянии системы в текстовом и графическом виде (с возможностью обработки сигналов), а также кнопки управления системой. Сервер написан на языке Python с использованием библиотеки bokeh. Детектор подключен напрямую к рабочей станции, для взаимодействия между ним и сервером была создана прослойка C++/Python с помощью пакета SWIG. Сервер общается по сети с деполяризатором при помощи библиотеки BOOST.Asio. Для обработки данных используется пакет numpy.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук И. Б. Николаев

Разработка цифрового и аналого-цифрового модулей для системы CompactRIO

Д. А. Иванов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

В связи с модернизацией инжекционного комплекса для ВЭПП-5 и ВЭПП-2000 было решено привести систему управления к актуальному на сегодняшний день виду. В частности, принято решение об использовании современной системы CompactRIO, созданной для управления в режиме реального времени и зарекомендовавшей себя крайне надежной и удобной.

При работе над системой управления модулятором клистрона 5045, разработанной на базе системы CompactRIO, возникла потребность в нескольких модулях, способных выполнить различные задачи:

- система контроля блокировок — регистрация цифровых (логических) сигналов, таких как сигналы закрытия дверей, уровня воды, линий безопасности и различных внешних запретов;
- система управления источниками питания — несколько точных (16 бит) ЦАП и АЦП.

В результате было решено создать два модуля:

- цифровой модуль с 16 развязанными цифровыми входами;
- аналого-цифровой модуль с двухканальными 16-разрядными ЦАП и АЦП.

Цифровой модуль базируется на сдвиговых регистрах и в качестве гальванической развязки использует цифровые оптроны. Аналого-цифровой модуль основан на ПЛИС и использует ЦАП MAX5136 и АЦП ADS8328.

Научный руководитель — А. Н. Панов

Сетевой интерфейс для стенда по изучению сцинтилляционных кристаллов

А. С. Кашапов

Новосибирский государственный университет

Сцинтилляторы — вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения. Как правило, излучаемое количество фотонов для данного типа излучения приблизительно пропорционально поглощенной энергии, что позволяет получать энергетические спектры излучения. Сцинтилляционные детекторы ионизирующих излучений — основное применение сцинтилляторов.

В Институте ядерной физики СО РАН используют сцинтилляционные кристаллы в детекторах ионизирующего излучения. Перед тем как кристалл будет использован в установке, он должен пройти проверку качества. Именно поэтому Институт ядерной физики разрабатывает стенд на основе системы на кристалле Zynq-7000, на котором будет осуществляться проверка качества.

В данном стенде система на кристалле должна получить данные из нескольких фильтров частот, построить гистограммы амплитуд и в удобном графическом представлении отправить оператору. Также у данной системы имеется возможность настраивать временную развертку фильтров.

Наша цель — создать сетевой интерфейс для данного стенда. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) собрать собственный образ Petalinux (версия ОС Linux) для Zynq-7000, содержащий в себе необходимые файлы для работы сервера,
- 2) разработать прошивку для ПЛИС-части Zynq-7000,
- 3) реализовать серверную часть П/О стенда.

В докладе будет представлен стенд и решения, выбранные при разработке его аппаратно-программного обеспечения

Научный руководитель — канд. техн. наук В. В. Жуланов

Автоматизация экспериментальной установки для получения функционально-градиентного фильтрующего материала, состоящего из каркасных волокон субмиллиметрового диаметра и фильтрующих волокон субмикронного диаметра

К. В. Коновалов^{1,2}, А. С. Лебедев¹, И. А. Мик³

¹Новосибирский государственный университет,

²ООО «Тион Инжиниринг»,

³Новосибирский государственный технический университет

Улучшение качественных характеристик объемной фильтрации толстослойного волокнистого композитного материала на основе экструдированных волокон субмиллиметрового диаметра с внедрением волокон субмикронного диаметра, полученных путем электроформования требует параметризации во времени процессов экструзии и электроформования. Для реализации данной задачи была изготовлена экспериментальная установка, способная производить образцы фильтрующего материала с заданными фильтрующими характеристиками.

На основе микроконтроллера линейки STM32F3 и панели оператора разработан аппаратно-программный комплекс, управляющий исполнительными устройствами экспериментальной установки. Данный комплекс путем управления скоростями движения приемного устройства и величинами расходов материалов задает плотностью укладки каркасных и субмикронных фильтрующих волокон материала.

Для экспериментальной установки разработаны технологические режимы автоматического выращивания композитного материала с переменными по толщине материала параметрами.

Впервые получены образцы фильтрующего материала с переменной плотностью распределения субмикронных фильтрующих волокон по толщине материала. Испытания полученных образцов показали, что материалы с плотностью распределения субмикронных волокон возрастающей по направлению потока фильтруемого воздуха имеют больший ресурс фильтрации по сравнению с материалами в которых фильтрующие волокна распределены равномерно по толщине материала.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доцент В. Н. Горев

**Разработка программных средств для задач
аддитивного формообразования металлических изделий**

Е. А. Куприков

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

Применение аддитивных технологий в области формирования изделий из металла позволяет снизить временные затраты на технологическую подготовку производства, а также обеспечить возможность получения изделий, характеризующихся сложной геометрией, например, изделий с сетчатой структурой или изделий с внутренними каналами сложной формы.

Важным этапом в процессе формообразования металлического изделия (3D-печати) является подготовка трехмерной модели изделий к печати. Подготовка заключается в послойном разделении модели, определении стратегии формирования каждого слоя. Также выполняется формирование промежуточных опорных конструкций, позволяющих формировать объекты с наличием областей, не имеющих под собой основания (свисающих областей).

В лаборатории лазерной графики ИАиЭ СО РАН создан прототип устройства аддитивного формообразования изделий из металлических порошков методом послойного лазерного сплавления (SLM). Разработанный прототип позволяет формировать изделия с разрешением 0,003 мм, а толщина формируемого слоя находится в пределах 0,01–0,1 мм.

Для обеспечения возможности подготовки моделей металлических изделий к послойному формообразованию были разработаны следующие алгоритмы: алгоритм однонаправленного формирования слоев по заданной STL-модели, основанный на преобразовании полигональной сетки модели в структуру данных «крыльчатого» представления (winged-edge), которая предоставляет информацию о соседних гранях, что ускоряет процесс построения сечений; алгоритм определения свисающих областей, который основан на вычитании контура предыдущего слоя из текущего.

Работоспособность предложенных алгоритмов подтверждается результатами обработки трехмерных моделей изделий характеризующихся как сложной геометрической формой, так и большим количеством вершин.

Научный руководитель — канд. тех. наук В. П. Бессмельцев

Унификация алгоритмов управления подсистемами различных базовых станций управления МКА

А. А. Митрохин

Новосибирский государственный университет

На сегодняшний день в числе искусственных спутников Земли насчитывается около сотни функционирующих малых космических аппаратов (МКА), значительная часть которых выполнена в формате CubeSat. В проектах по запуску спутников формата CubeSat большую часть бюджета составляют затраты на постройку собственного приемо-передающего комплекса. К тому же из-за того, что такие космические аппараты располагаются на низких орбитах, время, на протяжении которого аппарат находится в зоне видимости единичной наземной станции, составляет не более 20 минут. В связи с этим возникает необходимость создания распределенного (облачного) центра управления полетами (ЦУП), который может быть использован для связи с запущенным спутником без построения собственной наземной станции, что значительно сократит расходы на разработку. На данный момент существует множество различных наземных базовых станций, например у организаций, имеющих собственные МКА, а также радиолюбительские станции.

Цель данной работы — разработка средства унификации алгоритмов работы приводов и приемо-передающих устройств различных наземных станций для упрощения добавления их в систему облачного ЦУП и их использования для осуществления сеансов связи с МКА. Основные этапы разработки: анализ протоколов управления несколькими популярными приемо-передающими устройствами и приводами антенн; разработка программного обеспечения для управления собственной наземной станцией и разработка самого средства унификации для наиболее популярной аппаратуры.

На данный момент определено оборудование, которое будет использоваться в собственной наземной станции, а также согласовано подключение первой антенны-партнера. В связи с этим в ближайшее время планируется изучить возможность интеграции данной антенны в систему.

Научный руководитель — В. Ю. Прокопьев

Разработка ПО для системы сбора данных электромагнитного калориметра детектора Belle II

М. А. Ремнев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

С середины марта 2018 г. начинаются эксперименты с детектором частиц Belle II на e^+e^- — коллайдере SuperKEKB. Проектная светимость коллайдера составляет $8 \cdot 10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, что в 40 раз превышает мировой рекорд светимости, достигнутый в эксперименте Belle.

Одной из основных подсистем детектора, служащей для регистрации фотонов, является электромагнитный калориметр (ECL) на основе кристаллов CsI(Tl). ECL состоит из 8736 сцинтиляционных счетчиков. Сигнал с каждого счетчика обрабатывается индивидуальным каналом электроники, включающим в себя предусилитель, усилитель-формирователь, АЦП и блок цифровой обработки сигнала. Алгоритм работы электроники ECL конфигурируется заданием порядка 60 000 параметров.

Чтобы оперативно задавать и менять такое большое число параметров, было разработано ПО с графическим интерфейсом пользователя, использующее средства Control System Studio и Python. Реализован функционал управления конфигурациями ECL на основе калибровочных параметров. Калибровочная информация, хранящаяся в базе данных в формате Root, вычитывается отдельным модулем, использующим REST API, преобразуются в стандартизованный формат Belle II и загружаются в конфигурационную базу данных (БД).

Для загрузки установленных параметров из БД в электронику разработан узел Network Shared Memory (NSM), интегрированный с Control System Studio. NSM-узел позволяет отслеживать состояние электроники в реальном времени и при необходимости осуществлять подстройку параметров без обращения к БД.

Также аналоговые сигналы с электроники ECL будут использоваться для измерения светимости коллайдера специальным блоком электроники — монитором светимости (LOM). В работе описана интеграция LOM в систему медленного контроля (разработан соответствующий NSM-узел). Описано ПО управления монитором светимости и вычитывания измеренных им параметров.

В результате данной работы был создан программный комплекс, отслеживающий состояние и управляющий процессом сбора данных с электромагнитного калориметра и монитора светимости.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук А. С. Кузьмин

Разработка баллистического обеспечения систем распределенного наземного комплекса управления малыми космическими аппаратами

Л. Д. Сеницына

Новосибирский государственный университет

В последнее десятилетие среди искусственных спутников Земли большое распространение получили сверхмалые космические аппараты (СмКА), в особенности выполненные в формате CubeSat. На начало 2017 года количество функционирующих СмКА превышает одну тысячу. Применение искусственных спутников Земли данного типа позволяет сократить расходы на разработку, изготовление и эксплуатацию в несколько десятков раз по сравнению с традиционными космическими аппаратами. Одной из самых актуальных задач, возникающих при летной эксплуатации СмКА, является обеспечение сеансов связи между спутником и наземной станцией. Так как большинство подобных аппаратов функционирует на низких орбитах, время пролета над единичной наземной станцией составляет не более 20 минут. Поэтому для получения максимального объема данных со спутника необходимо использование сети наземных станций управления. Решением данной задачи является разработка общедоступного распределенного (облачного) наземного комплекса управления.

Цель данной работы — разработка составной части программного комплекса для организации распределенного центра управления полетами. Это включает в себя три задачи: расчет ориентации антенны по ее географическим координатам и по TLE спутника; прогнозирование времени и длительности сеансов связи СмКА с отдельной наземной станцией; составление расписания сеансов связи СмКА с распределенной системой базовых станций.

В рамках данной работы было создано программное обеспечение, прогнозирующее ориентацию антенны и длительность сеанса связи с заданным спутником в конкретный момент времени. Его точность проанализирована. Для прогнозирования положения спутника в заданный момент времени используются математические модели SGP4 и SDP4. При расчете положения антенны в системе координат ECI используется модель Земли WGS 72. Для решения проблемы составления сеансов связи МКА с распределенной системой базовых станций были сформулированы условия и ограничения для эвристического алгоритма.

Научный руководитель — В. Ю. Прокопьев

Применение метода искусственных меток для измерения расхода топлива

Н. Н. Смолин

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

Дизельные двигатели являются основой энергетики различных транспортных систем. Они непрерывно совершенствуются — этого требуют ужесточающиеся нормы в экологии и надежности, а также экономические факторы. Чтобы двигатель соответствовал нормативным требованиям, необходимо контролировать количество топлива, поступающее в каждый его цилиндр. Отклонения от оптимального значения приводят к снижению экономичности, росту токсичности выбросов и сокращению ресурса двигателя.

Основной трудностью при создании топливного расходомера является высокая динамика импульсного характера впрыска топлива, приводящая к быстрой деградации прецизионных механических устройств, непригодности калориметрических и ультразвуковых методов. Применение оптических методов, основанных на эффектах Доплера и Физо — Френеля возможно, но является дорогостоящим.

В данной работе для измерения расхода топлива используется метод искусственных меток, реализованных на основе явления флуоресценции. Генерировать и детектировать метки предлагается оптически. Зная скорость перемещения метки и сечение трубопровода можно однозначно определить расход.

Для оценки метода в ходе работы был создан экспериментальный стенд, который позволяет имитировать движение среды, генерировать метки и регистрировать их перемещение. В качестве модельных флуоресцирующих сред, имеющих разное время высвечивания, используются несколько типов флуоресцентного лака. Для возбуждения меток используется лазерная указка.

Данные, полученные в результате выполнения работы, подтверждают предположение о пригодности данного метода для измерения импульсного расхода. Полученные результаты предполагается использовать для создания датчика расхода дизельного топлива, пригодного для промышленного применения.

Научные руководители — канд. техн. наук, доцент Л. В. Пахомова,
А. А. Рубан

**Разработка программно-аппаратного комплекса
для ультразвуковой диагностики двухфазных потоков
в оптически непрозрачной среде**

А. С. Стрельник

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

Актуальность развития бесконтактных средств диагностики двухфазных потоков в оптически непрозрачных средах обусловлена широким спектром нерешенных проблем в различных областях науки и техники. В числе этих проблем оптимизация параметров потока жидкометаллического теплоносителя в ядерных реакторах на быстрых нейтронах, контроль возникновения газовой составляющей вследствие аварийного режима работы тепловыделяющей сборки реактора, проведение модельных экспериментов для верификации кодов, моделирующих работу АЭС. Для решения этих проблем предложено использовать ультразвуковые (УЗ) методы, обладающие рядом преимуществ: высокая надежность, точность, локализация и др.

Цель работы — разработка программно-аппаратного комплекса, позволяющего измерять в реальном времени количественные характеристики оптически непрозрачного газожидкостного потока. В рамках работы решены следующие задачи: 1) предложена эффективная комбинация УЗ-методов для диагностики структурно-динамических характеристик двухфазного потока, 2) спроектирована аппаратная часть комплекса, 3) разработан алгоритм обработки УЗ-сигналов и реализовано ПО, 4) проведен цикл лабораторных испытаний комплекса. В результате решения этих задач был разработан лабораторный образец комплекса, использующий времяпролетный и доплеровский УЗ-методы и включающий в себя преобразователи с резонансной частотой 1 МГц. Программная часть комплекса состоит из цифрового смесителя для определения доплеровского сдвига частоты, модуля сбора данных с АЦП и модуля вывода. Был спроектирован экспериментальный стенд для получения количественных характеристик работы комплекса.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что разработанный комплекс позволяет детектировать всплывающие пузыри газа в жидкой среде, отслеживать их динамику и локализовать их в объеме от 5 до 50 см³. Полученные результаты демонстрируют работоспособность предложенных методов ультразвуковой диагностики двухфазных потоков в оптически непрозрачной среде.

Научный руководитель — д-р техн. наук С. В. Двойнишников

**Применение теории хаоса для обработки
мультиканальных экспериментальных данных,
полученных при исследовании физиологических систем человека**

А. В. Шепелин

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск, Новосибирский государственный университет

Поведение нелинейных динамических систем не всегда удается удовлетворительно определить и интерпретировать с помощью классических моделей. Для описания некоторых из них, подверженных явлению детерминированного хаоса, был разработан специальный аналитический аппарат, связывающий математику и физику — теория хаоса [1]. Ранее с помощью матричного тепловидения нами были получены экспериментальные данные, характеризующие функционирование терморегуляторной и дыхательной систем. Их анализ проводился с применением концепции обратной связи [2].

В настоящей работе в качестве хаотической системы рассматривалась совокупность дыхательной, терморегуляторной и сердечно-сосудистой систем человека. Динамика дыхания определялась оригинальным тепловизионным методом сорбционной индикации SEIRT. По результатам синхронных измерений, реализованных с использованием разных физических принципов (тепловидение, адсорбция / десорбция, акустика и др.), построено множество характеристических траекторий в N-мерном фазовом пространстве.

С применением теории хаоса исследована чувствительность рассмотренных живых систем (организм человека) к варьируемым начальным условиям в режиме внешних интервентных физических воздействий. Предложена интерпретация полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-08-00956).

1. *Кроновер Р. М.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.

2. *Шепелин А. В., Вайнер Б. Г.* Исследование обратной связи в системе «организм человека — внешний нагреватель» методом инфракрасной термографии высокого разрешения // Мат-лы 55-й МНСК. 17–20 апреля 2017 г.: Физические методы в естественных науках. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т. 2017. С. 90.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук Б. Г. Вайнер

**Интеллектуальный анализ данных
ускорительного комплекса ВЭПП-2000**

О. С. Шубина

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

В 2007 году в Институте ядерной физики СО РАН было завершено создание электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-2000 (встречные электрон-позитронные пучки). Данный комплекс рассчитан на энергию 2 ГэВ в системе центра масс (СЦМ), имеет два места встречи с детекторами «Сферический нейтральный детектор» (СНД) и «Криогенный магнитный детектор-3» (КМД-3), а проектная светимость составляет $10^{32} \frac{1}{\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}}$.

Ускорительный комплекс ВЭПП-2000 состоит из различных подсистем, от функционирования которых зависит работоспособность всего комплекса. Неисправность одной из этих подсистем может привести не только к некорректной работе комплекса, но и также к его простоя на несколько часов или даже дней. Таким образом, возникает потребность в создании программного обеспечения, которое на основе анализа данных будет предупреждать о возможных неисправностях. Для выполнения поставленной задачи, на основе проведенных исследований существующих способов решения данной проблемы, было разработано программное обеспечение, состоящее из трех модулей. Первый модуль является ядром программного обеспечения и осуществляет автоматическую проверку соответствия, данных, полученных с ускорительного комплекса, и правил, описывающих корректную работу подсистем. Второй модуль представляет собой пользовательский веб-интерфейс, который отображает в удобном виде информацию о состоянии комплекса. Третий модуль выступает в качестве посредника между первым и вторым: он обрабатывает сообщения, поступающие в очередь сообщений, и перенаправляет их всем подписанным клиентам через веб сокет.

В данный момент запущена тестовая версия программного обеспечения, функционирующая на пультовой ВЭПП-2000.

Научный руководитель — П. Ю. Шатунов

Создание электроуправляемой системы подачи газа для физико-химических и биомедицинских исследований

Э. А. Эминов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск, Новосибирский государственный университет

Работа посвящена созданию системы программируемого электрорегулируемого напуска и сброса воздуха или других неагрессивных газов, заполняющих газоприемник (в частности манжету медицинского тонометра), для проведения физико-химических и биомедицинских экспериментов.

Задачами являлись обеспечение плавного контролируемого увеличения и снижения давления газа, регулировка скорости его подачи, поддержание определенного давления в газоприемнике и возможность программируемого выполнения всех этих операций в определенной последовательности с заданными временными характеристиками.

Для реализации системы нами были использованы: резервуар объемом 100 л с газом, находящимся под базовым избыточным давлением, набор электромагнитных клапанов и электромагнитных реле, электронный тензومترический датчик давления, программируемый микроконтроллер. Особенностью созданного экспериментального оборудования является воспроизводимое обеспечение параметров давления газовой смеси в широком диапазоне: от 0 до 30 кПа. Пользовательский интерфейс позволяет при этом контролировать состояние системы, программно задавать давление в резервуаре, манжете, скорость заполнения манжеты и сброса воздуха из нее, а также время каждого этапа эксперимента.

Практическая значимость выполненной работы состоит в том, что она обеспечивает получение более точных данных в физических и биомедицинских исследованиях, в частности, при изучении реакции организма на внешние воздействия. Такими воздействиями могут быть принудительная окклюзия (пережатие) артерий [1], гипоксия, гипероксия, гиперкапния и пр. Также результаты работы дают возможность проводить прецизионные физико-химические исследования, связанные, в частности, с изучением адсорбционно-десорбционных и каталитических процессов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-08-00956).

1. *Vainer B. G., Morozov V. V.* Infrared thermography-based biophotonics: Integrated diagnostic technique for systemic reaction monitoring // *Physics Procedia*, 2017. V. 86. P. 81–85.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. Б. Г. Вайнер

Разработка сетевого интерфейса для рентгеновского детектора DIMEX-4Si

А. Е. Юдников

Новосибирский государственный университет

Изучение строения вещества началось много лет назад и активно продолжается и по сей день. Данная научная работа связана с экспериментами по изучению быстро протекающих процессов, которые проводятся в Институте ядерной физики более десяти лет и позволяют изучать свойства материалов под воздействием экстремально высоких давлений и температур. Используемое для этих целей синхротронное излучение будет регистрироваться разрабатываемым в настоящее время рентгеновским детектором DIMEX-4Si.

Аппаратной платформой будущего детектора является система на кристалле Zynq-7000. В области программируемой логики расположен модуль детектора, а ЦПУ-часть чипа позволяет установить туда специальным образом сконфигурированную сборку дистрибутива Petalinux.

Главной целью данной работы является автоматизация эксперимента, а также предоставление возможностей для наглядной и информативной демонстрации полученных данных. Для достижения этой цели был разработан сетевой интерфейс работы с детектором DIMEX-4Si, предоставляющий широкие возможности для его настройки и большой функционал для визуализации и обработки данных. Разработанное программное обеспечение представляет собой приложение, реализующее функционал веб-сервера и взаимодействующее с модулем детектора, расположенным в области программируемой логики.

Ожидается, что ученые и инженеры, которые будут работать с данным детектором, смогут настраивать его параметры и получать данные в требуемой форме при помощи простого и удобного в использовании веб-интерфейса.

В своём докладе я представлю изготавливаемый детектор и выбранные решения при разработке его аппаратно-программного обеспечения.

Научный руководитель — канд. техн. наук В. В. Жуланов

РАДИОФИЗИКА И УСКОРИТЕЛИ

УДК 621.384.63

Исследование продольного распределения плотности частиц накопителя-охладителя Инжекционного Комплекса ВЭПП-5 с резонатором первой гармоники

В. В. Балакин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

Инжекционный комплекс ВЭПП-5 снабжает электронными и позитронными пучками коллайдеры ИЯФ СО РАН: ВЭПП-2000 и ВЭПП-4М. С целью увеличения ширины сепаратрисы накопителя-охладителя 700 МГц резонатор 64 гармоники был заменен на 10,97 МГц 1 гармоники частоты обращения. Это позволило увеличить общую производительность инжекционного комплекса, но теперь требуется более детальное изучение процесса инжекции частиц в кольцо накопителя-охладителя (НО) с новым резонатором, а также процесса накопления в этом кольце пучков частиц большой интенсивности.

Первым этапом работы было измерение процесса захвата пучка в кольцо накопителя-охладителя с помощью стрик-камеры. Изучен процесс однократного влета многосгусткового пучка из линейного ускорителя в кольцо НО, процессы фазовых колебаний и затухания пучка к равновесному состоянию с длиной 15 см. Помимо этого, стрик-камера использовалась для измерения зависимости длины пучка от величины тока пучка при рабочем напряжении ВЧ-резонатора в 9 кВ, и зависимости длины пучка от напряжения ВЧ-резонатора при токе пучка в 10 мА.

Научные руководители — канд. физ.-мат. наук Д. Е. Беркаев, Ф. А. Еманов

**Разработка регулируемого высоковольтного источника напряжения
для питания магнита развертки
электронного пучка ускорителя ИЛУ-8**

В. В. Барабанов
Новосибирский государственный университет

Импульсные линейные ускорители (ИЛУ) разрабатываются и поставляются заказчикам Институтом ядерной физики СО РАН начиная с 1970 г. Они находят применение как в исследовательских, так и в промышленных радиационных установках в России и за рубежом.

Для корректной работы магнита развертки выпускного устройства ускорителя ИЛУ-8 требуется высоковольтный источник напряжения, работающий в условиях отклонения сетевого напряжения в некоторых пределах, помех и импульсных падений напряжения, связанных с особенностями работы самого ускорителя.

До модернизации питание отклоняющих магнитов осуществлялось от дополнительной обмотки импульсного трансформатора модулятора. Однако с течением времени лампа ВЧ-генератора неизбежно деградирует, для получения необходимой энергии электронов необходимо было увеличивать напряжение на первичной обмотке импульсного трансформатора модулятора. Это приводило к изменению напряжения на дополнительной обмотке, питающей отклоняющие магниты, в результате чего изменялось воздействие на пучок электронов.

Использование отдельного блока питания решает данную проблему. Он представляет из себя источник, заряжающий конденсатор до заданного напряжения за короткий промежуток времени. Доступные на рынке модули зарядки конденсатора обладают избыточной мощностью, занимают больше места, их цена высока.

Данная работа посвящена разработке источника, дозаряжающего питающий магниты развертки конденсатор до напряжения 100–200 В за время около 10 мс.

Источник реализован по схеме обратного преобразователя, управляется автоматикой ускорителя и имеет встроенные системы защиты.

Научный руководитель — А. Ю. Власов

Имитационная модель системы контроля энергетических параметров суперконденсаторов

Р. С. Бекпаев

Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время все большее применение находят суперконденсаторы. Суперконденсатор (СК) — конденсатор двойного электрического слоя, который имеет способность накапливать большое количество энергии по отношению к его размеру, а также в сравнении с традиционным конденсатором. Данное свойство СК особенно интересно при создании гибридных транспортных средств в автомобильной промышленности, энергетике и других областях, в которых СК применяется в виде дополнительного накопителя энергии.

Целью работы является создание автоматизированной системы контроля паспортных параметров СК, таких как эффективная емкость и внутреннее сопротивление. Первый этап исследования сводится к разработке силовой схемы и выбору ее элементов.

Процесс экспериментального определения емкости сводится к фиксации количества заряда, переданного в СК за установленное время, поэтому необходимо создание источника стабилизированного тока для более точного определения емкости. В работе предлагается использование схемы понижающего DC/DC преобразователя с трансформаторной развязкой от питающей сети. Минимизация пульсации зарядного тока обеспечивается выбором сглаживающего индуктивного дросселя в цепи нагрузки и настройкой регулятора тока на основе PD-контроллера.

В среде имитационного моделирования MatLAB было проведено сравнение разработанной системы с системой на основе идеального источника тока и показано, что синтезированный регулятор тока обеспечивает погрешность измерения на уровне 1 % относительно результатов, полученных при использовании идеального источника тока. Также на модели проверен алгоритм определения внутреннего сопротивления СК на основе анализа мгновенного напряжения и тока заряда.

Дальнейшая работа направлена на выбор силовых элементов схемы стенда, выбор и написание программы для микроконтроллера (регулятор тока), а также выбор технических средств нижнего и среднего уровня для автоматизации испытаний СК.

Научный руководитель — канд. техн. наук, доцент Е. А. Спиридонов

Исследование динамики поперечного профиля пучка 3-й очереди Новосибирского лазера на свободных электронах

В. М. Борин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

Третья очередь Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ) представляет собой четырехоборотный ускоритель-рекуператор, на трех дорожках которого установлены ондуляторы для получения когерентного излучения с разными длинами волн. Энергия пучка электронов на третьей очереди ЛСЭ равна $E \approx 42$ МэВ, частота инжекции достигает 3,75 МГц, заряд в одном банче составляет 1 нанокulon. При работе третьей очереди ЛСЭ в зале ускорителя создается большой радиационный фон, что предъявляет жесткие требования к системе диагностики пучка.

Для регистрации поперечного профиля пучка на третьей очереди ЛСЭ использовалось синхротронное излучение (СИ) из поворотного магнита с радиусом кривизны $R = 0,65$ м. Магнит расположен после ондулятора ЛСЭ, дисперсионная функция в магните максимальна в точке излучения СИ. Интенсивность СИ в оптическом диапазоне достаточна для уверенной регистрации поперечного профиля пучка.

При реализации системы диагностики поперечного профиля пучка приходилось учитывать большую угловую расходимость синхротронного излучения. Из-за этого достаточно трудно вывести СИ за пределы экспериментального зала ЛСЭ без существенных потерь интенсивности. Установка регистрирующей ПЗС-камеры в экспериментальном зале практически невозможна из-за воздействия на нее наведенной радиоактивности, выводящей камеру из строя в течение недели.

Нами была применена цифровая камера на основе матрицы с инжекцией заряда (CID), слабо чувствительной к воздействию радиации. Система оптического наблюдения профиля пучка была спроектирована, изготовлена и смонтирована в зале ЛСЭ. Прделано моделирование аппаратной функции всего оптического тракта регистрации СИ и калибровка системы регистрации. Программное обеспечение, поставляемое с камерой CID, было адаптировано к системе управления ЛСЭ. Проведены эксперименты по изучению влияния лазерной генерации на поперечный профиль пучка в ЛСЭ. Новая диагностика применяется при настройке рабочих режимов ускорителя.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук О. И. Мешков

Коммутатор питания магнитных элементов канала транспортировки пучка из Бустера в Нуклотрон ускорительного комплекса NICA

Д. С. Винник

Новосибирский государственный университет

Ускорительный комплекс NICA, строящийся на базе Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна), включает в себя коллайдер протонов и тяжелых ионов, источники заряженных частиц и два последовательных ускорительных кольца: Бустерный синхротрон и Нуклотрон. В рамках данного проекта Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск) разрабатывает систему питания магнитных элементов для перевода пучка заряженных частиц из Бустера в Нуклотрон. Импульсное питание системы базируется на релаксационном разряде емкостного накопителя источников питания в магниты.

Предложен проект коммутатора разряда накопителя в магнит с возвратом накопленной в нем электромагнитной энергии. Для увеличения срока эксплуатации накопителя используется мостовая схема включения на тиристорах, управляемых двухканальными драйверами. Максимальное напряжение накопителя 2кВ, емкость 1500мкФ. Параметры выходного импульса: амплитуда тока 500А, частота не более 250МГц.

Смоделированы переходные процессы коммутатора в системе, проведена сборка модуля коммутатора, проводятся тесты по настройке модуля на эквивалентной нагрузке.

Научные руководители — Ш. Р. Сингатулин, А. А. Крылов

Оптимизация параметров инжекции электронного сгустка в эксперименте AWAKE с помощью локального увеличения плотности плазмы

И. Ю. Каргаполов, М. А. Байструков, С. В. Рева
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

В настоящее время активно развиваются различные методы плазменного кильватерного ускорения. Одним из самых многообещающих является метод с использованием протонного драйвера. Он лежит в основе эксперимента AWAKE в CERN. В рамках этого эксперимента планируется инжекция короткого электронного сгустка в кильватерную волну для последующего ускорения до высоких энергий (порядка ГэВ). При захвате эмиттанса электронного сгустка теряет качество из-за больших поперечных полей кильватерной волны, которую генерирует самомодулирующийся протонный пучок.

В данной работе рассматривается возможное решение этой проблемы с помощью локального увеличения плотности плазмы в области инжекции. Характеристики получившегося в результате ускорения электронного сгустка главным образом зависят от параметров плазмы в области инжекции. Локальное увеличение плотности плазмы заставляет кильватерную волну совершать биения, в узлах которых амплитуда поперечного поля значительно уменьшается. При определенной плотности плазмы возможно поймать электроны в такой узел, после чего плотность плазмы снова упадет до номинальной и ускоряющие поля вырастут.

Для решения данной задачи необходима серия из большого количества численных моделирований с помощью программы Icode. Поэтому основной сложностью является долгое время выполнения одного расчета. Первоначально с помощью нескольких упрощенных промоделированных экспериментов найдена плотность плазмы, при которой поперечные поля в узлах биения наименьшие. Далее в работе произведен поиск наилучших параметров плазмы по критерию оптимальности, зависящему от эмиттанса, доли удержанных частиц, разброса энергии.

После оптимизации параметров плазмы сгусток электронов, промоделированный до конца ускоряющей трубы, имеет более высокое качество, нежели сгустки электронов в предыдущих оптимизированных экспериментах без скачка плотности плазмы.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, доцент К. В. Лотов

Рефракция электромагнитных волн в материалах с отрицательным показателем преломления

И. П. Кизько

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Отрицательная рефракция возникает при условии, что преломленная волна характеризуется противоположно направленными групповой и фазовой скоростями. Поскольку последняя определяется показателем преломления среды — $v = c/n$, то такая ситуация возможна лишь при $n < 0$. Теоретически показано, что $n < 0$ может быть в среде с отрицательными диэлектрической (ϵ) и магнитной (μ) проницаемостями. Такая ситуация возникает, если частота собственных продольных колебаний заряженных частиц (ω_p), обусловленных флуктуациями плотности заряда, больше, чем частота электромагнитной волны (ω_b).

Чтобы среда в определенном диапазоне частот имела $\epsilon < 0$ и $\mu < 0$ следует создать условия, при которых электроны будут двигаться противоположно силам, создаваемым электрическим и магнитным полями. Такое «неестественное» поведение электронов, а точнее создаваемых ими токов, возможно в вынужденных колебательных процессах. При воздействии электромагнитного поля на материал с $n < 0$ частотой ω_b , превышающей резонансную — ω_p , электроны будут двигаться с запаздыванием по фазе по отношению к электрической и магнитной силам со стороны волны. Описанный эффект наблюдается в разомкнутом кольце, которое представляет собой простейший колебательный контур с частотой собственных колебаний ω_0 . При помещении в переменное магнитное поле в кольце возникает круговой ток, создающий противоположно направленное магнитное поле, если $\omega_b > \omega_0$, что соответствует $\mu < 0$. Аналогичная ситуация возникает в решетке из параллельных проводящих стержней, в которых переменное электрическое поле при $\omega_b > \omega_0$ создает направленные вдоль них токи, что соответствует $\epsilon < 0$. Именно такие «кирпичики» используют для создания искусственных материалов с $n < 0$: в 2000 г. Д. Смит с коллегами сделали материал, продемонстрировавший отрицательный показатель преломления для СВЧ-излучения. В настоящей работе описаны как условия возникновения отрицательной рефракции в таких отсутствующих в природе материалах, так и принципы их сборки из упомянутых элементов-кирпичиков.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доцент Е. М. Пестряев

**Разработка магнитной системы
радиального активного магнитного подшипника**

М. А. Ковтун

Новосибирский государственный технический университет

Основной областью применения активных магнитных подшипников (АМП) является использование их в высокоскоростных преобразователях энергии — от небольших насосов до турбогенераторов и компрессоров мощностью несколько десятков МВт. Преимуществом АМП для данной области является возможность управления вибрациями за счет стабилизации положения ротора и исключения влияния статического и динамического дисбаланса ротора, демпфирование упругих колебаний, получение четко определенных динамических характеристик. Также важными особенностями, которые были подтверждены практическими исследованиями, являются возможность обеспечения дистанционного контроля и диагностики, низкие затраты на техническое обслуживание, обусловленные отсутствием смазочного материала; это делает возможным использование АМП в местах с чистым производством. Исходя из сказанного, можно смело заявить, что АМП является перспективным и обоснованным выбором в области электромеханических систем.

1. *Журавлёв Ю. Н.* Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение. СПб.: Олитехника, 2003. 206 с.

Научный руководитель — канд. техн. наук, доцент Д. М. Топорков

**Исследование однородности магнитного поля экспериментального
стенда для отработки системы управления ориентацией
сверхмалого космического аппарата**

А. Ю. Колесникова

Новосибирский государственный университет

В Новосибирском государственном университете ведутся работы по созданию сверхмалого космического аппарата (СмКА), совместимого со стандартом CubeSat формата 3U. Одним из элементов разрабатываемого СмКА является система ориентации на базе магнитных управляющих устройств. Принцип работы магнитных систем управления ориентацией спутника основан на взаимодействии собственного магнитного момента спутника с внешним магнитным полем Земли. Разрабатываемая система ориентации имеет ряд требований по точности, габаритам, массе и потребляемой мощности.

В докладе представлены результаты разработки магнитных исполнительных органов системы управления ориентацией СмКА. На основании выполненных расчетов, с учетом габаритов СмКА и требований по потребляемой мощности, была разработана электромагнитная катушка с магнитным моментом $0,2 \text{ A}\cdot\text{m}^2$, достаточным для вращения спутника формата 3U в магнитном поле Земли.

Для отладки системы ориентации СмКА важной задачей является создание экспериментальной установки для генерации однородного магнитного поля с произвольным направлением вектора магнитной индукции. Область однородности поля с заданной точностью в стенде должна быть не меньше размеров СмКА. В докладе представлены результаты исследований однородности магнитного поля для нескольких конфигураций геометрии экспериментальной установки. Проведено исследование для катушек Гельмгольца, включающее моделирование, программный расчет и измерение реальной величины магнитного поля. Также представлены результаты расчетов экспериментального стенда, состоящего из трех пар квадратных катушек Фанселау, генерирующих однородное магнитное поле с произвольным направлением вектора магнитной индукции. Для оптимизации геометрии установки была написана программа, позволяющая определить степень однородности магнитного поля при заданных характеристиках системы, состоящей из трех пар произвольных квадратных катушек.

Научный руководитель — А. В. Пелемешко

Исследование возбуждения волн миллиметрового диапазона

М. В. Мальцева

Новосибирский государственный университет

Целью работы является исследование возбуждения электромагнитных волн миллиметрового диапазона пучками электронов.

Определены геометрические размеры резонаторов, при которых могут возбуждаться волны необходимой длины. Проведено моделирование возбуждения полей пучками с различными значениями заряда и длительности, показана независимость отдельных резонаторов по электромагнитному полю.

Проведен анализ поперечной динамики пучка с учетом влияния внешних полей, сил пространственного заряда, а также эмиттанса пучка. Показано, что при определенном соотношении параметров пучка и внешнего магнитного поля возможно получение пучка постоянного радиуса на всей рассматриваемой длине. Построены траектории огибающей пучка при произвольных начальных условиях (радиус пучка и угол между направлением движения крайней частицы и осью пучка).

При начале движения пучка на некотором расстоянии от области магнитного поля было показано, что при соответствующем выборе начальных условий пучок может обладать постоянным радиусом на всей рассматриваемой длине в области постоянного аксиально-симметричного магнитного поля. Рассмотрены траектории в случае малых отклонений от этих начальных условий, определен колебательный характер траектории огибающей пучка. Создание определенных начальных условий возможно при помощи тонкой соленоидальной линзы. С учетом энергии пучка определены параметры линзы: фокусное расстояние, размеры (длина, внутренний и внешний радиусы соленоида), магнитное поле.

Структура из резонаторных ячеек спроектирована и отдана на изготовление. В дальнейшем планируется изучение изготовленных образцов. Также планируется изготовление фокусирующих элементов на постоянных магнитах.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. Е. Левичев

Методы коррекции серии измерений терагерцовых импульсов

Ф. А. Минаков

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

Для исследования полупроводников, нелинейных кристаллов и других материалов в терагерцовом диапазоне частот (0,1–10 ТГц) в ИАиЭ СО РАН создана система широкополосной импульсной терагерцовой (ТГц) спектроскопии. В ней излучение фемтосекундного лазера разделяется на два канала: генерации и детектирования терагерцовых импульсов. Их временная форма измеряется путем перемещения оптической линии задержки, которая представляет собой линейный позиционер с угольным отражателем. Терагерцовый импульс может быть измерен в двух режимах: поточечном, когда позиционер перемещается дискретно с заданным шагом, и непрерывном.

В рамках работы показано, что люфт позиционера линии задержки приводит к систематическому временному сдвигу последовательно измеряемых ТГц-импульсов. Аналогичная проблема возникает в непрерывном режиме из-за отсутствия данных об абсолютном положении позиционера в момент измерения. В серии ТГц импульсов также наблюдается амплитудная нестабильность из-за долговременного дрейфа мощности лазера накачки.

Для уменьшения погрешностей при усреднении серии измерений предложено совмещать импульсы во временной области. Реализовано два метода для нахождения временного сдвига между двумя ТГц-импульсами: взаимнокорреляционная функция и метод золотого сечения. Также предложено два алгоритма приведения серии ТГц импульсов к эталонному, в качестве которого, как правило, выбирается первый. В первом алгоритме совмещение осуществляется на основе расчета временного «сдвига всех к эталонному». Во втором рассчитываются промежуточные значения временных сдвигов каждого из N импульсов с остальными, а итоговый сдвиг относительно эталонного импульса определяется на основе $N(N-1)/2$ сравнений. Для коррекции амплитудного дрейфа предложено использовать поправочный коэффициент, рассчитанный на основе средних значений абсолютной величины амплитуд ТГц-импульсов. Использование описанных выше методов позволило уменьшить относительную погрешность на порядок.

Научный руководитель — канд. техн. наук А. А. Мамрашев

**Исследование вихревых свойств терагерцовых пучков
с орбитальным угловым моментом дифракционными
и интерференционными методами**

Н. Д. Осинцева

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск,
Новосибирский государственный технический университет

На сегодняшний день генерация, исследование и применение пучков с орбитальным угловым моментом (ОУМ), или, кратко, «закрученных пучков», является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в современной оптике в разных диапазонах. Такие пучки могут быть применены в различных приложениях, таких как передача информации на большие расстояния, зондирование протяженных объектов и др.

Терагерцовые (ТГц) бесселевы пучки с топологическими зарядами ± 1 и ± 2 , сформированные с помощью кремниевых бинарных аксиконов впервые были получены на установке «Новосибирский лазер на свободных электронах» (НЛСЭ). Распределение интенсивности в поперечном сечении полученных пучков описывается функцией Бесселя первого рода первого порядка и первого рода второго порядка для закрученностей ± 1 и ± 2 , соответственно. В отличие от идеального бесселева пучка, бесконечного в направлении распространения, полученные пучки ограничены, и распределение интенсивности в поперечном сечении остается неизменным на протяжении определенного расстояния. В нашем случае длина такого «бездифракционного» распространения составляет $z \approx 250$ мм. Формирующий аксикон рассчитан на длину волны 141 мкм, однако при использовании пространственной фурье-фильтрации показана возможность получения пучков с ОУМ в диапазоне генерации НЛСЭ $5 \div 240$ мкм. Длина распространения обратно пропорционально зависит от длины волны, в то время как радиус пучка не меняется с изменением λ .

Для диагностики вихревых свойств пучков был использован ряд дифракционных и интерференционных методов. Для регистрации закрученности пучка применялись: метод дифракции на полуплоскости и классический опыт Юнга, с помощью интерференции закрученного бесселева и исходного гауссова пучков при соосном падении в интерферометре Маха — Цендера было изучено изменение фазы.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук Ю. Ю. Чопорова

Experimental study of tunnel Josephson junctions transport properties at subkelvin temperatures

V. B. Osokin

Novosibirsk state technical university

Many excellent experiments at very low temperatures have been carried out for the previous decades. Most of them need proper signal filtering in order not to skip some desired quantum effects. To be specified, decoherence in superconducting quantum bits (qubits) and Josephson junctions is usually caused by high-frequency noise [1] transmitted along electrical lines connecting a die directly to measurement setup at room temperature.

One of the best solution for effective signal filtering in a $^3\text{He}/^4\text{He}$ dilution refrigerator is a traditional RC filter with a 3 dB cutoff frequency $f_{3\text{dB}} = 1/(2\pi RC)$. Being compared to other types of filters, a one-stage RC filter shows not so prominent attenuation up to 8 GHz [2]. Nevertheless, it allows to design a multichannel device with Cinch-25 connectors in a relatively small volume, which is highly important while operating inside the BlueFors cryostat. Because the filter must be enclosed by non-magnetic metal in order to avoid any magnetic influence from the environment. Second, a metal housing must be enough thick to better thermal anchoring to a cryostat's plate [3].

During this research project, the die sample holder and the multichannel low-pass filter were designed, manufactured and characterized with an eye for Josephson junctions' voltage-current measurement at temperatures less than 20 mK. The second objective was triangular signal distortion determination.

1. *Thalman M., Pernau H.-F., Strunk C. et al.* Comparison of cryogenic low-pass filters // Review of scientific instruments 88, 114703 (2017).

2. *Bladh K., Gunnarsson D., Hürfeld E. et al.* Comparison of cryogenic filters for use in single electronics experiments // Rev. Sci. Instrum. 2003. Vol. 74, № 3, March.

3. *Ye Tian, Yu H. F., Deng H. et al.* A cryogen-free dilution refrigerator based Josephson qubit measurement system // Rev. of scientific instruments 83, 033907 (2012).

Supervisor — Cand. Eng. Sciences B. I. Ivanov

Изучение когерентных колебаний с помощью датчиков пооборотного положения пучка

Д. В. Рабусов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

Система диагностики в современных ускорителях заряженных частиц предназначена для того, чтобы при эксплуатации оптимизировать параметры ускорителя, а в случае его запуска и наладки — помочь обнаружить проблемные участки. Данная работа сфокусирована на применении пооборотных датчиков положения пучка (beam position monitor) для измерения параметров пучка и последующего анализа оптической модели ускорителя. Эти датчики в первую очередь используются для измерения равновесной орбиты пучка заряженных частиц в ускорителе и для измерения его среднего тока. В случае применения некоторых математических техник (FFT, NAFF и другие) можно установить с высокой точностью и дополнительные параметры пучка.

Известно, что в случае неидеальной синхронизации времени влета пучка или несогласованности энергии в бустере и коллайдере при инжекции пучка возникают синхротронные колебания. Большая амплитуда таких колебаний может привести к потерям инжектируемого или накопленного пучков, что снижает коэффициент перепуска, а как следствие — скорость накопления. При анализе низкочастотной части спектра истории бетатронных колебаний, записанных в момент инжекции, с помощью NAFF-анализа можно с высокой точностью определить частоту, начальную фазу и амплитуду синхротронных колебаний. Далее нетрудно вычислить ошибку по энергии и по времени влета пучка. Данная методика была применена на коллайдере ВЭПП-2000 для настройки и оптимизации инжекции электронных и позитронных пучков.

История когерентных бетатронных колебаний, записанная пооборотным датчиком положения пучка не содержит в себе информации о поперечном импульсе сгустка. Но если использовать как минимум два таких датчика и известную транспортную матрицу между датчиками, то можно восстановить вектор (x, p_x, y, p_y) в данном промежутке, что позволяет нам знать, как выглядит фазовый портрет пучка. Этот подход был реализован на накопителе ВЭПП-2000, а результаты сопоставлены с другими методиками: аналитический сигнал, восстановление импульса напрямую из спектра бетатронного движения с помощью NAFF-анализа.

Научный руководитель — Д. Б. Шварц

Получение и исследование необычных характеристик интерферометра Фабри-Перо (ИФП) на длине волны $\lambda = 2,14$ мм

Сан Лихуа

Новосибирский государственный университет

Во второй половине XX в. возник интерес к многолучевым интерферометрам, работающим «на отражение», а не «на пропускание», как обычный ИФП. Такие приборы были созданы для оптического диапазона [1]. Они могут использоваться, например, для измерения перемещений непрозрачных отражающих объектов, когда наблюдение «на просвет» невозможно и требуется получить «необращенную» интерференционную картину в отражении.

В современной радиофизике практически важное значение приобретает миллиметровый диапазон длин волн [2]. Поэтому получение «необращенной» интерференционной картины в миллиметровом диапазоне представляет определенный интерес и является актуальной задачей.

В данной работе измерялась (в зависимости от расстояния L между зеркалами) интенсивность излучения $I(L)$ — как проходящего через ИФП и отраженного от него, так и выходящего из пространства между зеркалами в боковом направлении (как из волновода). Зеркалами ИФП служили двухмерные металлические сетки с эффективным диаметром 40 мм и с периодом меньше λ . Такие изотропные сетки имеют высокий коэффициент отражения и малые потери [2]. Когда в качестве светоделителя для регистрации отраженного от ИФП-излучения использовалась полупрозрачная металлическая пленка, то зависимость $I(L)$ представляла собой чередующиеся широкие максимумы и узкие минимумы, т. е. интерференционная картина была «обращенной».

Во-первых, измерения показали, что с увеличением L растут потери из-за выхода излучения в боковом направлении. А во-вторых, после замены пленки поляризатором (на основе одномерной металлической сетки) узкие минимумы в зависимости $I(L)$ стали значительно глубже и вплотную к ним появились узкие максимумы вместо широких.

1. *Захаров М. И.* Специальные оптические резонаторы и многолучевые интерферометры. LAMBERT Academic Publishing, 2017. 116 с.

2. *Кузнецов С. А., Калинин П. В., Куркучиков В. В.* Квазиоптические изменения на миллиметровых волнах. Новосибирск: НГУ, 2017.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доцент М. И. Захаров

Измерение продольного распределения сгустка в накопителе БЭП

М. В. Тимошенко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский государственный университет

Важными параметрами пучка в электронном синхротроне являются длина сгустка и продольное распределение частиц в нем. В данной работе описано создание системы измерений продольного профиля сгустка на бустере электронов и позитронов БЭП комплекса ВЭПП-2000 в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера, основанное на использовании специализированного прибора — диссектора.

При умеренных интенсивностях циркулирующих сгустков продольное распределение заряда сгустка описывается распределением Гаусса с характерным параметром σ_s , который принято называть его длиной. Изменение по времени интенсивности синхротронного излучения (СИ), испускаемого пучком в направлении движения в поворотных магнитах, повторяет продольное распределение заряда в пучке. Периодичность движения сгустка в накопителе позволяет использовать диссектор для измерения продольного распределения заряда в сгустке стробоскопическим методом.

В данной работе изучался принцип работы диссектора на основе электронно-оптического преобразователя ЛИ-602. В ходе работы производилась настройка и калибровка, а также оценка его разрешающей способности. Проведены работы по расчету и оптимизации оптического пути от источника СИ (пучка) до фотокатода диссектора и последующая юстировка элементов оптического тракта.

Разработано программное обеспечение для сбора данных с измерительной системы (АЦП) с последующей обработкой, которая включает масштабирование, фильтрацию, аппроксимацию, извлечение требуемых параметров и графическое отображение. В работе также представлены результаты измерения длины пучка как функции основных параметров, таких как интенсивности и энергии пучка, а также напряжение на резонаторе. Произведено сравнение экспериментальных данных и теоретических расчетов.

Научные руководители — Ю. А. Роговский,
канд. физ.-мат. наук Д. Б. Шварц

Указатель авторов

Байструков М. А.	29	Лебедев А. С.	13
Балакин В. В.	24	Мальцева М. В.	33
Балуев А. О.	5	Мик И. А.	13
Барабанов В. В.	25	Минаков Ф. А.	34
Бекпаев Р. С.	26	Митрохин А. А.	15
Борин В. М.	27	Осинцева Н. Д.	35
Винник Д. С.	28	Рабусов Д. В.	37
Герасёв А. В.	6	Рева С. В.	29
Губайдулин В.	7	Ремнев М. А.	16
Жадан Д. С.	8	Сан Лихуа.	38
Зубакин А. С.	9	Синицына Л. Д.	17
Ивакин В. О.	10	Смолин Н. Н.	18
Иванов Д. А.	11	Стрельник А. С.	19
Каргаполов И. Ю.	29	Тимошенко М. В.	39
Кашапов А. С.	12	Шепелин А. В.	20
Кизько И. П.	30	Шубина О. С.	21
Ковтун М. А.	31	Эминов Э. А.	22
Колесникова А. Ю.	32	Юдников А. Е.	23
Коновалов К. В.	13	Osokin V. В.	36
Куприков Е. А.	14		

Оглавление

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Балуев А. О.	5
Герасёв А. В.	6
Губайдулин В.	7
Жадан Д. С.	8
Зубакин А. С.	9
Ивакин В. О.	10
Иванов Д. А.	11
Кашапов А. С.	12
Коновалов К. В., Лебедев А. С., Мик И. А.	13
Куприков Е. А.	14
Митрохин А. А.	15
Ремнев М. А.	16
Синицына Л. Д.	17
Смолин Н. Н.	18
Стрельник А. С.	19
Шепелин А. В.	20
Шубина О. С.	21
Эминов Э. А.	22
Юдников А. Е.	23

РАДИОФИЗИКА И УСКОРИТЕЛИ

Балакин В. В.	24
Барабанов В. В.	25
Бекпаев Р. С.	26
Борин В. М.	27
Винник Д. С.	28
Каргаполов И. Ю., Байструков М. А., Рева С. В.	29
Кизько И. П.	30
Ковтун М. А.	31
Колесникова А. Ю.	32
Мальцева М. В.	33
Минаков Ф. А.	34
Осинцева Н. Д.	35
Osokin V. V.	36
Рабусов Д. В.	37
Сан Лихуа.	38
Тимошенко М. В.	39

Научное издание

МНСК-2018

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Материалы
56-й Международной научной студенческой конференции

22–27 апреля 2018 г.

Корректор *Д. М. Валова*
Верстка *А. С. Терешкиной*
Обложка *Е. В. Неклюдовой*

Подписано в печать 20.04.2018 г.
Формат 60 × 84/16. Уч.-изд. л. 2,6. Усл. печ. л. 2,4.
Тираж 100 экз. Заказ № 90.
Издательско-полиграфический центр НГУ.
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2.

Секция

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ФИЗИКИ

ISBN 978-5-4437-0748-8



9 785443 707488

N* Новосибирский
государственный
университет
*НАСТОЯЩАЯ НАУКА

