

ВАРИАЦИИ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ

Изучены пространственно-временные вариации общего содержания озона по спутниковым данным в Южном полушарии. Уменьшение глубины антарктической озоновой дыры фиксируется с 1979 г. (209 ед. Д.) до настоящего времени (в 2007 г. – 106 ед. Д.). Расширение области озоновой дыры оценивается от 1 млн км² в 1979 г. до 30,6 млн км² в 2000 г.

Современные исследования озонового слоя тесно связаны с изучением пространственно-временных вариаций общего содержания озона. Общее содержание озона (ОСО) – количество озона в вертикальном атмосферном столбе в конкретной точке, измеряется по поглощению и рассеянию солнечной радиации в УФ-диапазоне. Единица измерения – единица Добсона (ед. Д.), соответствующая толщине слоя газообразного озона в вертикальном столбе атмосферы при нормальных давлении (760 мм рт. ст.) и температуре (0 °С). 100 ед. Д. соответствуют толщине озонового слоя в 1 мм.

Более детальные глобальные озоновые данные получают с помощью оптической аппаратуры, установленной на искусственных спутниках Земли. В данной работе информация об ОСО за 1978–1993 гг. и 1996–2008 гг. была получена с помощью метода обращения, реализованного при измерениях на приборах TOMS (EarthProbe) и OMI (Aura) на двух парах длин волн: TOMS (312,5 и 331,2 нм, 317,5 и 339,8 нм), OMI (270 и 314 нм, 306 и 380 нм) (URL: <http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone>). Погрешность измерений составляет не более 2 %.

Заметную убыль озонового слоя над Антарктидой в Южном полушарии – озоновую дыру –

впервые обнаружили еще в 1957 г. в Международном геофизическом году (1957–1959 гг.). Ежедневные спутниковые измерения в этом районе начались с 1980 г. В настоящее время установлено, что озоновая дыра – это устойчивое понижение общего содержания озона на большой территории Антарктиды ниже климатической нормы – менее 220 ед. Д. весной, которое ежегодно возникает и существует в течение 3–3,5 мес. Вертикальное зондирование, проведенное в 1987 г., позволило определить высоты падения концентрации озона – это 12...18 км. Анализ пространственно-временных изменений этого аномального явления основывается на изучении минимальных значений общего содержания озона (глубины дыры), ее средних размеров и дефицита массы озона. Уменьшение глубины дыры фиксируется с 1979 г. (209 ед. Д.) до настоящего времени (в 2007 г. – 106 ед. Д.). Расширение области озоновой дыры по площади оценивается от 1 млн км² в 1979 г. до 30,6 млн км² в 2000 г. Большинство географических точек минимума ОСО расположено в областях с λ , равным (0...90°) и (180...270°). Таким образом, за прошедшие 30 лет озоновая дыра над Антарктидой стала глубже в 2 раза, а ее площадь увеличилась в тридцать раз.

A. V. Anishin, V. B. Kashkin, T. V. Rubleva

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

VARIATIONS OF THE TOTAL OZONE CONTENT IN SOUTHERN HEMISPHERE

Area-temporary variations of the total ozone content over the satellite data in Southern hemisphere are studied. Depth reduction of the Antarctic ozone hole is fixed since 1979 (209 u. D.) till now (2007 – 106 u. D.). An ozone hole area expansion is estimated from 1 million km² (1979) to 30,6 million km² (2000).

© Анишин А. В., Кашкин В. Б., Рублева Т. В., 2009

М. В. Воробьева, Е. А. Охоткина

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

АНАЛИЗ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА NOAA-18 ЗА ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2007 ГОДА

Изучены погодные условия на территории Красноярского края по изображениям, полученным со спутника NOAA-18 за весенний период 2007 г., а также проведен синоптический анализ атмосферных показателей.

С помощью программного обеспечения АРТ Viewer, предназначенного для изучения спутниковых снимков метеорологического характера, разработана методика определения метеорологических параметров и получен ряд величин, определяющих эти параметры:

1. Геометрическая привязка и ориентация на местности, с помощью расположения городов при активации соответствующего слоя «Города».

2. Определение поля и скорости ветра [1].

3. Определение количества осадков с помощью вкладки «Осадки» (URL: <http://meteoweb.ru/clouds.php0>), [2].

4. Определение высоты верхней границы облачного покрова с помощью соответствующей вкладки «Высота ВГО».

5. Определение температуры ВГО с помощью вкладки «AVHRR-1».

6. Определение типа облачности.

Исследована региональная метеорологическая обстановка на территории Красноярского края с использованием космических снимков, полученных с NOAA-18, а также разработана методика определения метеорологических параметров, с помощью которой рассчитаны средние значения этих параметров за каждый месяц и проведен синоптический анализ.

Март: среднее значение скорости ветра (5 ± 2) м/с, среднее количество осадков (4 ± 1) мм, высота ВГО (5 ± 1) км, температура ВГО $-(28 \pm 5)$ °С, преобладание кучево-дождевой облачности.

Апрель: среднее значение скорости ветра (5 ± 2) м/с, среднее количество осадков (1 ± 1) мм, высота ВГО (3 ± 1) км, температура ВГО

$-(16 \pm 5)$ °С, преобладание высококучевой облачности.

Май: среднее значение скорости ветра (6 ± 2) м/с, среднее количество осадков (1 ± 1) мм, высота ВГО (3 ± 1) км, температура ВГО $-(18 \pm 5)$ °С, преобладание высококучевой и многослойной облачности.

Исследования показали, что весенний период (март–апрель) 2007 г. был достаточно пасмурным и дождливым. Апрель оказался практически безоблачным. В марте и в мае наблюдалось наличие самой разнообразной облачности, но чаще всего встречались кучевые облака. Облачность, в свою очередь, всегда сопровождается осадками. Ее наличие не следует рассматривать как случайное малозначимое явление, поскольку это происходит лишь при благоприятной для этого синоптической обстановке в определенных гидродинамических условиях, способствующих конденсации водяного пара [3].

Библиографический список

1. Кравченко, И. В. Легчику о метеорологии / И. В. Кравченко. 4-е изд., испр. и доп. М. : Воениздат, 1982.

2. Хромов, С. П. Метеорология и климатология : учебник для вузов / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. М. : Наука, 2006.

3. Кашкин, В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений : учеб. пособие / В. Б. Кашкин, А. И. Сушин. М. : Логос, 2001.

М. V. Vorobyeva, E. A. Okhotkina

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

THE ANALYSIS OF WEATHER CONDITIONS ACCORDING TO DATA FROM SATELLITE NOAA-18 FOR THE SPRING PERIOD OF 2007

Weather conditions in territory of Krasnoyarsk region using the images received from satellite NOAA-18 for the spring period 2007 are studied, and also the synoptic analysis of atmospheric indicators is carried out.

© Воробьева М. В., Охоткина Е. А., 2009

А. А. Додышева, Е. А. Охоткина, А. И. Сухинин

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ЗА МАЙ 2008 ГОДА**

Представлена методика анализа состояния сельскохозяйственных угодий с использованием космического снимка данной местности. Методика включает в себя объединение многоканальных данных со спутника Landsat в единый файл, оконтуривание полей, определение NDVI, определение степени увлажнения почв, определение температуры поверхности.

На сегодняшний день данные дистанционного зондирования все большее применение находят в оценке состояния сельскохозяйственных полей. Обработка данных дистанционного зондирования позволяет уменьшить время работы и финансовое обеспечение, а с другой стороны – увеличить объем физических и биологических параметров, по результатам которых и строится дальнейшее исследование, захватывая огромные территории. Представлена методика анализа состояния сельскохозяйственных угодий на космическом снимке за весенний период. На снимке можно определить состояние почвы: температуру, степень увлажнения.

Используя архив данных, выбрано изображение сельскохозяйственных территорий Красноярского края, полученное со спутника Landsat-7 за май месяц 2008 г., и проведено объединение многоканальных данных в единый файл. Для «сшивки» выбраны 5-й (1 550...1750 нм), 4-й (760...900 нм) и 3-й (630...690 нм) каналы спутника Landsat. Данные 3-го и 5-го каналов используются для расчета NDVI. Данные 4-го канала – для определения степени увлажнения поверхности (URL: <http://www/scanex/ru>).

Созданы контуры сельскохозяйственных полей методом сегментации путем наращивания областей. В программном пакете был создан векторный слой, на него перенесены контуры полей для объединения с исходным файлом [1]. Получено растровое изображение полей.

Расчет вегетационного индекса (NDVI) проводился по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра.

В графической модели для расчета NDVI использовано изображение с вырезанными контурами полей. Поля были разбиты на классы, в зависимости от их цвета. Выбрано по одному полю, характеризующему класс, к которому оно принадлежит. Для этих полей рассчитан NDVI.

Определена степень увлажнения почв. В ближнем инфракрасном диапазоне наблюдается зависимость: чем выше спектральная яркость, тем ниже степень увлажнения почвы. В программном пакете Erdas Imagine была определена спектральная яркость. Далее, используя зависимость, была определена степень увлажнения почв.

Определена температура поверхности, используя данные Landsat ETM+. Температура поверхности была рассчитана для полей пяти классов. Каждому классу полей соответствует свое калибровочное значение Q_{cal} , входящее в формулу (2) для расчета температуры поверхности (URL: <http://gis-lab.info/>). Количество приходящего излучения вычисляется по следующей формуле:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{cal\max} - Q_{cal\min}} (Q_{cal} - Q_{cal\min}) + L_{min\lambda}, \quad (2)$$

где $L_{min} = 3,2$ [В/(м² ·стерадиан·мкм)]; $L_{max} = 12,65$ [В/(м²·стерадиан·мкм)]; $Q_{cal\min} = 1$; $Q_{cal\max} = 255$.

Абсолютная температура определяется в Кельвинах по формуле

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}}\right) + 1\right)}, \quad (3)$$

где $K_1 = 666,09$ [В/(м²·стерадиан·мкм)]; $K_2 = 1\,282,71$ К; L_{λ} – излучение на сенсоре, полученное по формуле (2).

Таким образом, методика позволяет определить состояния растительности на момент съемки – с помощью расчета NDVI, а также степень увлажнения почвы, температуру поверхности – важные характеристики, которые влияют на количество и качество урожая. Использование данной методики позволяет вовремя принять необходимые меры в случае необходимости.

Библиографический список

1. Кашкин, В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений : учеб. пособие / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. М. : Логос, 2001.

A. A. Dodysheva, E. A. Okhotkina, A. I. Sukhinin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

**ESTIMATION OF AGRICULTURAL FIELDS STATE
IN TERRITORY OF KRASNOYARSK REGION UNDER
THE SATELLITE DATA IN MAY, 2008**

The technique to analyse agricultural grounds state applying a space picture of the given district is developed. The technique includes: association of the multi-channel data from Landsat companion in a uniform file, field shaping, NDVI definition, definition of soil humidifying degree, definition of a surface temperature.

© Додышева А. А., Охоткина Е. А., Сухинин А. И., 2009

УДК 551.509.313

О. А. Дубровская, Е. Г. Климова

Институт вычислительных технологий, Сибирское отделение
Российской академии наук, Россия, Новосибирск

А. И. Сухинин

Институт леса имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ЭМИССИЙ
ОТ КРУПНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ**

Представлен метод моделирования распространения газовых эмиссий, выделяющихся при массовых пожарах в лесах Сибири, на основе ансамблевого подхода. Проведены численные расчеты траекторий распространения газовых эмиссий и получено удовлетворительное совпадение с результатами дешифрирования материалов космического зондирования.

Регулярно возникающие в различных регионах земного шара массовые лесные пожары привлекают к себе внимание как природные бедствия, приносящие серьезный экономический ущерб. Лесные пожары являются не только бедствием для населения, но и важным фактором локальной, региональной и даже глобальной экодинамики, что проявляется в выбросах в атмосферу дымовых газов и аэрозоля, которые вносят существенный вклад в образование и развитие парникового эффекта.

Газовые составляющие атмосферы, такие как CO, CO₂, CH₄, называемые парниковыми газами, оказывают существенное влияние на характер атмосферных процессов и экологическую обстановку в различных регионах. Одним из источников этих газов являются лесные пожары в бореальных лесах на территории Сибири, Якутии, Дальнего Востока [1]. Моделирование распространения газовых эмиссий, выделяющихся при пожарах, является одной из важных задач при разработке методов прогнозирования задымленности местности при крупных массовых лесных пожарах.

Так как в Сибири сосредоточены большие запасы наземного углерода, то увеличение площадей пожарищ, длительности пожарного сезона и

силы пожаров приводит к тому, что освобождаются значительные объемы углерода [2; 3]. В годы с экстремальной пожарной активностью общая эмиссия углерода может быть на 37...41 % больше, чем в годы с нормальной пожарной активностью, по причине увеличения сгорания органических веществ в почве. Средние оценки для стандартного сценария динамики выбросов рассматриваемых парниковых газов составляют: CO₂ (555...1 031 тераграмм (Tt)), CO (43...80 Tt), CH₄ (2,4...4,5 Tt). Эти оценки представляют 10, 15, 19 % соответственно от глобальных оценок, сделанных по всему земному шару для пожаров растительности.

Газовые составляющие, выделяющиеся при пожарах, распространяются далеко за их пределы благодаря атмосферной циркуляции. Поэтому одной из важных задач является описание распространения дымового аэрозоля в пространстве и во времени с привлечением фактической метеорологической информации и данных о пожарах.

Для восстановления концентрации CO₂ в данном регионе была использована модель оценки эмиссий газовых примесей по данным о сгоревшей биомассе, предложенная в [2]. При расчете по модели необходима информация по расходу горючего материала, которая зависит от выго-

ревшей территории, количества горючих материалов на единицу площади, а также характеристик и состояния горючих материалов. Количество горючего материала, в действительности сгоревшего при пожаре, зависит от запаса и состояния топлива, его типа, климатических и метеорологических факторов, а также интенсивности пожара.

Модели расхода горючих материалов в общем случае включают эмпирические коэффициенты для прогнозирования относительных объемов тления и горения для различных условий горения. Использование спутниковых данных о выгоревшей территории позволяет сделать более точные оценки эмиссий углерода от лесных пожаров.

Для оценки территории, охваченной дымовым аэрозолем, разработана методика, основанная на вычислении обратных траекторий. В расчетах используются метеорологические данные о ветре, температуре и высоте на заданных изобарических поверхностях.

Алгоритм восстановления значений концентрации основан на совместном учете математической модели и данных наблюдений для описания пространственно-временной картины распределения исследуемых полей. Усвоение данных проводится на основе цикла «прогноз–анализ», при этом под анализом данных понимается интерполяция наблюдений в заданную точку.

Процедура усвоения данных производится следующим образом: от момента времени t^{j+1} до t^j (j – номер шага по времени), т. е. для одного временного шага вдоль траектории считается шаг «прогноза», который можно формально записать следующим образом:

$$q_f^n = q_f^{n+1},$$

где q_i – значение объемной концентрации углекислого газа в i -м сеточном узле в момент времени t^N . В начальный момент времени t^N задается фоновое значение. Если есть данные о пожарах в K точках земной поверхности с координатами $\{(\lambda_k(t^j), \phi_k(t^j)), k=1, \dots, K\}$ в моменты времени t^1, \dots, t^j , производится шаг «анализа», т. е. оценка

значений концентрации в i -м сеточном узле по вычисленному на этот момент значению концентрации и измеренным значениям. Полученное значение «анализа» является начальным для вычисления следующего шага «прогноза».

Значение концентрации на шаге «анализа», которое соответствует точке траектории (λ^j, ϕ^j, p^j) в момент времени t^j , в котором есть информация о пожарах, определяется по значениям данных наблюдений, известным в окрестности этой точки радиусом R .

Для восстановления более мелкомасштабной структуры концентрации и учета динамики мезомасштабных процессов, протекающих в атмосфере заданного региона, начата работа по использованию данной методики прогнозов полей ветра по модели WRF.

По модели WRF были получены поля ветра и температуры в заданном регионе с разрешением 18 км.

Таким образом, использован ансамблевый подход для расчета распространения газовых примесей от массовых лесных пожаров для заданного региона с применением метеорологических данных и спутниковой информации о пожарах. Предполагается при использовании прогнозов метеополей по модели WRF разработать методику усвоения данных о пожарах на основе ансамблевого фильтра Калмана, а также сделать количественную оценку переносимых газовых составляющих от пожаров при сопоставлении расчетов и натурных данных.

Библиографический список

1. Sukhinin, A. I. 2004. Satellite-based mapping of fires in Russia: New products for fire management and carbon cycle studies / A. I. Sukhinin [et al.] // Remote Sensing of Environment (2004). 93.
2. Трофимова, Н. В. Дистанционная оценка дымовых эмиссий от крупных лесных пожаров / Н. В. Трофимова // Вестник СибГАУ. 2008.
3. Estimating fire emissions and disparities in boreal Siberia (1998 through 2000) / A. J. Soja [et al.] // J. of Yeophys. research. 2004. Vol. 109.

O. A. Dubrovskaya, E. G. Klimova

Institute of Computational Technologies, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Novosibirsk

A. I. Sukhinin

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

SIBERIAN WILDFIRE EMISSION PROPAGTION MODELLING

The method of Siberian mass wildfire emission numerical modeling based on ensemble approach is presented. The calculated smoke emissions trajectories were verified by remote sensing satellite data.

© Дубровская О. А., Климова Е. Г., Сухинин А. И., 2009

В. Б. Кашкин, Е. И. Носова, Т. В. Рублева

Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

ЗОНАЛЬНЫЙ И МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ОЗОНА ВЕСНОЙ В СТРАТОСФЕРЕ

Исследован зональный и меридиональный перенос весной стратосферного озона. Изучено влияние циркумполярных вихрей Северного и Южного полушарий на озон. Установлено, что из области антарктической озоновой дыры озон вытекает со скоростью до 1,5 градуса в сутки и остается в циркумполярном вихре на широтах от -30° до -55° .

Общее содержание озона (ОСО) в земной атмосфере обусловлено процессами его образования и разрушения. Среднее время жизни молекулы озона составляет примерно 1 год, однако в каждой широтной зоне и на определенной высоте оно изменяется. В частности, среднее время жизни молекулы O_3 варьируется от нескольких часов и суток (в мезосфере – верхней стратосфере) до месяца (в тропосфере). В нижней стратосфере для достижения 50 % равновесной концентрации озона необходим примерно год. Установлено, что количество озона в верхней стратосфере обусловлено фотохимическими процессами, а в нижней – процессами переноса. Следовательно, на распределение озона в широтных зонах оказывает существенное влияние перенос, а изучение вариаций ОСО необходимо для исследования динамики атмосферы. Исходной информацией для анализа ОСО в данной работе являлись спутниковые данные (URL: <http://toms.gsfc.nasa.gov/>).

Весной в каждом из полушарий в средних широтах ($30...60^\circ$) образуется циркумполярный вихрь – околполярная область с высоким ОСО. Скорость вращения данных вихрей, обусловленная зональным переносом воздушных масс и озона в нижней стратосфере, зависит от широты. Широтная зависимость усредненной по кольцу в 5° скорости зонального переноса определена с помощью корреляционно-экстремального алгоритма [1]. Скорость зонального переноса в каждом из полушарий весной выше, чем осенью (рис. 1). Однако в Южном полушарии скорость весной и осенью изменяется не так быстро, как в Северном.

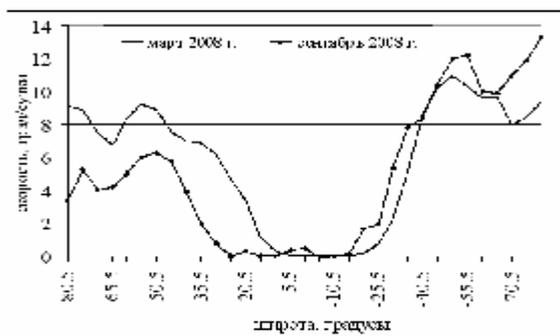


Рис. 1. Широтная зависимость скорости зонального переноса

Наибольшее количество озона образуется в приэкваториальной зоне земной атмосферы. В зависимости от сезона эта главная область образования озона смещается из Южного полушария в Северное. Ее миграция была выявлена Дютшем [2] для июня и декабря, для которых данная область располагалась в широтных зонах (10° ю. ш. ... 35° с. ш.) и (38° ю. ш. ... 12° с. ш.) соответственно. Из полученных данных следует, что в марте и сентябре главная область образования озона расположена в области от 20° ю. ш. до 10° с. ш., а в сентябре – от 15° ю. ш. до 27° с. ш. Вероятно, миграция данной озонной области обусловлена смещением зон действия циркумполярных вихрей Северного (ЦВС) и Южного полушарий (ЦВЮ).

Особый интерес представляет направление меридионального переноса весной в приполярных областях. Анализ показал, что озон притекает в Арктику в течение марта и апреля, что объясняется теорией Дютша–Добсона. Иначе ведет себя перенос в Южном полушарии в сентябре, во время формирования циркумполярного вихря и антарктической озоновой дыры (АОД).

Представлена широтная зависимость скорости меридионального переноса озона в Южном полушарии и профиль ОСО, усредненные за сентябрь 1997–2008 гг. (рис. 2).

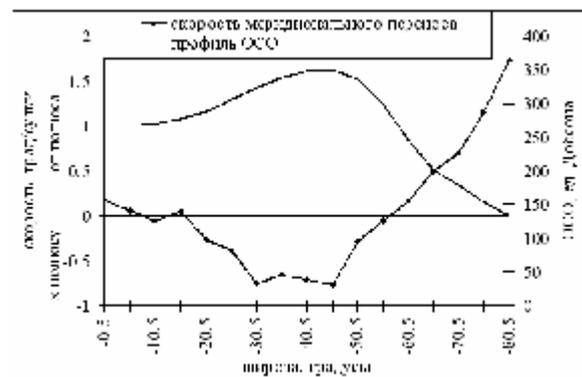


Рис. 2. Зависимость скорости меридионального переноса озона в Южном полушарии в сентябре от широты и средний профиль ОСО

Максимум ОСО приходится на средние широты, южнее находится АОД. Из области АОД озон вытекает со скоростью до 1,5 градуса в сутки и остается в циркулярном вихре на широтах от -30° до -55° . Следовательно, озон является составной и неотъемлемой частью переносящих его воздушных масс, а пространственно-временные изменения озона характеризуют природу и протяженность циркуляционных систем атмосферы.

Библиографический список

1. Кашкин, В. Б. Природоохранная геофизика: проблемы озонового щита планеты / В. Б. Кашкин, Т. В. Рублева, Р. Г. Хлебопрос // Инж. экология. 2009. № 4. С. 18–33.
2. Dutsch, H. U. Vertical ozone distribution on global scale / H. U. Dutsch // Pure Appl. Geophys. 1978. 116. № 2/3. P. 511–529.

V. B. Kashkin, E. I. Nosova, T. V. Rubleva

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

ZONAL AND MERIDIONAL OZONE TRANSFER IN STRATOSPHERE IN SPRING

Zonal and meridional stratospheric ozone transfer in spring is investigated. Influence of circumpolar whirlwinds of northern and southern hemispheres on ozone is studied. It is established that ozone follows from area of the Antarctic ozone hole with a speed to 1,5 degrees a day and remains in circumpolar whirlwind at widths from -30° to -55° .

© Кашкин В. Б., Носова Е. И., Рублева Т. В., 2009

УДК 550.837

Н. Н. Колчигин

Институт радиофизики и электроники имени А. Я. Усикова
Национальной академии наук Украины, Украина, Харьков

К. В. Музалевский

Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

МЕТОД ДИСКРЕТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВИБРАТОРА В СКВАЖИНЕ

Развит метод дискретных источников, который впервые применяется для расчета токов на поверхности вибратора, расположенного в цилиндрической скважине, пробуренной в горной породе. Тестирование алгоритма осуществляется в случае, когда скважина заполнена нефтью и пробурена в песчанике с подвижными флюидами раствора поваренной соли.

Изучение электромагнитного поля в средах со сложными физическими характеристиками, а именно частотной дисперсией диэлектрической проницаемости, характерной для нефтенасыщенных коллекторов, является одной из сложных и востребованных задач математического моделирования [1]. В последнее время для расчета монохроматических полей, излучаемых антеннами конечных размеров, успешно применяется метод дискретных источников (МДИ) [2]. Однако в литературе не отмечены случаи применения МДИ для расчета полей и токов на вибраторе, расположенном в цилиндрическом изоляторе, окруженном средой, обладающей частотной дисперсией с потерями.

Рассмотрим тонкий диполь, радиус цилиндра которого не превышает «наименьшей» длины волны в пространственном спектре нестационарного электромагнитного поля. Внешнее полупространство по отношению к цилиндрической скважине имеет диэлектрическую проницаемость (ДП) ϵ_2 и тангенс потерь p . ДП среды, заполняющей скважину, ϵ_1 . Ось цилиндрической дипольной антенны радиуса a и длины L находится на оси скважины радиуса b . Спектр возбуждающего напряжения равен $V(\omega)$ (рис. 1).

Распределение тока на антенне в скважине будет искаться на основе метода МДИ. Идея МДИ заключается в представлении тока, распределенного на поверхности цилиндрической антенны,

вспомогательными осевыми токами (в виде электрических диполей). Комплексные амплитуды вспомогательных источников находятся из решения алгебраического уравнения конечного порядка, которое получается из граничного условия на поверхности антенны.

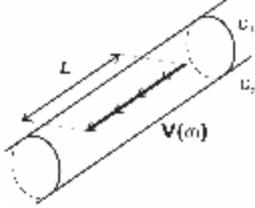


Рис. 1. Конфигурация антенны, расположенной над слоистым полупространством

Результаты численных расчетов будем сравнивать с экспериментальными данными [3], полученными для распределения тока на вибраторе и входного адмитанса цилиндрической антенны изолированной скважиной, заполненной воздухом и нефтью от проводящего песчаника (рис. 2–4). В подписях к рисунку используются следующие обозначения: $\Delta = \sqrt{\epsilon}$, $\beta_L h$ – электрическая длина вибратора, где β_L определено в [3].

Таким образом, в данной работе проведено тестирование МДИ для вибратора, расположенного в скважине, пробуренной в проводящем песке. Результаты позволяют говорить о хорошем экспериментальном подтверждении построенной вычислительной схемы и самого МДИ.

Библиографический список

- Музалевский, К. В. Возможности применения широкополосных электромагнитных импульсных сигналов для геонавигации в слоистой среде нефтегазового коллектора / К. В. Музалевский, М. И. Эпов, В. Л. Миронов, С. А. Комаров // Изв. вузов. Физика. 2008. № 9/2. С. 50–55.
- Papanellos, P. J. Study of Scattering and Receiving Dipole Antennas on the Basis of the Method of Auxiliary Sources / P. J. Papanellos // Electromagnetics. 2005. Vol. 25. № 6. P. 525–537.
- Lee, K. M. Measurement of the circuit properties of uninsulated linear antennas in a dissipative medium / K. M. Lee, R. W. P. King, T. T. Wu // IEEE Trans. on Antennas and Prop. 1977. Vol. 25. № 6. P. 836–840.

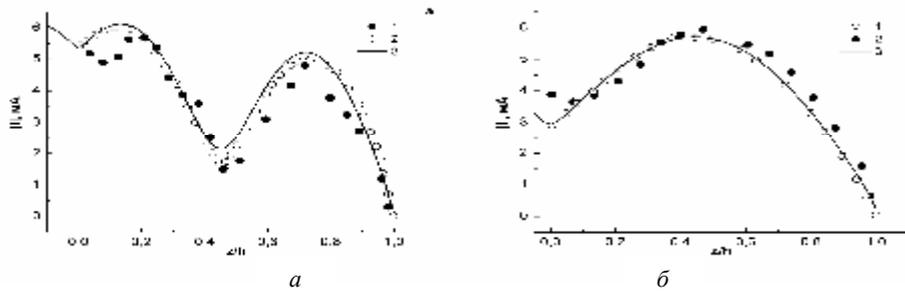


Рис. 2. Распределение тока на вибраторе в скважине, заполненной воздухом: $a - \beta_L h = 6,54$; $b - \beta_L h = 3,27$; 1 – теория Кинга; 2 – экспериментальные данные; 3 – МДИ; электрические свойства среды: $\epsilon_1 = 1,0$; $\epsilon_2 = 3,8$; $p = 0,08$; $b/a = 4,0$

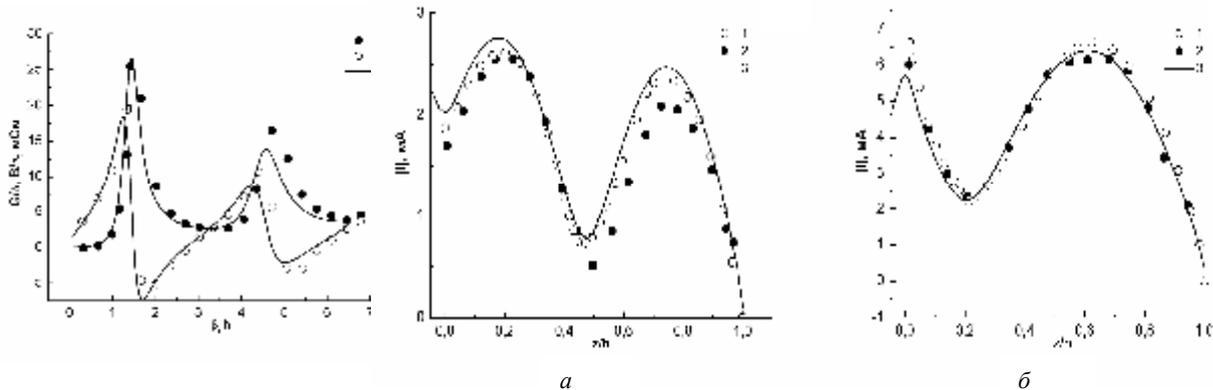


Рис. 3. Входной адмитанс вибратора как функции $\beta_L h$: 1 – G, – действительная и 2 – B, мнимая части адмитанса, эксперимент; 3 – МДИ; электрические свойства среды: $\epsilon_1 = 2,2$; $\epsilon_2 = 3,8$; $p = 0,08$; $b/a = 4,0$

Рис. 4. Распределение тока на вибраторе в скважине, заполненной нефтью: $a - \beta_L h = 5,75$; $b - \beta_L h = 3,84$; 1 – теория Кинга; 2 – экспериментальные данные; 3 – МДИ; электрические свойства среды: $\epsilon_1 = 2,2$; $\epsilon_2 = 3,8$; $p = 0,08$; $b/a = 8,9$

N. N. Kolchigin

A. Ya. Usikov Institute of Radiophysics and Elektronics, National Academy
of Science of Ukraine, Ukraine, Kharkov

K. V. Muzalevsky

L. V. Kirensky Institute of Physics, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

AUXILIARY SOURCE METHOD FOR CALCULATING CURRENT ON THE INSULATED ANTENNAS

The auxiliary source method is developed for the currents calculating on the vibrator surface, located in the cylindrical borehole, drilled in the rock. Testing algorithm is achieved in the case, when borehole is filled with oil and air is drilled in the sandstone with the mobile fluids of the salt solution.

© Колчигин Н. Н., Музалевский К. В., 2009

УДК 528.48

В. Л. Миронов, И. В. Савин

Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

Роджер Де Ру

Мичиганский университет, США, Энн Арбор

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ТУНДРОВОЙ ПОЧВЫ ПРИ ЗАМЕРЗАНИИ ВОДЫ В ПОЧВЕННЫХ КАПИЛЛЯРАХ

Представлены результаты измерения диэлектрической проницаемости тундровой почвы в диапазоне частот и температур от 1 до 16 ГГц и от -30 до $+25$ °С соответственно. Изучено влияние на величину диэлектрической проницаемости незамерзшей воды в капиллярах почвы. Получена зависимость максимального количества незамерзшей воды в почве от температуры.

В высоких широтах разложение растений медленное, и поэтому в почве накапливается органическое вещество [1]. Микроволновое дистанционное зондирование дает возможность проводить мониторинг почвенного покрова в удаленном и обширном Арктическом регионе. Однако для осуществления мониторинга гидрологического состояния вечной мерзлоты с помощью микроволнового аэрокосмического зондирования должны быть известны зависимости диэлектрической постоянной почвы от влажности и температуры почвы.

В данной работе проводились измерения спектров диэлектрической проницаемости влажной тундровой почвы Аляски (см. таблицу). Измерения проводились в частотном диапазоне от 1 до 16 ГГц и температурном диапазоне от -30 до $+25$ °С.

Для измерений использовался векторный анализатор цепей ZVK, способный измерять элементы матрицы рассеяния для измерительного коаксиального контейнера, содержащего образец почвы. Для определения комплексной диэлектрической проницаемости применялась методика, опи-

санная в [2]. Температурный режим обеспечивался с помощью термокамеры Espec SU-241.

Наибольший интерес представляют зависимости диэлектрической проницаемости от температуры в условиях замерзания почвы. Мы наблюдали снижение точки замерзания воды в почве до значения около -6 °С. Температура замерзания определялась как точка, в которой показатель преломления и коэффициент затухания влажной почвы имеют разрыв. Представлены зависимости приведенного показателя преломления от температуры при различных значениях объемной влажности образца (рис. 1). Зависимость показателя преломления от температуры в области значений $T < -6$ °С существенно зависит от влажности образца. Мы объяснили это явление за счет постепенного замерзания почвенной воды, содержащейся в мелких капиллярах. Диапазон влажностей для зависимостей, показанных на рис. 1 справа, соответствует присутствию в капиллярах почв незамерзшей воды, которая может существовать, согласно нашим измерениям, вплоть до температур меньше -20 °С.

Минеральный состав исследуемой почвы

Минеральный состав	Процентное содержание	Минеральный состав	Процентное содержание
Органика	80...90	Плагиоклаз	0,75
Кальцит	4,5	Слюда	0,75...1,5
Кварц	7,5...8,2	Смектит	0,75

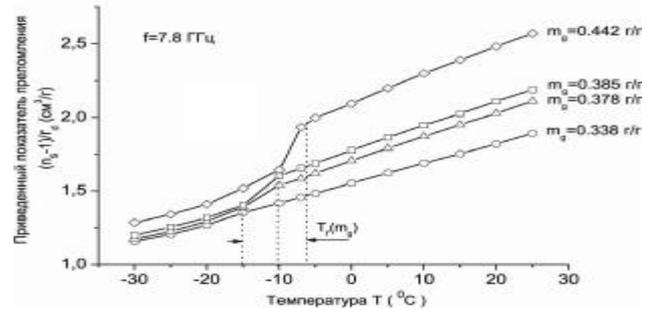
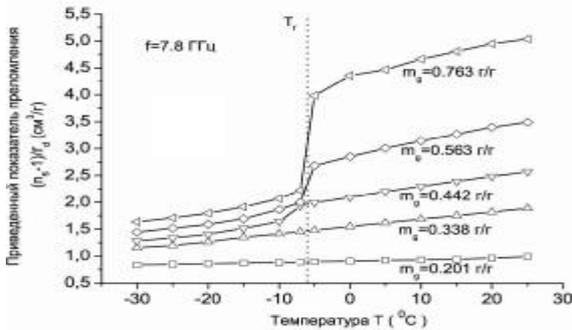


Рис. 1. Зависимость приведенного показателя преломления влажного образца почвы от температуры

Показана зависимость приведенного показателя преломления влажной почвы от влажности при различных температурах (рис. 2). Область существования незамерзшей капиллярной влаги определяется неравенством $m_{g1} < m_g < m_{g2}(T)$, где $m_{g1} = 0; 0,307$ г/г – максимальное количество связанной влаги в почве, а m_{g2} – максимальное количество почвенной влаги, отличной от льда. Диапазон влажностей $m_{g2}(T) < m_g$ соответствует присутствию в почве льда.

Нами впервые для тундровой почвы получена зависимость максимального количества незамерзшей капиллярной почвенной влаги от температуры:

$$m_{g2}(T) - m_{g1} = 0,029 + 0,544 \exp(T(^{\circ}\text{C})/3,9),$$

$$-30^{\circ}\text{C} \leq T < -7^{\circ}\text{C}.$$

В результате проделанной работы были получены экспериментальные зависимости комплексного показателя преломления образца влажной и мерзлой тундровой почвы от влажности и температуры. Найдена простая формула для описания количества капиллярной незамерзшей влаги от температуры.

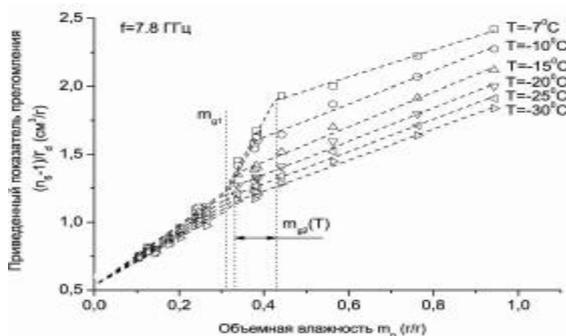


Рис. 2. Зависимость приведенного показателя преломления образца почвы от объемной влажности при различных температурах

Библиографический список

1. Stokstad, E. Defrosting the Carbon Freezer of the North / E. Stokstad // Science. Vol. 304. P. 1618–1620.
2. Комаров, С. А. Исследование диэлектрического спектра комплексной диэлектрической проницаемости влажных почвогрунтов / С. А. Комаров, В. Л. Миронов, Ю. И. Лукин // Изв. высш. учеб. заведений. Физика. 2006. Т. 49. № 9. С. 29–34.

V. L. Mironov, I. V. Savin

L. V. Kirensky Institute of Physics, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

Roger DeRoo

University of Michigan, USA, Ann Arbor

TEMPERATURE DEPENDENCE OF PERMITTIVITY OF TUNDRA SOIL WITH WATER FREEZING IN THE SOIL CAPILLARY

The permittivities measured for a tundra soil in the ranges of frequencies and temperatures from 1 to 16 GHz and -30 to 25°C are discussed. The impact on permittivity of unfrozen soil water contained in the soil capillaries was considered. The dependence of the maximum unfrozen water fraction on the temperature is obtained.

© Миронов В. Л., Савин И. В., Де Ру Роджер, 2009

УДК 537.226.1 + 631.437.226.2

В. Л. Миронов, А. Ю. Анисимова

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

С. В. Фомин, Л. Г. Косолапова

Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШМАГГЕ ДЛЯ ВЛАЖНЫХ ПОЧВ*

Исследуется область применимости и ошибка прогноза хорошо известной и широко применяемой в дистанционном зондировании диэлектрической модели влажных почв, разработанной Шмагге, на основе сравнения расчетов по этой модели с данными измерений диэлектрической проницаемости, проведенных Куртисом для совокупности почв различного гранулометрического состава, во всем диапазоне влажностей и в широком диапазоне частот.

Адекватная диэлектрическая модель – существенный элемент алгоритма обработки данных радиолокационного и радиометрического дистанционного зондирования почвенного покрова Земли. Хорошо известная диэлектрическая модель влажной почвы Шмагге создана на базе данных диэлектрических измерений почв с содержанием глины от 0 до 62 %, влажностью, изменяющейся от нуля до полного влагонасыщения, на двух частотах 1,4 и 5 ГГц. Вопрос о том, применима ли эта модель для расчетов диэлектрической проницаемости влажных почв на других частотах, до сих пор не был исследован. Область применения и ошибка прогноза диэлектрической модели влажных почв, разработанной Шмагге, изучается на основе анализа полученных нами расчетных данных и независимо проведенных Куртисом экспериментальных измерений диэлектрической проницаемости влажных почв в диапазоне частот от 45 МГц до 26,5 ГГц.

В основе эмпирического подхода Шмагге [1] лежит представление о том, что диэлектрическая проницаемость (ДП) многокомпонентного вещества (смеси) складывается из показателей ДП составляющих его компонент. ДП влажной почвы является комбинацией ДП минеральной составляющей почвы, воздуха, связанной и свободной воды. ДП связанной воды определяется через известные значения ДП льда и свободной воды. Комплексная диэлектрическая константа (КДП) влажной почвы, ϵ , определяется следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \epsilon &= W\epsilon_b + (P - W)\epsilon_a + (1 - P)\epsilon_r, \quad W \leq W_t, \\ \epsilon_b &= \epsilon_i + (\epsilon_w - \epsilon_i) \frac{W}{W_t} \gamma; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \epsilon &= W_t\epsilon_b + (W - W_t)\epsilon_w + (P - W)\epsilon_a + (1 - P)\epsilon_r, \\ &W > W_t, \end{aligned}$$

$$\epsilon_b = \epsilon_i + (\epsilon_w - \epsilon_i) \gamma,$$

где P – пористость сухой почвы; ϵ_a , ϵ_w , ϵ_r , и ϵ_i – КДП воздуха, воды, минеральной компоненты и льда соответственно; ϵ_b – КДП воды, абсорбированной на поверхности почвенных частиц (связанная вода). Величина диэлектрической проницаемости воды в почве определяется по известным формулам Дебая для свободной воды [2].

С помощью регрессионного анализа при использовании данных измерений диэлектрической константы и фактора потерь (мнимой части диэлектрической проницаемости) влажной почвы на частотах 1,4 и 5 ГГц в работе [1] были определены параметры W_t , γ как функции влажности устойчивого завядания WP :

$$\gamma = -0,57 WP + 0,481, \quad W_t = 0,49 WP + 0,165.$$

WP , в свою очередь, на основе регрессионного анализа определена [1] как функция массовых долей песка S и глины C в почве:

$$WP = 0,067 74 - 0,000 64 S + 0,004 78 C.$$

Фактор потерь в работе [1] записывается в виде

$$\epsilon_i'' = \epsilon'' + \alpha W^2,$$

где ϵ'' определяется из уравнений (1), а член αW^2 вводится, чтобы учесть потери за счет омической проводимости; α – параметр, подбираемый путем наилучшего приближения к экспериментальным данным. Для частот выше 5 ГГц омическая проводимость не имеет существенного значения и коэффициент α равен нулю, для частоты 1,4 ГГц можно использовать регрессионную формулу $\alpha = 0,532C$, полученную с использованием данных [1].

* Работа поддержана грантом РФФИ-Франция № 09-05-91061.

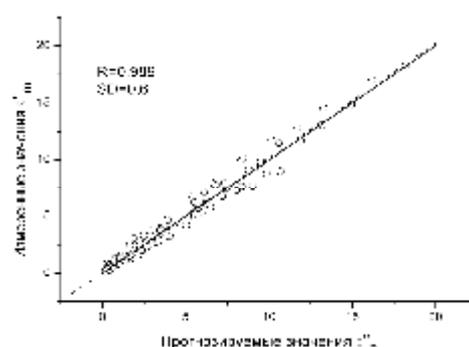
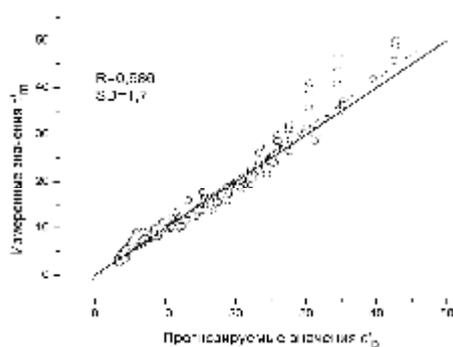
Для определения области применения модели Шмагге использовались данные измерений Дж. Куртиса и др. [2]. Эти данные включают измерения диэлектрической константы и фактора потерь для 11 типов почв, с содержанием глины от 0 до 76 %, влажность которых изменялась от нуля до полного влагонасыщения. Частота электромагнитного поля варьировалась в широком диапазоне от 0,045 до 26,5 ГГц. Результаты сравнения измерений [3] с расчетами по модели Шмагге представлены на рисунке. Из этого графика исключены почвы с содержанием глины 76 и 54 %.

В результате проведенного исследования установлено, что эмпирическая модель Шмагге может быть использована в алгоритмах обработки данных радиолокационного и радиометрического зондирования почвенного покрова для ϵ' в диапазоне частот от 0,3 до 14 ГГц, а для ϵ'' – в диапазоне частот от 5 до 14 ГГц для почв, содержание глинистой фракции в которых не превышает 34 %. При этом погрешность, определяемая по

среднеквадратическому отклонению, составляет 1,7 и 0,6 для диэлектрической проницаемости и фактора потерь соответственно. В случае почв с большим содержанием глинистой фракции ошибка прогнозирования с помощью модели Шмагге существенно возрастает.

Библиографический список

1. Wang, J. R. An Empirical Model for the Complex Dielectric Permittivity of Soils as a Function of Water Content / J. R. Wang, T. J. Schmugge // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1980. Vol. GE-18. №. 4. P. 288–295.
2. Stogryn, A. Evaluation for calculating the dielectric constant of saline water / A. Stogryn // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1971. Vol. MTT-19. P. 733–736.
3. Curtis, J. O. Effect of Soil Composition on Dielectric Properties / J. O. Curtis, C. A. Jr. Weiss, J. B. Everett // Technical Report EL-95-34. December, 1995.



Корреляция значений ϵ'_p , ϵ''_p , рассчитанных по модели Шмагге [1], с данными измерений Куртиса [2] ϵ'_m , ϵ''_m :
 а – приведенные данные соответствуют частотам 0,3; 0,5; 1,4; 5,0; 10 и 14 ГГц; б – приведенные данные соответствуют частотам 5,0; 10 и 14 ГГц. Прямая линия – биссектриса, пунктирная – линейная регрессия; уравнения линейной регрессии: $\epsilon'_m = -0,46 + 1,06\epsilon'_p$, $\epsilon''_m = 0,08 + 1,01\epsilon''_p$

V. L. Mironov, A. Yu. Anisimova

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

S. V. Fomin, L. G. Kosolapova

L. V. Kirensky Institute of Physics, Russian Academy of Science,
 Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

DOMAIN OF APPLICABILITY STUDIES FOR SCHMUGGE'S DIELECTRIC MODEL FOR MOIST SOILS

The domain of applicability and error of well known in radar and radiometer remote sensing Schmuegge dielectric model for moist soils have been investigated. The model examination have been provided on the comprehensive dielectric data set for different soil types, wide frequency range and the moistures up to field capacity values obtained by Curtis.

© Миронов В. Л., Анисимова А. Ю., Фомин С. В., Косолапова Л. Г., 2009

А. И. Сухинин

Институт леса имени В. Н. Сукачева, Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск**АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПОЖАРОВ
В ЛЕСАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ****Развит вероятностный подход в обнаружении, оценке площади и интенсивности малоразмерных и развитых лесных пожаров по данным спутников серии NOAA-AVHRR и Terra-MODIS. Обсуждаются особенности поведения и развития массовых и катастрофических пожаров в лесах Восточной Сибири.*

Ежедневное информационное обеспечение в процессе мониторинга пожаров включает в себя:

- планово-картографическую информацию о горимости азиатской части России, полученную с помощью космических средств NOAA, Terra в виде полигонов лесных пожаров на картографической схеме $M = 1: 500\ 000$ с указанием расстояния, азимута до ближайшего населенного пункта, площади пожаров, их географических координат;
- текстовые таблицы с привязкой пожаров к ближайшим населенным пунктам;
- картосхемы контуров крупных гарей на топографической карте $M = 1:500\ 000$;
- картосхемы облачности и поля ветра на высоте 1,5 км в формате JPG;
- снимки и схемы задымления территории;
- картосхемы пожарной опасности по условиям погоды.

Совместно с ФГБУ НЦУКС и СРЦ МЧС создан файловый сервер оперативных данных космического мониторинга лесных пожаров Сибири и Дальнего Востока, имеющий адрес в сети Интернет ftp://data:data_get@195.161.57.194/DailyData/.

Совместно с Американской лесной службой, университетом штата Мэриленд, Институтом Макса-Планка (Фрейбург) на основе спутниковых данных NOAA/AVHRR и Terra/MODIS разработана и создана геоинформационная база данных о крупных лесных пожарах в азиатской части России за период 1996–2009 гг. Итоговая карта распределения крупных пожаров выставлена на сервере глобального мониторинга лесных пожаров Current & Archived Significant Global Fire Events and Fire Season Summaries, доступного по адресу <http://www.ruf.uni-freiburg.de/fireglobe/current/globalfire.htm>.

Делается вывод о том, что спутниковый мониторинг в настоящее время перспективен для картирования и оценки последствий массовых и катастрофических крупных пожаров. Для раннего обнаружения малоразмерных пожаров необходимо создать специальную спутниковую группировку, обеспечивающую разведку в районах по-

вышенной пожарной опасности с повторностью 2 и менее часов и пространственным разрешением порядка 200 м. Прототипом такого спутника является система BIRD/DLR и проект Transparent World FIRE. Авиационный мониторинг перспективен главным образом для детальной разведки тактических частей пожара, с целью определения его интенсивности и скорости продвижения кромки, а также оценки эффективности противопожарных мероприятий.

Обсуждается комплексный подход в оценке пожарной опасности по условиям погоды и прогнозирования энергетических параметров лесных пожаров погоды на основе информации NOAA/AVHRR/TOVS, ГИС-МЕТЕО и других геоинформационных баз данных. Предложено и обосновано применение дополнительного спектрального диапазона 1,6 мкм, установленного на спутниках NOAA 16-19.

На основе спутниковых съемок проведено исследование скорости и траектории перемещения основных атмосферных барических образований. По данным американских полярно-орбитальных спутников NOAA/AVHRR/TOVS и ГИС-МЕТЕО показано, что расхождение 5-дневных прогнозных траекторий с действительными составляет около 30 %, что открывает возможности среднесрочного прогноза пожарной опасности на региональном и местном уровнях.

По данным NOAA/AVHRR показана связь динамики вегетационного индекса растительности на крупных пожарных участках с интенсивностью тепловыделения на кромке пожара и с таксационными показателями насаждения.

Сравнительный анализ данных низкого (NOAA) и высокого (Landsat-ETM) разрешения в распознавании границы пожарного участка и оценке площади, пройденной огнем, показал, что расхождение оценок составляет 27 % для пожарных участков до 1 000 га и 16 % для площадей более 5 000 га, что позволяет применять данные спутника NOAA для получения удовлетворительных оценок в мониторинге регионального и федерального уровней.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-05-98008-р_сибирь_a).

Сделан вывод об определяющем вкладе массовых и катастрофических пожаров в площадь, пройденную огнем, и высоком проценте гибели древостоя. Развивается гипотеза об усилении устойчивости антициклона в зоне действия массовых пожаров и существовании глубокой положительной обратной связи между этими явлениями.

Дается анализ развития пожарной обстановки в лиственных лесах республики Саха-Якутия в междуречье рек Лена–Вилуй, приведшей в 2002 г. к частичной гибели растительности на площади свыше 5 млн га. В этом районе дождевые осадки не выпадали практически в течение всего пожарного сезона. Массовые пожары, возникающие от гроз, а также по вине человека, за короткое время возникли на территории 0,7 млн км² и в начале августа представляли собой пространственно распределенный генератор горячих дымовых газов, энергия которого была достаточна для задержки прохождения циклонов через эту территорию. Обстановка сопровождалась задымлением местности протяженностью более 2 тыс. км. На основе данных спутников NOAA, TOMS проведены предварительные исследования динамики эмиссий CO₂, CO, CH₄, содержащихся в дымовых аэрозолях в зоне массовых пожаров в 2002 г. в республиках Саха-Якутия

(на площади 5,4 млн га, пройденной пожарами), Тыва на площади 1,5 млн га, в Амурской области на площади 0,8 млн га, при этом выход эмиссий может превышать 70 млн т.

Отмечается возможность повышенного выхода метана и его соединений в зоне массовых пожаров в Якутии (левобережье реки Лена на широте города Якутска), что привлекает внимание в связи с важной ролью метановых соединений в создании парникового эффекта современной атмосферой. Обсуждаются послепожарные изменения в напочвенном покрове и нарушения в верхних горизонтах вечной мерзлоты, произошедшие вследствие изменения радиационного баланса.

Обсуждается экономический, социальный и экологический ущерб от пожаров в Хабаровском крае (1998), Амурской области (1997–2002), Якутии, Тыве (2002), Иркутской, Читинской, Амурской областей, Агинского Бурятского национального округа (2003, 2007–2008), приведший к последствиям, носящим глобальный характер.

Делается вывод о наступлении неуправляемой пожарной обстановки, когда число и площадь возникших пожаров превышает критические величины и подавление пожаров силами лесной охраны становится невозможным и необходимо привлечение сил МЧС и других резервов федерального уровня.

A. I. Sukhinin

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

AEROSPACE MONITORING OF CATASTROPHIC WILDFIRES IN EAST SIBERIA

The probability approach of wildfire detection, energy release and fire scars estimation is developed using NOAA /AVHRR and Terra/MODIS information. Catastrophic wildfires in East Siberia behavior is discussed. We can conclude that the mechanism of fire propagation by irradiative flux is dominant for high intensity surface and crown fires.

We propose the hypothesis of positive feedback between anticyclone growth and energy release from wildfires for the huge burned territories. The critical number of fires is defined when the fire situation becomes uncontrolled according to the total fire intensity.

© Сухинин А. И., 2009

УДК 528.873

Н. В. Трофимова, А. И. Сухинин, Е. Г. Швецов
Институт леса имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

А. В. Иванов
Санкт-Петербургский университет информационных технологий
механики и оптики, Россия, Санкт-Петербург

СРЕДНЕСУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ДЫМОВЫХ ЭМИССИЙ НА ПРИМЕРЕ ЕДИНИЧНОГО ПОЖАРА 2006 ГОДА

Дана среднесуточная оценка массового выхода пожарных эмиссий на примере единичного пожара 2006 года.

Пожар – один из важнейших процессов, происходящих на земле, и особенно важны химические реакции и физические процессы, протекающие в нем – это выделение газов и частиц вещества, в конечном счете попадающих в атмосферу в процессе горения биомассы. Пожар приводит к изменению физического состояния растительности, в результате чего в атмосферу высвобождаются различные парниковые газы. На сегодняшний день остро стоит проблема с размерами выделения и оседания парниковых газов и аэрозолей, которые вносят существенный вклад в развитие парникового эффекта. Поэтому оценка выбросов в атмосферу от лесных пожаров является одной из первоочередных задач.

В работе представлена апробация методики расчета массы дымовых эмиссий, выделившихся в результате действия пожара, и показана динамика выбросов в зависимости от среднесуточной площади, пройденной огнем. В качестве тестового участка выбрана гарь 2006 г., расположенная на границе Лаушкардинского и Пановского участков лесничеств Красноярского края с координатами центра 59° 52' с. ш., 101° 33' в. д.

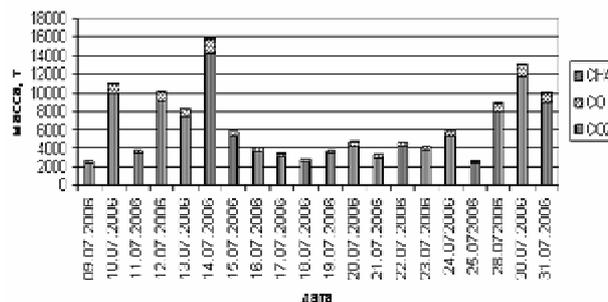
Количественная оценка пожарных эмиссий проводилась по методике, представленной в работе [1]. Сущность методики заключается в выражении количества сгоревшего углерода и соответственно количества выделившихся в результате термической деструкции газовых составляющих продуктов горения через количество сгоревшей в результате пожара биомассы, посредством комплексного использования данных дистанционного зондирования и лесорастительных характеристик. Использование данных дистанционного зондирования в методике оценки дымовых эмиссий представлено в анализе среднесуточной площади, пройденной огнем, по результатам детектирования тепловых аномалий, используя данные сенсора AVHRR спутника NOAA, и выражении полноты сгорания биомассы через значения радиационной мощности и радиационной энергии

пожара по данным MODIS/Terra. Это повышает оперативность оценок выбросов пожарных эмиссий. Для определения общего запаса биомассы и доли лесных горючих материалов, способных к горению, использовались данные лесной таксации. Из недостатков методики следует отметить погрешность в определении площади, пройденной огнем. Анализ результатов детектирования активных пожаров по данным спутника AVHRR/NOAA позволил выявить ряд неточностей и ошибок, возникающих при регистрации тепловых аномалий очагов горения, и сделать вывод о том, что площадь пожарищ превышает реальные значения примерно на 30 %.

С момента возгорания пожара 9 июля 2006 г. до прекращения 31 июля 2006 г. общая площадь, пройденная огнем, составила 17 936,53 га.

Средний запас биомассы для тестового участка, по данным лесной таксации, составляет порядка 120 т/га, из которого на долю лесных горючих материалов приходится в среднем 40 %. Совокупная полнота сгорания лесных горючих материалов вычислена по методике, представленной в работе [2], и равна 316 000 т.

Обладая перечисленным набором данных и исходя из того, что 45 % биомассы состоит из углерода, произведена среднесуточная оценка сгорающей биомассы (см. рисунок).



Среднесуточная динамика выхода
пожарных эмиссий

Учитывая процентное соотношение выхода газовых компонентов дымовых эмиссий по фазам тления/горения при распространении пожара [3], были рассчитаны массы основных газовых компонентов

Библиографический список

1. Трофимова, Н. В. Дистанционная оценка дымовых эмиссий от крупных лесных пожаров / Н. В. Трофимова, О. А. Дубровская, А. И. Сухинин // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 1(18).

2. Wooster, M. J. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release / M. J. Wooster, G. Roberts, G. L. W. Perry, Y. J. Kaufman // J. of Geophys. Research. 2005. Vol. 110.

3. Soja, A. J. Estimating fire emissions and disparities in boreal Siberia (1998 through 2002) / A. J. Soja [et al.] // J. of Geophys. Research. 2004. Vol. 109.

N. V. Trofimova, E. G. Shwetsov, A. I. Sukhinin

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

A. V. Ivanov

Saint-Petersburg State University of Information Technologies,
Mechanics and Optics, Russia, Saint Petersburg

DAILY AVERAGE DYNAMICS OF SMOKE EMISSION ON AN EXAMPLE OF SINGULAR FIRE IN 2006

The daily average estimation of a mass exit of fire emission on an example of singular fire in 2006 is given.

© Трофимова Н. В., Сухинин А. И., Швецов Е. Г., Иванов А. В., 2009

УДК 528.88.042.4:630

Е. Г. Швецов

Институт леса имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Проведена оценка энергетических параметров лесных пожаров по данным радиометра MODIS. С помощью измерений радиационной энергии пожаров выполнена оценка количества сгоревшей биомассы. Выполнена оценка интенсивности тепловыделения на кромке пожаров по спутниковым данным.

Совершенствование спутниковых сенсоров и доступность больших объемов мультиспектральных данных позволяют оценивать энергетические характеристики пожаров. Так, радиометр MODIS, находящийся на спутниках Terra и Aqua, является первым сенсором, способным оценивать радиационную энергию пожара в глобальном масштабе [1].

В сущности, радиационная энергия пожара – это доля химической энергии, выделяемой в процессе горения растительности, которая высвобождается в виде излучения [2]. Спутниковые спектрометрические приборы, работающие в инфракрасном диапазоне, могут напрямую измерять это тепловое излучение.

Отмечается, что измерение количества радиационной энергии, выделенной в процессе горения, может дать величину, напрямую связанную с

интенсивностью кромки пожара и количеством растительности, сгоревшей в единицу времени [3]. Кроме этого, Вустером была количественно проверена связь между радиационной энергией пожара и количеством сгоревшей биомассы с использованием наблюдений полевого спектрометрического прибора в случае небольших экспериментальных пожаров [4]. Почти на двух порядках величины результаты демонстрировали линейную зависимость между общей радиационной энергией, выделенной в процессе горения, и массой сгоревшей растительности.

В ходе данной работы выполнена оценка энергетических параметров, а также оценка количества сгоревшей биомассы для пожаров, обнаруженных в июле 2006 г. в районе реки Ангара по данным радиометра MODIS. Детектирование пожа-

ров выполнялось с использованием вероятностного порога обнаружения, определяемого путем анализа статистических параметров распределения температуры в среднем инфракрасном канале радиометра MODIS. При этом для детектирования пожаров применялись пороговые значения, обеспечивавшие вероятность принадлежности пиксела к числу «пожарных», равную 0,95.

Оценка энергетических параметров пожаров выполнялась с использованием соотношения между значениями температуры, зафиксированными в 21 канале радиометра MODIS, и радиационной мощностью пожара [3; 5].

$$FRP = 4,34 \cdot 10^{-19} (T_4^8 - T_{4b}^8), \quad (1)$$

где FRP – радиационная мощность (МВт/пиксел); T_4 и T_{4b} – значения температуры «пожарного» пиксела и фона, зафиксированные в среднем инфракрасном канале радиометра MODIS.

При этом минимальное и максимальное зарегистрированные значения радиационной мощности составляют 12 и 4 396 МВт соответственно. Среднее значение для рассмотренных пожаров составило 551 МВт. Следует отметить, что большинство пожаров приходилось на пожары, имеющие небольшую мощность. Так, на пожары, радиационная мощность которых не превышала 200 МВт, приходилось около 43 % от общего числа пожаров.

Следующим шагом была оценка количества биомассы, сгоревшей при пожаре. Вустер продемонстрировал, что связь между радиационной энергией, выделенной при пожаре, и массой сгоревшего топлива, может считаться линейной [5]. Для оценки общего количества сгоревшей биомассы выполнено интегрирование значений мгновенной скорости сгорания биомассы по времени существования пожара. Чтобы вычислить скорость сгорания биомассы по радиационной мощности пожара, применялось соотношение [6]:

$$R_{\text{biomass}} = 0,368(\pm 0,015) \cdot FRP, \quad (2)$$

где R_{biomass} – скорость сгорания биомассы (кг/с); FRP – радиационная мощность пожара (МВт).

Всего в пожарах, рассмотренных в данной работе, было выделено около 6 200 ТДж радиационной энергии, а сгорело более 2 млн т биомассы.

Кроме этого, произведена оценка интенсивности тепловыделения на кромке пожара. Необходимая для оценки этого параметра информация о площади высокотемпературной зоны пожара была получена с помощью метода Дозира [7].

Библиографический список

- Justice, C. O. The MODIS fire products / C. O. Justice [et. al.] // Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 83.
- Wooster, M. J. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products / M. J. Wooster, B. Zhukov, D. Oertel // Remote Sensing of Environment. 2003. Vol. 86.
- Kaufman, Y. Relationship between remotely sensed fire intensity and rate of emission of smoke: SCAR-C experiment / Y. Kaufman [et. al.] // Global biomass burning. J. Levine (ed.). MA : MIT Press, 1996.
- Wooster, M. J. Small-scale experimental testing of fire radiative energy for quantifying mass combusted in natural vegetation fires / M. J. Wooster // Geophys. Research Letters. 2002. Vol. 29 (21).
- Kaufman, Y. J. MODIS ATBD: Fire Products (Version 2.2, Nov. 10, 1998) / Y. J. Kaufman, C. O. Justice // EOS ID#2741. 1998.
- Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release / M. J. Wooster, G. Roberts, G. L. W. Perry, Y. J. Kaufman // J. of Geophys. Research. 2005. Vol. 110.
- Dozier, J. A method for satellite identification of surface temperature fields of sub-pixel resolution / J. Dozier // Remote Sensing of Environment. 1981. Vol. 11.

E. G. Shvetsov

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

ESTIMATION OF FOREST FIRE ENERGY PARAMETERS USING SATELLITE DATA

Estimation of forest fire energy parameters using MODIS data is performed. The total biomass consumption values are calculated using fire radioactive energy measurements. Fire front line intensity is evaluated using satellite data.

© Швецов Е. Г., 2009

М. И. Этов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука, Россия, Новосибирск

В. Л. Миронов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

К. В. Музалевский

Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО ВОДОНЕФТЯНОГО КОНТАКТА
С ПОМОЩЬЮ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

Предложен метод определения расстояния от излучающей антенны до границы водонефтяного контакта в процессе каротажа нефтенасыщенного коллектора импульсами наносекундной длительности. Показана принципиальная возможность оценивать расстояния с погрешностью порядка 10 %.

В последнее время активно ведутся исследования, направленные на разработку новых технологий и средств геонавигации в процессе проходки нефтяных месторождений, чтобы обеспечить технологически приемлемое положение скважины в зоне максимальной продуктивности пласта, относительно газонефтяного (ГНК) и водонефтяного (ВНК) контактов [1]. Как показано в последних исследованиях, использование сверхширокополосных импульсов (СШП) позволяет получить лучшее, чем в существующих методах пространственное положение ВНК [2]. Исследуем данную проблему в случае применения электрического вибратора конечного размера в качестве излучающей антенны.

Рассмотрим распространение импульсов в полубесконечной нефтенасыщенной среде в присутствии плоской границы с водонасыщенным полупространством (рис. 1). Зондирующий импульс излучается цилиндрической антенной радиуса $a = 0,002$ м и длиной $L = 0,12$ м, центр дипольного вибратора совпадает с точкой $(x = 0, y = 0, z = D)$.

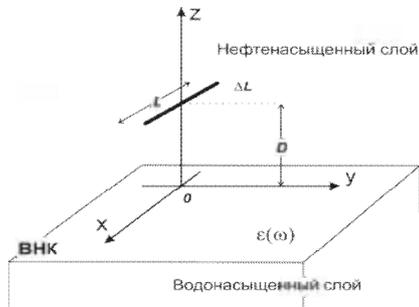


Рис. 1. Зондирование ВНК

В центре антенна возбуждалась напряжением $V(t)$, форма которого задавалась в виде оконной функции Блэкмена–Харриса, с шириной окна T . Поле волны, отраженной от ВНК, измеряется в

точке $(x = 0, y = \Delta L, z = D)$. Комплексная диэлектрическая проницаемость (КДП) сред коллектора задавалась на основе экспериментально обоснованной спектроскопической модели, которая учитывает петрофизические параметры среды коллектора [1]. Распределение тока на антенне искалось на основе метода МДИ [3].

Проведем моделирование распространения импульсов двух длительностей $T_1 = 3,0$ нс и $T_2 = 0,3$ нс, излученных вибратором в однородной нефтенасыщенной среде. Определим групповые скорости распространения импульсов по известному расстоянию, пройденному импульсом, ΔL и времени задержки t_3 , которое определялось из решения задачи о распространении импульса и рассчитывалось по максимуму огибающей аналитического сигнала импульса (рис. 2).

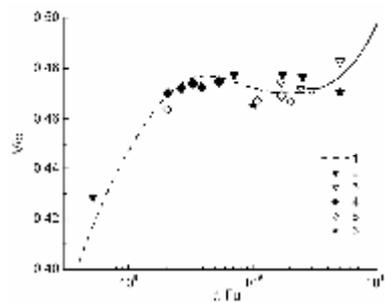


Рис. 2. Групповая скорость импульсов в нефтенасыщенной среде:

- 1 – групповая скорость узкополосного импульса;
2 – диполь $T = 1,5$ нс, 3 – диполь $T = 0,1$ нс; 4 – вибратор $T = 3,0$ нс; 5 – вибратор $T = 0,3$ нс; 6 – нитевидный источник $T = 0,2$ нс и 1 нс

Далее сопоставим скорости импульса на расстоянии ΔL , частоту центра тяжести спектра импульса в среде на этом расстоянии (см. рис. 2). Там же приведены аналогичные скорости для

случаев излучателя в виде электрической нити [1] и точечного диполя [2] и показана зависимость от частоты групповой скорости узкополосного импульса, определенная с использованием простой аналитической формулы [4] и известного спектра КДП среды.

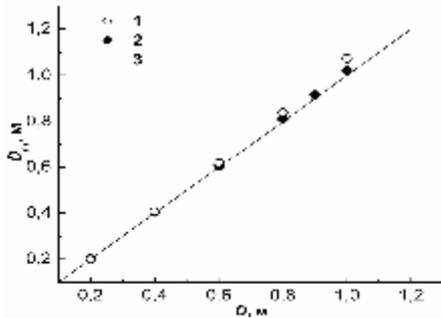


Рис. 3. Зависимость измеренной высоты D_m от истинной высоты D над ВНК в случае диполя конечных размеров:
 1 – $T = 3,0$ нс, $\sigma = 6,610^{-2}$ м; 2 – $T = 0,3$ нс, $\sigma = 1,310^{-2}$ м; 3 – биссектриса

Установлено, что групповые скорости, рассчитанные в приближении узкополосных импульсов [4, с. 19], и скорости, определенные в результате проведенного моделирования, удовлетворительно согласуются друг с другом. Используя зависимость 1 (см. рис. 2), определим групповую скорость распространения импульсов, излученных вибратором, $V(L_{эф})$ на расстоянии $L_{эф}$ по формуле

$$V(L_{эф}) = \frac{1}{f_{ц}(L_{эф}) - f_{ц}(0)} \int_{f_{ц}(L_{эф})}^{f_{ц}(0)} V(f) df, \quad (1)$$

где $V(f)$ – групповая скорость, определяемая по кривой 1; $f_{ц}(L_{эф})$ – частота, соответствующая цен-

тру тяжести спектра импульса, принятого на расстоянии $L_{эф} = (4D - \Delta L)^{1/2}$; $f_{ц}(0)$ – частота центра тяжести частотного спектра импульса, подаваемого на вход излучающей антенны. Далее, измерив временную задержку t_3 импульсов, отраженных от ВНК, и вычислив групповую скорость по формуле (1), найдем $L_{эф}$, вычислим высоту излучающей антенны (точечного диполя) D_m над ВНК.

Как следует из результатов (рис. 3), используя известный спектр КДП нефтенасыщенной среды, спектр импульса на входе антенны, измерив временную задержку отраженного от ВНК импульса и его частотный спектр, можно определить расстояние от излучающей антенны до ВНК с погрешностью менее 10 %.

Библиографический список

1. Электромагнитное зондирование флюидонасыщенного слоистого коллектора наносекундными импульсами / М. И. Эпов, В. Л. Миронов, С. А. Комаров, К. В. Музалевский // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 12.
2. Распространение сверхширокополосного электромагнитного импульса в средах флюидонасыщенного слоистого коллектора / М. И. Эпов, В. Л. Миронов, С. А. Комаров, К. В. Музалевский // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 2.
3. Pulse Electromagnetic Sounding of the Petroleum-Containing Layered Medium / М. I. Ehpov, S. A. Komarov, V. L. Mironov, K. V. Muzalevsky // Proc. IEEE Geosci. and Remote Sens. Symp. Barcelona. 2007. Vol. VII.
4. Вайнштейн, Л. А. Распространение импульсов / Л. А. Вайнштейн. Рязань : Изд-во Рязан. тип., 1975.

М. И. Эпов

A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Russia, Novosibirsk

V. L. Mironov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

K. V. Muzalevsky

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

METHOD TO DETECT THE WATER-OIL CONTACT IN OIL-SATURATED RESERVOIR BY UWB PULSES

The detection method of the water-oil contact of oil saturated reservoir in the logging process is proposed by the pulses of nanosecond duration. The distance from antenna to water-oil contact to be estimated with an error in order of 10% is demonstrated.

© Эпов М. И., Миронов В. Л., Музалевский К. В., 2009

УДК 911.2; 631.58; 631.4; 528.93

С. Е. Перфильев

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Сибирского отделения
Российской академии сельскохозяйственных наук, Россия, Красноярск

А. К. Черкашин

Институт географии имени В. Б. Сочавы Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

ПОДХОДЫ И ПРИНЦИПЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ ЮГА ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

Рассмотрены подходы и принципы картографирования агроландшафтов юга Центральной Сибири (Красноярский край) по космическим снимкам среднего разрешения для организации космического аграрно-промышленного мониторинга. Представлена базовая схема пространственной организации геосистем в порядке рангов (агро)ландшафтного строения: страна, область, провинция, округ (ландшафт), сопряженных с административными районами.

Для ведения космического аграрно-промышленного мониторинга и ландшафтного планирования экономически освоенной территории необходимо составить базовую картограмму пространственной организации (агро)ландшафтов. Картографирование опирается на дешифрирование и интерпретацию высотных снимков.

В настоящее время территориальное планирование с учетом устойчивого социально-экономического развития в США, Канаде, Японии, Мексике, странах Евросоюза и России осуществляется в парадигме ландшафтного планирования. Она предусматривает природоохранное и ресурсосберегающее природопользование с созданием условий достойной жизни местного населения и составлением экологических карт.

Ведущим подходом в составлении ландшафтных и экологических карт является отграничение тектонических блоков земной коры различной размерности. В рельефе они представлены геоморфологическими структурами (геоморфами), имеющими линейную, дуговую, кольцевую и решетчатые формы. Полученные ландшафтные карты служат основой анализа закономерностей пространственной упорядоченности геосистем, их пространственного сопряжения и взаимодействия.

При выделении геосистем как природных целостностей соблюдались основные принципы интерпретации данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и картографирования агроландшафтов. Это принципы изучения ландшафтной структуры от общего к частному (дедукция); дискретности ландшафтной структуры по формам рельефа и литологии; вместимости территории агроландшафта в природную местность ландшафта; первичности климата в размещении растительности в ландшафтах и его изменения морфологической структурой агроландшафтов; трансформации зо-

нального климата макро- и мезоформами рельефа в местный климат; иерархичности и ранжированности строения ландшафтной структуры, которая находится в диалектическом единстве части и целого, общего и частного; детерминантности (взаимосвязи и взаимозависимости) природных компонентов и процессов; гомогенности (однородности) форм рельефа и почвообразующих пород ландшафта и агроландшафта; превалирования природных условий и компонентов формирования ландшафта над условиями и особенностями создания и функционирования агроландшафта.

Весь комплекс методов и работ по картографированию агроландшафтов, составлению агроландшафтных, агроэкологических и специальных тематических карт с использованием космоснимков и применения ГИС определен как система космического аграрно-промышленного мониторинга (СКАМ). Наряду с оценкой фитосанитарной и ветеринарной обстановки на сельскохозяйственных землях, в СКАМ используются ДДЗ для ландшафтного планирования и определения экономической специализации земель в соответствии с их плодородием и продуктивностью, для изучения применяемых аграрных технологий в земледелии и кормопроизводстве и создания киберпространства полей движения роботизированных агрегатных комплексов в ГЛОНАСС/GPS.

СКАМ включает группировку космических аппаратов, осуществляющих съемку различного разрешения; станцию приема, обработки и геодезической привязки космических снимков; группировку спутников ГЛОНАСС/GPS с центром геодезической и географической привязки объектов на космическом снимке.

В основе структурно-геоморфологического метода (СГМ) лежит визуально-экспертное ступенчатое ландшафтное дешифрирование косми-

ческих снимков различного разрешения (масштаба) для выяснения агроландшафтного устройства территории.

Границы котловин и впадин проводились по стыкам гор и наклонных плато, килевым линиям сопряжения горных сооружений и равнин, подошвам склонов плато и равнин.

В результате картографирования территории юга Центральной Сибири по космоснимкам среднего разрешения были выделены следующие физико-географические страны: Западно-Сибирская равнина, Среднесибирское плоскогорье и горы Южной Сибири. В каждой стране методом СГМ были отграничены физико-географические области, провинции и ландшафты.

На первом этапе были отграничены (агро)ландшафтные области: Чулымо-Обские наклонные и низкие таежные равнины; Кеть-Кемчугская таежная возвышенность Обь-Енисейского водораздела, Приангарское таежное интрузивное плато, лесостепные Назаровско-Минусинская и Канско-Тасеевская котловины.

В Назаровско-Минусинской и Канско-Тасеевской котловинах было выделено 5 типов ландшафтных провинций.

Следующим этапом дешифрирования и интерпретации космических снимков среднего разрешения (30...100 м) стало разделение (агро)ландшафтных провинций на (агро)ландшафтные окру-

га – природные ландшафты – по их принадлежности к мезорельефу. Данный подход позволил выделить 15 провинций с 51 природным округом. В результате типизации форм рельефа установили ландшафты юго-восточной части Западно-Сибирской равнины, Кемчугской возвышенности, пойменно-террасового комплекса реки Енисей, Назаровско-Минусинской и Канско-Тасеевской котловин.

Дальнейшее выделение типов агроландшафтов предусматривало разделение котловин на впадины и поднятия с преобладающими видами агроландшафтов, расположенные на мезоструктурах рельефа и приуроченные к зональным проявлениям биоклиматических параметров. Всего было выделено 9 типов ландшафтов с агроландшафтами. При этом границы агроландшафтных районов не совпадают с границами административных районов.

Представленное картографирование пространственной организации (агро)ландшафтов юга Центральной Сибири позволяет определить местности для создания оптимального количества тест-полигонов по наблюдению в СКМ на космических снимках высокого разрешения за применяемыми аграрными технологиями, вегетацией культур по индексам NDV и экологическими последствиями антропогенно-техногенного воздействия на геосистемы.

S. E. Perfil'ev

Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

A. K. Cherkashin

V. B. Sochava Institute of Geography, Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Irkutsk

APPROACHES AND PRINCIPLES OF MAPPING AGRARIAN LANDSCAPES OF THE SOUTH OF THE CENTRAL SIBERIA

Approaches and principles of mapping agrarian landscape the south of the Central Siberia (Krasnoyarsk region) for the organization space the agrarian industry monitoring are considered. On Space pictures the average sanction the base circuit of the spatial organization of geosystems is submitted by way of ranks (agro) landscape structure: the country; area; a province; the district (landscape), connected to administrative areas.

© Перфильев С. Е., Черкашин, А. К., 2009

**УСТРОЙСТВО СОПРЯЖЕНИЯ КОМПЬЮТЕРА С УСТРОЙСТВОМ
СЛЕЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

Описывается проблема сопряжения персонального компьютера с устройством слежения за Солнцем концентратора солнечной энергии (КСЭ) при помощи подключения параллельных, последовательных и универсальных портов. Приводится один из примеров устройства для решения проблем сопряжения персонального компьютера с устройством слежения КСЭ.

В настоящее время наиболее известны параллельный, последовательный и универсальный порты (называемые также универсальными шинами), которые встроены в архитектуру каждого компьютера. С их помощью осуществляется большинство способов управления внешними устройствами компьютера [1]. В зависимости от различного вида объекта управления разрабатываются и соответствующие устройства сопряжения компьютера и внешнего устройств. Естественно, здесь имеют место определенные проблемы аппаратного сопряжения. Большинство производителей внешних устройств компьютера ориентируются на общепринятые стандарты информационного обмена. При подключении к компьютеру нового устройства для управления и контроля над внешним объектом появляется ряд проблем аппаратного характера. Если не считать совместимости энергетических параметров устройств, то совместимость аппаратной части чаще всего понимается как информационная совместимость, которую можно осуществить программным способом. В связи с этим появляется проблема сопряжения, которую можно решить лишь двумя способами, аппаратным и программным. В нашем случае такой проблемой явилось сопряжение компьютера с устройствами слежения КСЭ, предназначенного для определенного производственного технологического цикла. КСЭ с нестандартными геометрическими и дополнительными параметрами не допускает применения стандартных устройств сопряжения различных производителей.

В качестве примера приведем схему использованного нами устройства сопряжения с компьютером, которое работает на последовательном порте компьютера. Принципиальная электрическая схема устройства сопряжения показана на рис. 1.

В схеме устройства сопряжения использовали микросхему UART CDP6402, плата которой соединяется с последовательным портом. Линии RRI, TRO и TBRL соединены с контактами TD, RD и DTR последовательного порта. Тактовый

генератор собран на микросхеме CD4060 и кварцевом резонаторе 2,457 5 МГц. Тактирующий сигнал с частотой 153,6 кГц поступает с контакта 7 микросхемы CD4060. Формат передачи данных следующий: скорость 9 600 бод, длина блока данных 8 бит, длина стоповой посылки 1 бит, без проверки на четность. Контакт 18 микросхемы UART CDP6402 соединен с общим проводом. Это означает, что микросхема устройства сопряжения принимает данные от следящей системы КСЭ в непрерывном режиме.

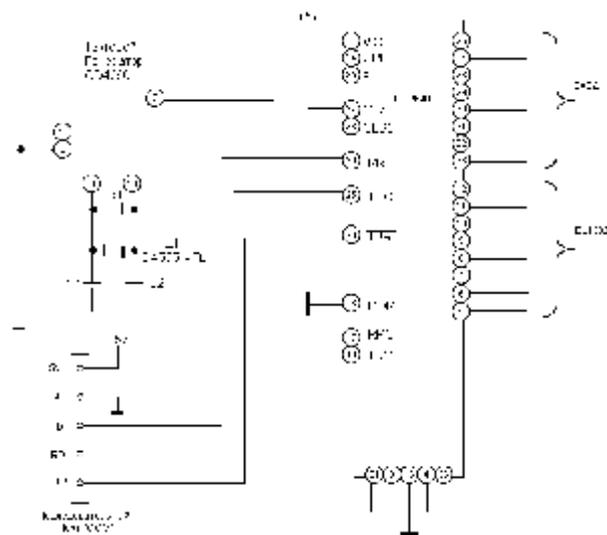


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема устройства сопряжения компьютера со следящей системой КСЭ на базе микросхемы UART CDP6402 для последовательного порта

Указанную схему устройства сопряжения использует специализированное программное обеспечение PAPAN, разработанное авторами для последовательного порта [2; 3]. С помощью программы и данной схемы устройства сопряжения появляется возможность передавать данные (управляющие команды) с компьютера на устройство следящей системы КСЭ. При изменении состояния линии DTR из единицы в нуль и затем

вновь в единицу данные считываются в компьютере.

Входы микросхемы содержат условные адреса TBR0-TBR7, которые соответствуют контактным ножкам 26...33 микросхемы устройства сопряжения. Выход микросхемы тоже содержит условные адреса RBR7-RBR0, соответствующие контактным ножкам микросхемы 5...12.

В основном ключ решения проблемы заключается в преобразовании формы сигналов в удобную для обработки процессором компьютера в процессе информационного обмена, происходящего в вышеназванных портах компьютера. Чтобы понять данное решение, рассмотрим временную диаграмму приема-передачи данных (рис. 2) в устройстве сопряжения с компьютером на базе микросхемы CDP6402.

Временные диаграммы приема изображены на рис. 2, а. Данные вводятся через вход RRI. Если данных нет, то на входе RRI должна быть единица. На этапе А, на вход \overline{DRR} , подается нуль, при этом линия DR очищается. На этапе В, во время первой стоповой посылки, данные передаются из регистра приемника в буферный регистр приемника. В этом случае линия DR не очищается перед началом передачи, возникает ошибка переполнения. На этапе С, через 1/2 тактового интервала, после этапа В, линия DR переходит в единичное состояние, показывая, что новые данные приняты. Единица на выходе FE означает, что принята неверная стоповая посылка; единица на выходе PE указывает на ошибку паритета. Если микросхема устройства сопряжения работает в непрерывном режиме, то \overline{DRR} соединяется с общим проводом.

Временные диаграммы передачи представлены на рис. 2, б. На этапе А данные загружаются в буферный регистр передатчика через входы TBR0-TBR7 по отрицательному фронту на входе \overline{TBRL} . Данные на входах TBR0-TBR7 должны быть уже выставлены. Если длина блока данных менее восьми бит, то используются младшие биты. На этапе В положительный фронт по входу \overline{TBRL} сбрасывает \overline{TBRL} . После небольшой задержки данные передаются в регистр передатчика, а на выходе TRE появляется нуль. Выход TBRE переходит в единичное состояние, показывая, что буферные регистры передатчика пусты. Тактирующий сигнал для выходных данных должен иметь частоту, в 16 раз большую, чем скорость передачи. На этапе С \overline{TBRL} переходит из единицы в нуль, а затем снова в единицу, при этом в буферный регистр передатчика загружается второй блок данных. Передача данных в регистр передатчика задерживается до тех пор, пока не завершится передача текущего символа. На

этапе D данные автоматически поступают в регистр передатчика и начинается передача второго блока. Данный процесс выполняется в течение эксплуатации следящей системы за Солнцем КСЭ, т. е. до получения команды прекращения управления.

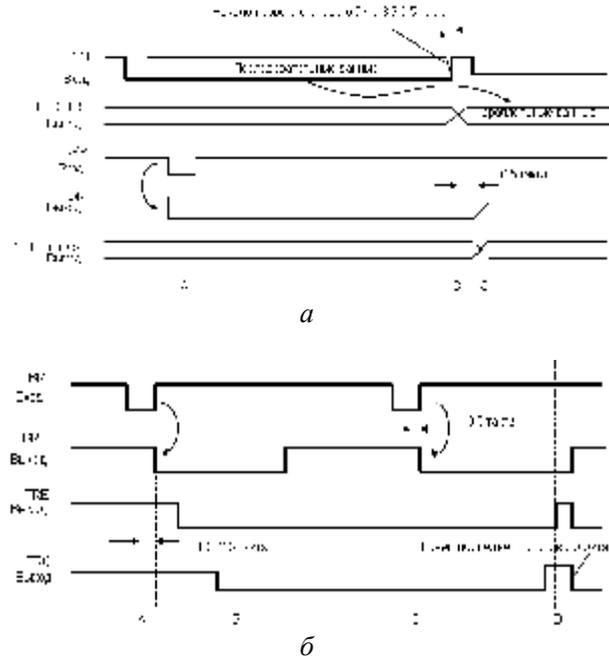


Рис. 2. Временные диаграммы приема передачи данных в устройстве сопряжения компьютера на базе микросхемы UART CDP6402:
а – приема; б – передачи

Существует много ситуаций, когда сигналы нижнего уровня должны быть обнаружены и усилены в присутствии потенциально опасных напряжений. Примеры могут быть найдены в отдаленном ощущении, моторном контроле (управлении) механизма КСЭ, сборе данных и непосредственном контроле датчиков КСЭ. Устройство сопряжения с компьютером выполняет также роль устройства изоляции, которое действует как интерфейс между портом компьютера и внешними устройствами (устройством следящей системы КСЭ). Это обеспечивает гальваническую изоляцию между вводом и выводом, также отклоняет большие сигналы общего режима, появляющиеся при вводе, и нарушает (ломает) наземные циклы, так как ввод и вывод являются плавающими относительно друг друга. Такая изоляция увеличивает срок службы подключаемых устройств системы слежения КСЭ, а также самого компьютера. Следует отметить, что имеются и другие устройства различных производителей, которые тоже могут противостоять большим напряжениям общего режима при вводе (это информационные сигналы, поступающие через устройства следящей системы КСЭ), но они не имеют гальваниче-

ской изоляции, что не дает гарантии стабильной и долговечной работы.

Источником питания является двуполярный встроенный блок стабилизированного питания постоянного тока +5 и –5 В с номинальным током 1,2 А. Имеется возможность подключения к бортовому источнику питания компьютера.

Таким образом, используя данное устройство между управляющим компьютером и системой слежения за Солнцем КСЭ, можно добиться безопасного использования компьютера и устройства следающей системы в полной аппаратной и информативной совместимости на длительное время эксплуатации.

Библиографический список

1. Pei, An. PC interfacing, Practical Guide to Centronic RS 232 and Game Ports / An. Pei // Reed Educational & Professional Publishing Ltd, 1998.

2. Специальная компьютерная программа управления следающей системой концентратора солнечной энергии PAPAN : а. с. № 164 / А. К. Акматов, Р. Н. Орозов ; зарегистр. в госреестре программ для ЭВМ Кыргыз. Респ. 25.07.2008 г.

3. Компьютерная программа управления концентратором солнечной энергии / А. К. Акматов, И. О. Фролов, Р. Н. Орозов и др. // Вестн. Кыргыз. отд-ния Междунар. акад. энергетики им. А. Эйнштейна. 2006. № 2(4). С. 12–17.

A. K. Akmatov, I. O. Frolov, R. N. Orozov

N. Isanov Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture,
Kyrgyz Republic, Bishkek

THE DEVICE OF INTERFACE OF A COMPUTER WITH THE DEVICE OF TRACKING OF THE CONCENTRATOR OF A SOLAR ENERGY

In article the problem of interface of a personal computer with the device of tracking the Sun of the concentrator of a solar energy by means of connection of parallel, consecutive and universal ports is given. One of examples of the device for the decision of problems of interface of a personal computer with the device of tracking of the concentrator of a solar energy is resulted. The combination of a hardware and program part of connection and management of external devices of a computer opens an essence of concept «interfaces of a computer».

© Акматов А. К., Фролов И. О., Орозов Р. Н., 2009

УДК 620.9

A. A. Asanov, A. K. Akmatov, P. N. Orozov

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры
имени Н. Исанова, Кыргызская Республика, Бишкек

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОСКИХ КОНЦЕНТРАТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПАРАБОЛОИДНОЙ ФОРМЫ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Описывается компьютерное программное обеспечение, позволяющее автоматически по требованию пользователя управлять положением теплоприемника в фокальной оси концентратора солнечной энергии для получения постоянной температуры, для тех или иных технологических целей в течение солнечного дня, независимо от времени года.

Одним из самых эффективных способов преобразования солнечного излучения является его концентрация с помощью особых устройств – концентраторов солнечной энергии (КСЭ). КСЭ наиболее часто используются в установках для преобразования солнечной энергии в тепловую и электрическую. Для получения максимального энергетического эффекта необходимо точное направление концентратора на объект излучения – Солнце. В связи с этим появляется необходимость разработки эффективных следающих систем. По

сравнению с КСЭ с точечным фокусом наиболее простым и технологичным в изготовлении являются плоские КСЭ параболической формы (ПФ). Они также удобны для модульного наращивания мощности. В зависимости от формы приемника и его расположения относительно фокальной оси можно получать искомые выражения для распределения плотности сконцентрированного потока по поверхности приемника. Степень концентрации, в свою очередь, должна обеспечивать заданную температуру теплоприемника.

На степень концентрации влияет затенение, вносимое габаритами теплоприемника, погрешность сопровождения (слежения) солнечного диска и запыленность отражающей поверхности. Эффективная работа системы получения энергии с помощью КСЭ ПФ в целом складывается из эффективности всех ее функциональных узлов. Параметры концентратора, такие как геометрические размеры, угол раскрытия, размер фокального пятна, отражательная способность поверхности и точность ее изготовления должны обеспечивать необходимую степень концентрации солнечной энергии в фокальной оси рефлектора.

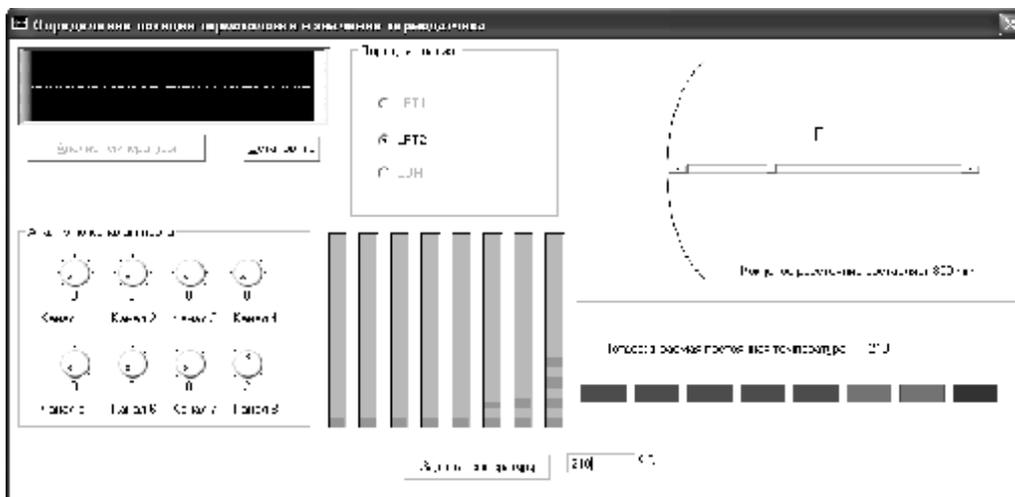
Данная работа является попыткой показать возможность поддержания постоянной температуры при использовании КСЭ. Поддержание постоянной температуры для некоторых технологических процессов и длительное выдерживание ее на одном уровне представляет определенную проблему при использовании нестационарного источника энергии, каким является Солнце. Для решения этой проблемы авторы использовали подвижный теплоприемник в фокальной оси. Для управления расположением теплоприемника относительно фокальной оси, автоматизации слежения за Солнцем, механизмами изменения геометрических параметров положения зеркальных панелей КСЭ ПФ и т. п., была разработана компьютерная программа PAPAN (Свидетельство об авторстве № 164 Кыргызской Республики).

Следует отметить, что при разработке программы слежения и управления движением теплоприемника учитывались все возможные факторы и на основе этого разрабатывалась система управления, исходными информационными параметрами которой являлись определенные входные и выходные параметры управления. Для получения качественного управления была сделана попытка охватить алгоритмической связью максимальное число звеньев системы путем установления контроля температуры, влажности, уровня вырабатываемого напряжения тока и т. п.

Замыкание обратной связи только по скорости, в силу вышеупомянутых факторов, требует существенных эксплуатационных затрат, например периодического экспериментального выяснения момента начала движения для устранения систематической координатной ошибки. Выявление этих недостатков на эксплуатировавшейся системе управления концентратора потребовало переосмотреть как программно-алгоритмический, так и аппаратный способы реализации системы, отрабатывающей непосредственно координатное несогласование. В базу данных программы были введены значения шкалы температур и соответствующие им сопротивления терморезистора термодатчика теплоприемника. Программа управления движением теплоприемника работает следующим образом: по обнаруженному одному каналу из восьми существующих значение сопротивления терморезистора термодатчика теплоприемника сравнивается со стандартными, определенными экспериментально температурами, находящимися в базе данных программы PAPAN.

Определение температуры происходит в автоматическом режиме. При необходимости использования постоянной заданной температуры «constant», в программе вводится команда для поддержания заданной температуры вручную. Вследствие этого теплоприемник начинает двигаться в возвратно-поступательном режиме по главной оптической оси, пока не установится заданная температура, и она поддерживается движением фокуса в том или ином направлении в зависимости от времени суток, т. е. от восхода до захода Солнца (см. рисунок). Особенность такого метода установления температуры «constant» заключается в том, что он может плавно найти требуемую точку температуры вдоль оптической оси.

Таким образом, разработанная программа PAPAN позволяет поддерживать постоянную заданную температуру, необходимую для определенных технологических процессов при использовании концентратора.



Окно программы по поддержанию постоянной температуры теплоприемника

A. A. Asanov, A. K. Akmatov, R. N. Orozov

N. Isanov Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture,
Kyrgyz Republic, Bishkek

WAY OF INCREASE OF EFFICIENCY OF FLAT CONCENTRATORS OF A SOLAR ENERGY OF THE PARABOLOIDAL FORM BY PROGRAM CONTROL

In article is shown the computer software allowing automatically on demand of the user to control by position heat receiver in a focal axis of the concentrator of a solar energy for getting of constant temperature, for those or other technological purposes during a sunny day is described, is not dependent on a season.

© Асанов А. А., Акматов А. К., Орозов Р. Н., 2009

УДК 531.4

С. В. Елисеев

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

С. В. Белокобыльский

Братский государственный университет, Россия, Братск

ОБОБЩЕННЫЕ ПРУЖИНЫ В ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМАХ. ВОЗМОЖНОСТИ УПРОЩЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ

Рассматриваются возможности приведения цепных колебательных систем (или приводимым к ним) к более простым схемам с одной или двумя степенями свободы. Возможности упрощения основаны на использовании понятия обобщенной пружины. Предлагается и обсуждается методология проведения упрощения.

Вопросы упрощения колебательных систем с несколькими степенями свободы относятся к числу актуальных и часто рассматриваемых в работах по теории и практике виброзащитных систем [1–3]. Ряд существенных упрощений может быть получен на основе идей предварительного группирования элементов в системах, обладающих определенной спецификой (например, в цепных системах). Последнее дает возможность представить группируемую цепь в виде обобщенной пружины [4].

Рассматривается исходная расчетная схема с четырьмя степенями свободы (рис. 1). Математическая модель ВЗС строится на основе известных [3] методов с дальнейшим использованием структурных интерпретаций и получением передаточных функций того или иного вида, в зависимости от вида и характера внешнего возмущения. Упрощенные схемы могут быть представлены в виде систем с одной степенью свободы для объекта защиты (рис. 2), что соответствует случаям кинематического возмущения.

Если при определении передаточных функций, в которых точки приложения возмущения (силового или кинематического) совпадают с точками наблюдения, то упрощенная схема с обобщенными пружинами имеет вид системы с одной степе-

ню свободы. Если точка наблюдения и приложения возмущения не совпадают, то система приводится к модели в виде системы с двумя степенями свободы (рис. 3).

При составлении расчетных схем рекомендуется избегать ситуаций, когда кинематическое воздействие связано с обобщенной пружиной $k_{пр}$, т. е. обобщенная пружина опирается на вибрирующее основание. В этом случае необходимо учитывать влияние переносного движения, формирующего инерционные силы. Методика учета таких сил рассмотрена в работе [5].

Таким образом, механические колебательные системы со многими степенями свободы и всем разнообразием расчетных схем в результате преобразований и введения представлений о том, что участок механической цепи может быть заменен эквивалентной обобщенной пружиной, можно свести к двум базовым моделям. Такие модели являются системами с одной или двумя степенями свободы, но они содержат в своем составе обобщенные пружины. Последнее понятие является обобщением понятия обычного упругого элемента, в отличие от которого приведенная жесткость обобщенной пружины зависит от частоты проходящего сигнала или внешнего воздействия.

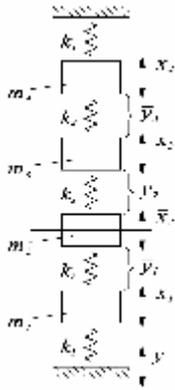


Рис. 1. Расчетная схема механической колебательной системы

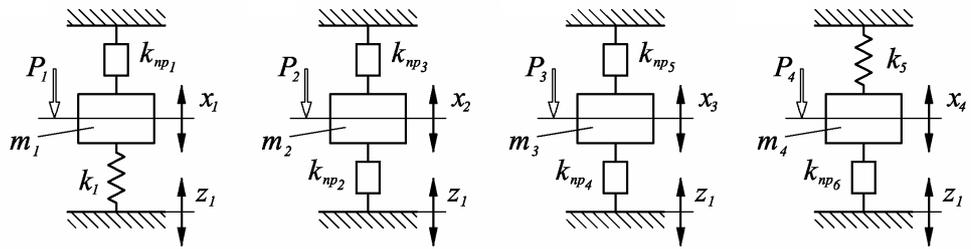


Рис. 2. Расчетные схемы, использующие обобщенные пружины для определения передаточных функций

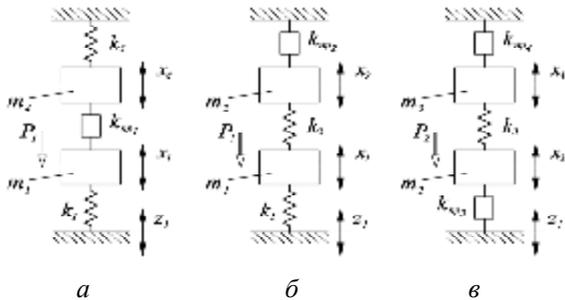


Рис. 3. Упрощенные схемы с обобщенными пружинами, приведенные к моделям с двумя степенями свободы для определения передаточных функций

Библиографический список

1. Коловский, М. З. Автоматическое управление колебаниями виброзащитных систем / М. З. Коловский. М. : Наука, 1986.

2. Силовые передачи транспортных машин: динамика и расчет / С. В. Алексеева, В. Л. Вейц, Ф. Р. Реккер, А. Е. Кочура. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982.

3. Елисеев, С. В. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008.

4. Упырь, Р. Ю. Обоснование возможностей расширения элементной базы колебательных систем / Р. Ю. Упырь // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2009. № 2 (22). С. 123–128.

5. Елисеев, С. В. Мехатронные подходы в задачах вибрационной защиты машин и оборудования / С. В. Елисеев, Р. Ю. Упырь // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2008. № 4 (20). С. 8–16.

S. V. Eliseev

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

S. V. Belokobylsky

Bratsk State University, Russia, Bratsk

THE GENERALIZED SPRINGS IN VIBROPROTECTIONS SYSTEMS. POSSIBILITIES OF SETTLEMENT SCHEMES SIMPLIFICATION

Abstract: possibilities of reduction of chain oscillatory systems (or led by it) to more simple schemes with one or two degrees of freedom are considered. Simplification possibilities are based on use of concept of the generalised spring. The methodology of carrying out the simplification is proposed and discussed.

© Елисеев С. В., Белокобыльский С. В., 2009

УДК 620.191.31

Д. Б. Елисеев, А. А. Интышев, М. М. Колегова

Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

**СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ПРЯМОЗУБЫХ
ЗУБЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ПЕРЕДАЧ,
ФОРМООБРАЗУЕМЫХ НАКАТЫВАНИЕМ**

Рассматриваются способы обеспечения требуемой (в соответствии с ГОСТ 9178–81) точности прямозубых зубчатых цилиндрических мелко модульных передач, формообразуемых накатыванием, по методике, основанной на теории огибающих. Проводится сравнительный анализ существующих схем фрикционных контактов и характеристик условий протекания процесса абразивно-притирочной обработки.

Широкий спектр применения зубчатых передач при проектировании передаточных механизмов порождает большое разнообразие требований к эксплуатационным свойствам. В свою очередь, это влечет за собой множество применяемого инструментально-технологического обеспечения работоспособности зубчатых приводов, выбор которого должен в максимальной степени удовлетворять конкретному набору требований к передаче.

Одной из актуальных проблем является обеспечение на этапе проектирования длительного (до 15 лет) срока эксплуатации зубчатых передач приводов специального назначения, например в механизмах поворота антенны космического аппарата. Применение различных методов поверхностного упрочнения контактных поверхностей зубчатых колес, в частности профилирование пластическим деформированием (накатка), позволяет существенно увеличить ресурс их работы.

Передачи с накатными зубчатыми колесами обладают рядом преимуществ, а именно упрочнением зубьев при их пластическом формообразовании, и широко применяются для среднмодульных колес, не только цилиндрических, но и конических. В то же время пока они не нашли широкого применения в приводах специального назначения по ряду причин, в том числе из-за отсутствия инструментария, позволяющего на этапе проектирования управлять качественными показателями, в частности кинематической точностью, плавностью работы и другими.

В работе Д. В. Вавилова [1] описывается методика проектирования накатных мелко модульных передач приводов спецназначения с заданными показателями качества на основе использования новых методов имитационного моделирования, процессов их формообразования. Также автором была разработана экспериментальная установка для накатывания мелко модульных зубчатых колес, проведена серия натурных экспериментов и их сравнение со значениями имитационного моделирования. Доказана адекватность принятых допущений в выборе модели поведения материа-

ла и выборе подхода к численному моделированию. Однако в результате принятых допущений в численной модели мелко модульные прямозубые зубчатые колеса, формообразуемые накатыванием, не соответствуют требованиям, изложенным в ГОСТ 9178–81.

Решение вышеописанной проблемы может быть достигнуто последующей абразивной доводочно-притирочной обработкой полученных зубчатых колес методом накатки. В работах В. И. Усакова, С. Н. Ефимова описывается эксперимент по исследованию кромочного взаимодействия зубчатых передач, спроектированных по стандартной методике, и по методике, основанной на теории огибающих, проводимый на установке (рис. 1) в лаборатории систем точной механики Красноярского государственного технического университета. Конструкция представленной установки может быть модифицирована с учетом условий, предъявляемых к протеканию процессов при доводочно-притирочной обработке.

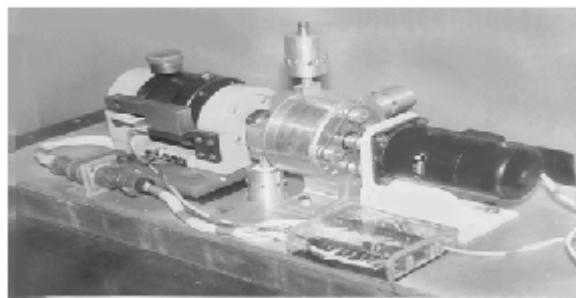


Рис. 1. Общий вид стенда для испытаний мелко модульных зубчатых колес

Процесс приработки при исследовании кромочного взаимодействия нарезных зубчатых передач на данной установке относится к химико-механическому. Обработка накатных зубчатых передач идентичным способом затруднена из-за поверхностного упрочнения контактных поверхностей. Для решения этой задачи требуется использование механико-химического процесса, сущность которого заключается в том, что на

обрабатываемую поверхность одновременно оказывается основным механическое и дополнительное химическое воздействие, в результате чего возникает процесс резания. Основную роль здесь выполняют абразивные зерна; фактически происходит процесс, чем-то напоминающий обработку связанным абразивным зерном – шлифование.

Был проведен обзор существующих методов размерной абразивной доводочно-притирочной обработки: обработки жестким притиром с непрерывно подаваемой абразивно-доводочной смесью; обработки жестким притиром с намазанной абразивно-доводочной смесью; обработки жестким притиром, шаржированным абразивно-доводочной смесью.

На основании проведенного информационного обзора можно сделать предположение, что при правильном подборе режимов приработки, схемы и абразивно-доводочной (абразивно-полировальной смеси) можно решить описанную выше проблему по обеспечению требуемой (в соответствии с ГОСТ 9178–81) точности прямозубых зубчатых цилиндрических мелко модульных передач, формообразуемых накатыванием, по методике, основанной на теории огибающих.

Библиографический список

1. Вавилов, Д. В. Моделирование накатных мелко модульных передач с заданными показателями качества / Д. В. Вавилов // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 4 (21). 2008. С. 83–86.

D. B. Eliseev, A. A. Iptyshev, M. M. Kolegova

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

SUPPLYING THE REQUIRED ACCURACY OF SPUR SERRATED HELICAL MOVING MEMBERS FORMED BY ROLLING

Supplying the required accuracy (according to GOST 9178–81) of spur serrated helical moving members, formed by rolling, is considered by method built upon envelope theory. Comparative analysis of rubbing contacts existing schemes and terms characteristics of abradant lapping treatment process is conducted.

© Елисеев Д. Б., Иптышев А. А., Колегова М. М., 2009

УДК 62.52

С. В. Елисеев

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

Ю. Н. Резник

Читинский государственный университет, Россия, Чита

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ. МЕХАТРОННЫЕ ПОДХОДЫ

Рассматриваются теоретические основы построения структурных аналогов виброзащитных систем. Вводится понятие расширенного набора типовых элементов виброзащитных систем. Предлагается технология формирования дополнительных связей, формирующих управляющие силы.

Структурные подходы развиваются в течение многих лет и отражают тенденцию преобразования современных виброзащитных систем, использующих энергию внешних источников для уменьшения действия вибрации на защищаемые объекты [1–3]. Такие системы по существу являются специализированными системами автоматического управления (САУ). Построение цепей для реализации управляющих сил может быть сведено к введению обратных связей, физический смысл которых соответствует понятию обобщен-

ной пружины [4]. Миниатюризация вычислительных средств, достижения в области электро-, гидро- и пневмоавтоматики создают условия для развития мехатронных представлений о структуре и возможностях виброзащитных систем. Практическое продвижение в создании виброзащитных систем идет по пути усложнения дополнительных обратных связей. Для обработки информации, расчета управляющих сил, слежения за изменениями динамического состояния уже используются нейросетевые структуры.

Однако возможности механической части виброзащитных систем все же играют большую роль, что стимулирует развитие мехатронных подходов, в которых делаются попытки рационального сочетания законов динамического взаимодействия и электроники [5]. На рисунке показана обобщенная схема активной ВЗС, ее структурный аналог. Показаны возможные виды управления, которые могут быть реализованы. Механическая часть АВЗС представляет собой базовую модель, состоящую из объекта защиты, имеющего передаточную функцию $1/mp^2$, а также элементы ВЗС в виде пружины и демфера.

Особенность авторской позиции заключается в том, что предлагается расширение типового набора элементарных звеньев за счет введения звеньев двойного дифференцирования, одинарного и двойного интегрирования.

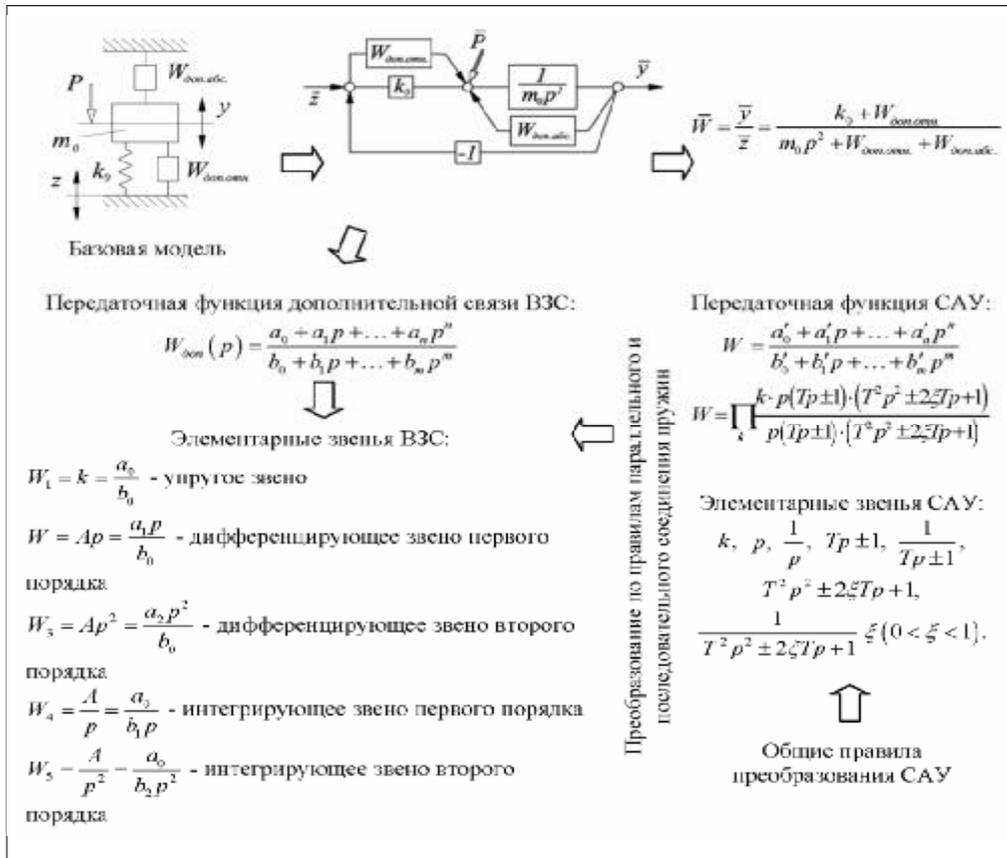
Особенностью формируемого класса элементов является то обстоятельство, что все звенья имеют на входе смещение, а на выходе – усилие, т. е. все элементы расширенного набора элементов относятся к пружинам. Рассматриваются возможности построения структур второго уровня на

основе правил соединения дуальных звеньев в цепи дополнительной связи.

Такой подход позволяет использовать специфические особенности механической части ВЗС для организации динамических взаимодействий и взаимной компенсации усилий, как это проявляется в режимах динамического гашения.

Библиографический список

1. Елисеев, С. В. Структурная теория виброзащитных систем / С. В. Елисеев. Новосибирск : Наука, 1978.
2. Коловский, М. З. Автоматическое управление виброзащитными системами / М. З. Коловский. М. : Наука, 1976.
3. Генкин, М. Д. Уруго-инерционные виброизолирующие системы. Предельные возможности. Оптимальные структуры / М. Д. Генкин, В. М. Рябой. М. : Наука, 1988.
4. Елисеев, С. В. Мехатронные подходы в задачах вибрационной защиты машин и оборудования / С. В. Елисеев, Р. Ю. Упырь // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2008. Вып. 4 (20). С. 8–16.



Схема, поясняющая взаимосвязь между правилами преобразования в дополнительной цепи обратной связи и в структурной схеме САУ

S. V. Eliseev

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

Yu. N. Reznik

Chita State University, Russia, Chita

TECHNOLOGY OF VIBROPROTECTION SYSTEM CONSTRUCTION. MECHATRONICS APPROACHES

Theoretical bases of constructing structural analogues of vibroprotection systems are considered. The concept of the expanded set of typical elements of vibroprotection systems is introduced. The technology of formation of the additional ties forming operating forces is proposed.

© Елисеев С. В., Резник Ю. Н., 2009

УДК 531.3, 536.66

В. Э. Еремьянц, А. А. Асанова

Кыргызско-Российский славянский университет, Кыргызская Республика, Бишкек

КОЛЕБАНИЯ ПЛАСТИНЫ, ЗАЩЕМЛЕННОЙ ПО ДВУМ ПРОТИВОПОЛОЖНЫМ КРАЯМ, ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОПЕРЕЧНОМ УДАРЕ

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований колебаний пластины при поперечном ударе, которые необходимы для обоснования рациональных параметров виброударных машин для очистки поверхностей.

В последние годы появились виброударные машины для очистки поверхностей от различного рода отложений. Они успешно апробированы при очистке внутренних поверхностей труб золошлакопроводов от шлака, для предотвращения налипания влажных частиц угля на внутренние поверхности приемных бункеров и т. д.

Воздействие такой машины на обрабатываемый объект происходит при ударе бойком по торцу инструмента, имеющего форму стержня и опирающегося другим торцом на обрабатываемую поверхность пластины или пологой оболочки. При ударе в инструменте генерируется продольная волна деформации, которая, распространяясь в сторону обрабатываемой поверхности и воздействуя на нее, приводит к возбуждению на поверхности изгибных волн деформаций. Под действием этих волн происходит отделение отложений от обрабатываемой поверхности.

До настоящего времени параметры этих машин выбирались конструкторами интуитивно, и они еще далеки от оптимальных. Для решения задачи оптимизации параметров машины необходимо знать взаимосвязь динамических напряжений, возникающих в инструменте и пластине при ударе, и эффективности передачи энергии удара в пластину с геометрическими и физическими параметрами элементов ударной системы. Эти взаимосвязи могут быть выявлены на основе мо-

делирования ударных процессов, протекающих в той или иной ударной системе.

В предшествующих работах [1] были разработаны модели ударной системы «боек–инструмент–пластина» и достаточно подробно изучены волновые процессы, протекающие в инструменте. В то же время волновые процессы в пластине практически не изучались. В связи с этим была поставлена задача изучения колебания пластины, защемленной по двум противоположным сторонам, при центральном поперечном ударе.

При решении задачи уравнение движения пластины записывалось в виде

$$\nabla^2 \nabla^2 \xi + \frac{m_0}{D} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0,$$

где ∇^2 – бигармонический оператор Лапласа; ξ – поперечные перемещения (прогиб) пластины; t – время; m_0 – масса квадратного метра пластины, $m_0 = \rho\delta$; δ – толщина пластины; D – цилиндрическая жесткость пластины, $D = E\delta^3 / 12(1 - \mu^2)$; E , ρ , μ – соответственно модуль упругости, плотность и коэффициент Пуассона для материала пластины.

Вынужденные колебания пластины описывались их разложением по собственным формам и частотам. В этом случае при ударе по центру пластины формула для определения прогиба пластины имеет вид

$$w(x, y, t) = \frac{1}{\delta \rho} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{H_{ij}^2(x_0, y_0)}{\omega_{ij} \iint H_{ij}^2(x, y) dx dy} \times \int_0^t P(\theta) \sin \omega_{ij} (t - \theta) d\theta, \quad (1)$$

где $H_{ij}(x, y)$, ω_{ij} – соответственно собственные формы и частоты колебаний, зависящие от граничных условий на краях пластины; $P(\theta)$ – зависимость внешней силы, действующей на пластину, от времени; t – текущее время.

Определение собственных форм и частот колебаний пластины при всех защемленных сторонах достаточно подробно описано в справочной и учебной литературе. Поэтому в дальнейшем рассматривался случай, когда две стороны пластины защемлены, а две другие свободны.

При решении задачи начало осей координат располагалось в центре пластины. При этом получены следующие выражения для определения собственных форм и частот колебаний:

$$\begin{aligned} H(x, y) &= \cos \gamma_1 x \cos \gamma_2 y + \\ &+ \exp[-\alpha_1 (0, 5a \pm x)] \cos \frac{\gamma_1 a}{2} + \\ &+ \exp[-\alpha_2 (0, 5b \pm y)] \cos \frac{\gamma_2 b}{2}; \\ \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma_1 a}{2} \right) &= \pm \sqrt{1 + 2\nu^2}; \\ \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma_2 b}{2} \right) &= \frac{(\nu^2 + \mu)^2 \sqrt{1 + 2/\nu^2}}{(\nu^2 + 2 - \mu)^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где a, b – размеры сторон пластины по осям x и y ; $\gamma_1 = \pi/\Lambda_x$, $\gamma_2 = \pi/\Lambda_y$; Λ_x, Λ_y – длины полуволн вдоль соответствующих осей: $\nu = \gamma_2/\gamma_1$;

$$\alpha_1 = \sqrt{\gamma_2^2 + \alpha^2}, \quad \alpha_2 = \sqrt{\gamma_1^2 + \alpha^2},$$

$$\alpha^2 = \gamma_1^2 + \gamma_2^2, \quad \omega^2 = \alpha^2 \sqrt{m_0/D}.$$

Численным решением системы уравнений (2), (3) найдены параметры γ_1 и γ_2 , а затем и частоты ω_{ij} . Проведена оценка влияния граничных условий на собственные формы и частоты колебаний.

Формула (1) предполагает суммирование бесконечного числа собственных форм колебаний. В различных литературных источниках отмечается, что для получения достаточной точности необходимо рассмотреть от 70 до 300 слагаемых. Это затрудняет анализ влияния параметров системы на напряжения в пластине. В связи с этим на кафедре механики КРСУ были проведены экспериментальные исследования, в ходе которых с помощью тензометрирования были зарегистрированы волны деформации, возникающие в инструменте и пластине при ударе. Анализ полученных результатов показал, что на экспериментальных осциллограммах можно выделить основную частоту колебаний пластины, равную собственной частоте колебаний инструмента, и еще 3–4 частоты, кратные основной частоте. Это позволяет в дальнейшем ограничиться в разложении (1) пятью гармониками, выделенными на осциллограммах. Кроме этого, экспериментальные данные позволили оценить влияние граничных условий на напряжения вдоль главных осей пластины x и y при поперечном центральном ударе. Полученные данные подтверждают достоверность выводов, сделанных при теоретических исследованиях.

Библиографический список

1. Еремьянц, В. Э. К задаче о продольном ударе по стержню, опирающемуся на пластину / В. Э. Еремьянц, Л. Т., Панова, А. А. Слепнев // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2007. № 4. С. 58–63.

V. E. Eremiants, A. A. Asanova

Kyrgyz-Russian Slavic University, Kyrgyz Republic, Bishkek

OSCILLATING PLATES FASTENED TO TWO OPPOSITE EDGES

The results theoretical and experimental researches of fluctuations of a plate are stated at cross-section blow, which are necessary for a substantiation of rational parameters of vibration blow machines for clearing surfaces.

© Еремьянц В. Э., Асанова А. А., 2009

УДК 531.3

Ю. В. Ермошенко, И. В. Фомина, В. В. Сорин

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

ВИДЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В СТРУКТУРАХ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются варианты введения дополнительных связей в структуры каскадных виброзащитных систем. Приведены алгоритмы формирования передаточных функций и формулы для расчета приведенных параметров при различных видах внешних воздействий.

Рассмотрены случаи введения в структуру звеньев в виде устройств для преобразования движения. Приведены результаты структурного синтеза в различных вариантах схемных решений построения виброзащитных систем (ВЗС).

Рассмотрены возможности комбинационного использования эффектов динамического гашения, привносимых устройствами для преобразования движения и вводимыми дополнительно упругими элементами в последовательных каскадах. Последнее позволяет избежать запираания ВЗС на высоких частотах.

Авторами анализируются различные варианты построения ВЗС с возможностями физической

реализации предлагаемых форм передаточных функций. Результаты исследований представлены в форме таблиц, содержащих систематизацию конструктивно-технических решений.

Авторами предлагается подход, основанный на построении системы, состоящей из нескольких каскадов, формирующих определенные динамические свойства при определенных частотах внешнего возмущения.

В качестве настроечного параметра выбирается коэффициент приведенной жесткости системы, определяемый соответствующей передаточной функцией.

Yu. V. Ermoshenko, I. V. Fomina, V. V. Sorin

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

TYPES OF ADDITIONAL TIES IN STRUCTURES OF VIBROPROTECTION SYSTEMS

Abstract: variants of introduction of additional ties in structures cascade of vibroprotection systems are considered. Algorithms of transfer function formation and the formula to calculate the parameters are considered at various kinds of external influences.

© Ермошенко Ю. В., Фомина И. В., Сорин В. В., 2009

УДК 621.867

А. В. Леканов, Д. А. Черепанов

ОАО «Информационные спутниковые системы»
имени академика М. Ф. Решетнева», Россия, Железногорск

Д. Е. Груздев, П. Н. Сильченко

Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

СОЗДАНИЕ ПРИВодОВ ПОВЫШЕННОЙ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассматривается предложение о возможности применения в приводах устройств исполнительной автоматики космических аппаратов торцевых зубчатых передач с зацеплением по «улиткам Паскаля» для обеспечения повышенной нагрузочной способности.

Для обеспечения возрастающих по нагрузочной способности функционально-эксплуатационных требований к приводам устройств космических аппаратов при ограничениях по весогабаритным показателям необходимо применение нетрадиционных видов передаточных механиз-

мов. Существующие методы расчета и проектирования зубчатых эвольвентных передач не позволяют достичь заданных требований.

В настоящее время имеется ряд новых передаточных механизмов, использование которых позволит существенно улучшить характеристики

вновь проектируемых на их основе приводов устройств исполнительной автоматики КА при сохранении или снижении весогабаритных показателей.

Одними из таких передаточных механизмов являются торцевые зубчатые передачи с зацеплением по «улиткам Паскаля». Особенностью этих передач является то, что при одних и тех же габаритах по сравнению с зубчатыми эвольвентными передачами можно создать передаточный механизм, имеющий более высокую нагрузочную способность.

Авторами разработаны методики расчета [1–4], проектирования и изготовления элементов торцевых зубчатых передач с зацеплением по «улиткам Паскаля» (рис. 1, 2). Методики позволяют рассчитывать все геометрические параметры, производить контроль формы и толщины зуба, угла зацепления, конусности зубьев колес, коэффициента перекрытия, скоростей относительного проскальзывания контактных поверхностей зубьев зубчатых колес и КПД.

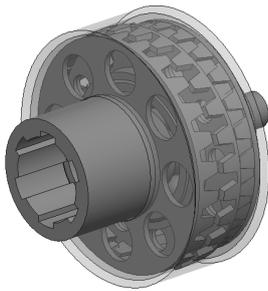


Рис. 1. Торцевая зубчатая передача с непараллельными осями колес



Рис. 2. Планетарный редуктор, сочетающий торцевые и эвольвентные зубья на сателлитах

Вариации конструктивных особенностей звеньев торцевых зубчатых передач с зацеплением по «улиткам Паскаля» позволяют создавать планетарные редукторы с повышенной жесткостью и нагрузочной способностью. Наличие многопарного зацепления позволяет приводам с такими передачами конкурировать с волновыми передачами, так как в этом случае отсутствует гибкое колесо (см. рис. 1). Привод имеет переда-

точное число 625 при максимальных диаметре 72 мм, длине корпуса 47 мм и массе 560 г.

Проведенные исследования показали, что пятно контакта в торцевых передачах с зацеплением по «улиткам Паскаля» больше, чем в эвольвентных; соответственно, контактные напряжения ниже.

Стоимость изготовления торцевых зубчатых передач с зацеплением по «улиткам Паскаля» значительно ниже, чем стоимость изготовления эвольвентных зубчатых передач, а требования к технологии изготовления и применяемым материалам также значительно ниже.

Расположение зубьев на торце колеса позволяет проектировать комбинированные приводы (см. рис. 2). Передаточное число представленного редуктора составляет 6 934 051, т. е. один оборот выходной вал совершает за 3,32 суток при числе оборотов входного вала 1 500 мин⁻¹. Кроме того, торцевая передача с зацеплением по «улиткам Паскаля» способна работать в среде порошковых смазок, что является наиболее актуальным для необслуживаемых механизмов и механизмов, работающих в условиях вакуума и низких температур.

Для конкретных параметров привода с использованием всех вышеприведенных принципов и преимуществ все эксплуатационные параметры приводов с торцевыми зубчатыми передачами по «улиткам Паскаля» примерно в 1,5...2,5 раза выше, чем у традиционных видов передач для одних и тех же силовых и кинематических характеристик.

Библиографический список

1. Сильченко, П. Н. Расчет торцевого зубчатого зацепления по «улиткам Паскаля» / Д. Е. Груздев, П. Н. Сильченко // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. 2003. Вып 32. Машиностроение. С. 188–191.
2. Сильченко, П. Н. Уточнение кривизны поверхности зуба шестерни в произвольно выбранной точке контакта торцевого зубчатого зацепления по «улиткам Паскаля» / Д. Е. Груздев, П. Н. Сильченко // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2004. № 1. С. 18–23.
3. Груздев, Д. Е. Определение контактных напряжений в торцевой зубчатой передаче зацеплением по «улиткам Паскаля» / Д. Е. Груздев, П. Н. Сильченко // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2004. № 1. С. 23–28.
4. Груздев, Д. Е. Разработка методики геометрического и прочностного расчетов торцевых передач с зацеплением по «улиткам Паскаля»: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 : защищена 28.12.04 / Д. Е. Груздев. Красноярск, 2004.

A. V. Lekanov, D. A. Cherepanov

JSC «Academician M. F. Reshetnev «Information Satellite Systems», Russia, Zheleznogorsk

D. E. Gruzdev, P. N. Silchenko

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

DESIGNING DRIVES OF INCREASED LOAD CAPACITY FOR THE SPACECRAFT EXECUTIVE AUTOMATICS

The opportunity to apply face gearings with gearing on «Pascal snails» for maintenance of the increased loading capacity in space vehicle executive automatics drives is studied.

© Леканов А. В., Черепанов Д. А., Груздев Д. Е., Сильченко П. Н., 2009

УДК 531.4

A. С. Логунов, Ю. В. Ермошенко, А. А. Гордеева

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

СВЯЗИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА В КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

Рассмотрены особенности динамики колебательных структур при введении различных соединений с интегральным звеном первого рода. При помощи алгебраических критериев Гурвица и Лъенара–Шипара определены значения настроечных параметров виброзащитных систем, исходя из граничных условий устойчивости состояния.

Традиционная элементная база колебательных структур включает в себя упругие, демпфирующие и массо-инерционные звенья. В работе [1] показаны возможности расширения традиционной базы за счет введения звеньев двойного дифференцирования, одинарного и двойного интегрирования, чистого запаздывания. Подобные элементы можно отнести к типовым элементам первого уровня. Кроме того, можно выделить еще и элементы второго уровня, которые могут быть получены при помощи последовательного и параллельного соединений типовых элементов первого уровня. В частности, к таким звеньям относится апериодическое звено, которое с позиций структурной теории виброзащитных систем не является элементарным, а представляет собой последовательное соединение упругого звена (k) с интегрирующим первого порядка (A/p). Все синтезированные подобным образом звенья можно рассматривать как разновидности обобщенных пружин [2], поскольку обобщенная пружина отражает динамические свойства дополнительной цепи, вводимой параллельно упругому элементу базовой модели ВЗС. Авторами рассмотрен ряд соединений элементарных звеньев расширенного набора с интегрирующим звеном (см. таблицу).

Показано, что введение дополнительных связей, построенных комбинационным образом, может приводить к потере устойчивости. Для того чтобы ВЗС была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы определители Гурвица, составлен-

ные из коэффициентов ее характеристического уравнения, были больше нуля. При исследовании устойчивости при помощи алгебраических критериев нужно прежде всего проверить необходимое условие устойчивости. Если необходимое условие устойчивости выполняется, то оказывается, что для определения устойчивости нет необходимости вычислять все определители Гурвица. В этом случае используются критерии Лъенара–Шипара [3]. Из условий устойчивости может быть определено граничное значение параметра A (коэффициент усиления интегрирующего звена)

Для приведенных в таблице видов соединений авторами построены амплитудно-частотные характеристики систем. Сравнение графиков позволяет сделать ряд частных заключений. Интегрирующее звено, работающее в «связке» с упругим звеном, может вызвать неустойчивость системы. Вместе с тем, изменяя настроечный параметр A , можно формировать необходимый вид АЧХ в соответствии с заданными требованиями.

Таким образом, интегрирующие звенья при различных соединениях (параллельных и последовательных) с другими звеньями, в том числе и интегрирующими звеньями первого и второго порядков, позволяют получать виброзащитные системы, обладающие устойчивостью. Вместе с тем обеспечение устойчивости является достаточно трудоемкой процедурой, особенно для систем высокого порядка (более пяти степеней свободы).

Виды соединений интегрального звена первого рода ($W = A/p$)

№ п/п	Виды элементарных звеньев	Последовательное соединение звеньев	Параллельное соединение звеньев
1	Пружина – k	$W_1 = \frac{A \cdot k}{kp + A}$	$W_6 = \frac{A + kp}{p}$
2	Дифференцирующее звено I порядка (рода) – cp	$W_2 = \frac{A \cdot cp}{cp^2 + A}$	$W_7 = \frac{cp^2 + A}{p}$
3	Дифференцирующее звено II порядка (рода) – Lp^2	$W_3 = \frac{A \cdot Lp^2}{Lp^3 + A}$	$W_8 = \frac{Lp^3 + A}{p}$
4	Интегрирующее звено I порядка – $\frac{A_1}{p}$	$W_4 = \frac{A \cdot A_1}{(A + A_1)p}$	$W_9 = \frac{A + A_1}{p}$
5	Интегрирующее звено II порядка – $\frac{A_1}{p^2}$	$W_5 = \frac{A \cdot A_1}{(A_1 + Ap)p}$	$W_{10} = \frac{A_1 + Ap}{p^2}$

Примечание. Полученные передаточные функции не относятся к числу элементарных, так как получены при использовании определенных правил соединения. Аналогичный результат может быть получен также при использовании подходов, основанных на упрощении передаточной функции дополнительной связи общего вида [4].

Библиографический список

1. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008.
 2. Елисеев, С. В. Мехатронные подходы в задачах вибрационной защиты машин и оборудования / С. В. Елисеев, Р. Ю. Упырь // Современные

технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2008. Вып. № 4 (20). С. 8–12.
 3. Ким, Д. П. Теория автоматического управления : в 2 т. Т. 1. Линейные системы / Д. П. Ким. М. : Физматлит, 2003.
 4. Насников, Д. Н. Типовые звенья в структурных интерпретациях механических колебательных систем / Д. Н. Насников, А. С. Логунов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2006. № 4 (12). С. 78–92.

A. S. Logunov, Yu. V. Ermoshenko, A. A. Gordeeva

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

INTEGRATED TYPE CONNECTIONS IN OSCILLATORY STRUCTURES

Features of dynamics of oscillatory structures are considered at introduction of various connections with an integrated link of the first sort. The adjusting parameter values of vibroprotection systems are determined by means of Gurvits's and Lenara-Shipara algebraic criteria, based on boundary conditions of stability terms.

© Логунов А. С., Ермошенко Ю. В., Гордеева А. А., 2009

УДК 621.317

Д. Н. Насников, А. Н. Трофимов, Е. А. Пащука

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

**ФОРМЫ И ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЗВЕНЬЕВ В ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМАХ С РАСШИРЕННЫМ
НАБОРОМ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Представлена научно-методологическая основа динамического синтеза виброзащитных систем с расширенной элементной базой на основе структурных методов, предполагающих введение активных (управляемых) элементов как дополнительной цепи обратной связи в виде управляющих электрогидравлических устройств.

Расчетные схемы современных машин, в том числе транспортных средств различного назначения, представляют собой, как правило, механические колебательные системы с одной или несколькими степенями свободы, в составе которых используются пассивные (пружины, демпфера) и активные (управляемые устройства) элементы. Использование управляемых устройств электро-, пневмо- и гидравлических исполнительных механизмов, по-существу, превращает виброзащитные системы (ВЗС) в специализированные системы автоматического управления [1]. Поэтому активное развитие мехатронных подходов естественным образом предопределяет интерес к динамике управляемых систем, развитию методов комбинированных систем. Одним из направлений являются разработки, связанные с концепцией введения дополнительных связей и структурными интерпретациями виброзащитных систем. Аналитический аппарат теории автоматического управления, как оказалось, обладает определенными преимуществами, связанными с возможностями использования передаточных функций и частотных методов, удобных, в частности, в оценке динамических свойств.

Обзор технологий анализа и синтеза механических колебательных систем, которые являются расчетными схемами ВЗС, дает возможность убедиться в том, что динамические свойства систем изучены достаточно детально лишь в нескольких направлениях. Поэтому представляется целесообразным развитие аналитических подходов, позволяющих ввести новые постановки задач, которые могут быть связаны с расширением элементной базы ВЗС путем введения новых элементов (например, с функциями двойного дифференцирования) и различными физическими интерпретациями [2]. В этом плане определенными возможностями обладают методы структурной теории ВЗС, в рамках которой возможны обобщенные подходы в задачах виброзащиты и виброизоляции, что создает определенные преимущества при построении активных ВЗС. Например, авторами показано, что механические колебательные системы

со многими степенями свободы и всем разнообразием расчетных схем, в результате преобразований и введения представлений о том, что участок механической цепи может быть заменен эквивалентной обобщенной пружиной, можно свести к двум базовым моделям. Такие модели являются системами с одной или двумя степенями свободы, но они содержат в своем составе обобщенные пружины [3]. Последнее понятие является обобщением понятия обычного упругого элемента, в отличие от которого приведенная жесткость обобщенной пружины зависит от частоты проходящего сигнала или внешнего воздействия.

С развитием и совершенствованием микропроцессорной техники появилось мнение о перспективности активных электрогидравлических систем виброзащиты (АЭГВЗС). В этом случае возможно обеспечение более качественной виброзащиты в результате установки в различных точках системы большого количества датчиков, показания которых будут преобразовываться в сигнал управления электрогидравлическим исполнительным механизмом с помощью микропроцессора. Дифференциальные уравнения такой системы позволяют построить структурную схему и найти соответствующие передаточные функции АЭГВЗС, которые позволяют решать необходимые задачи анализа и динамического синтеза. Как показывает анализ амплитудно-частотной характеристики и передаточной функции, активная электрогидромеханическая система виброзащиты с управлением по возмущающему ускорению в области низких частот имеет сравнительно хорошие характеристики, определяющие ее виброзащитные свойства.

Актуальным становится вопрос об изучении детализированных свойств гидравлических элементов на уровне составления их математических моделей, оценки схемных решений, предполагающих выбор рационального расположения активных элементов в схемах виброзащиты, особенностей взаимодействия пассивных и активных частей системы.

Необходимость комплексного подхода к задачам защиты от вибраций и ударов предопределяет значение концептуальной основы разработок и внимания к принципам построения ВЗС. Авторами проведено сравнительное изучение вопросов синтеза как пассивных, так и активных систем, удовлетворяющих определенным критериям эффективности (коэффициент передачи), рассмотрен ряд типовых ситуаций, связанных с введением амортизаторов между объектом защиты и вибрирующим основанием. Результаты таких разработок широко используются для создания систем защиты сиденья оператора транспортных средств, в системах транспортных подвесок автомобилей, при защите прецизионных станков и приборных систем. Включение в ВЗС активных элементов в виде управляемых силовых гидроцилиндров существенно расширяет диапазон изменения динамических свойств виброзащитных систем.

Новизна результатов исследования заключается в создании научно обоснованной методологической базы для решения вопросов, связанных с

выбором конструктивно-технических решений по созданию управляемых ВЗС, использующих гидравлические устройства, а также оценки возможностей повышения эффективности ВЗС.

Библиографический список

1. Насников, Д. Н. Активные элементы как типовые звенья в управляемых виброзащитных системах / Д. Н. Насников // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2008. № 4 (20). С. 41–49.
2. Насников, Д. Н. Типовые звенья в структурных интерпретациях механических колебательных систем / Д. Н. Насников, А. С. Логунов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2006. № 4 (12). С. 78–93.
3. Упырь, Р. Ю. Динамика механических колебательных систем с учетом пространственных форм соединений элементарных звеньев : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / Р. Ю. Упырь. Иркутск, 2009. 19 с.

D. N. Nasnikov, A. N. Trofimov, E. A. Pashuta

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

DYNAMIC INTERACTION FORMS AND FEATURES OF LINKS IN VIBROPROTECTION SYSTEMS WITH THE EXPANDED SET OF TYPICAL ELEMENTS

The scientific-methodological basis of vibroprotections system dynamic synthesis with the expanded element set on the basis of the structural methods assuming introduction of active (operated) elements, as additional chain of a feedback in the form of operating electrohydraulic devices is presented.

© Насников Д. Н., Трофимов А. Н., Пашута Е. А., 2009

УДК 539

А. Е. Пирогов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ТРЕХМЕРНОЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА

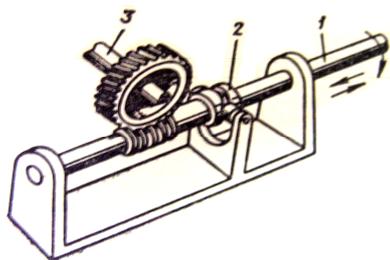
Рассмотрен механизм, преобразующий постоянное вращательное движение в сложное вращательное движение. Механизм смоделирован в системе автоматизированного проектирования, проведен кинематический анализ модели.

Различные законы движения звеньев исполнительных механизмов в мехатронных машинах получают за счет применения интеллектуальных устройств [1; 2], дорогих и сложных в производстве. Возможна их замена на более дешевые и простые в эксплуатации механизмы с регулируемым ходом. Однако механизмы с регулируемым ходом недостаточно изучены [3]. В данной работе рассмотрен компенсационный механизм, позво-

ляющий преобразовывать простое вращательное движение в сложное вращательное.

Объектом исследования является компенсационный механизм преобразования движения (см. рисунок). Механизм преобразует постоянную угловую скорость ведущего вала 1 в переменную ведомого вала 3 посредством пазового кулачка 2, закрепленного на валу червяка [3]. Это дает возможность добиться различных эффектов – вре-

менной остановки шестерни, вращения ее в обратную сторону, различающихся по интенсивности ускорений.



Общий вид компенсационного механизма

Трехмерные твердотельные модели, отличающиеся законами движения выходного звена, созданы в программе SolidWorks. Кинематический

анализ выполнен при помощи интегрированного пакета CosmosMotion.

По результатам работы сделан вывод о том, что механическая система в некоторых случаях может заменить мехатронную систему. Дальнейшая работа будет направлена на создание рабочей модели рассмотренного механизма.

Библиографический список

1. Подураев, Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение / Ю. В. Подураев. М. : Машиностроение, 2006.
2. Попов, Е. П. Основы робототехники / Е. П. Попов, Г. В. Письменный. М. : Высш. шк. 1990.
3. Кожевников, С. Н. Механизмы / С. Н. Кожевников [и др.]. М. : Машиностроение, 1976.

A. E. Pirogov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

3D-MODELING AND KINEMATICS ANALYSIS OF COMPENSATING MECHANISM

The mechanism converting simple rotational movement to combined rotational movement is presented. The model using computer-aided design system is created. The kinematics analysis of the model is made.

© Пирогов А. Е., 2009

УДК 621.787

С. И. Пономарев, С. П. Ереско

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ УЗЛОВ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТУРБИН

Рассмотрены вопросы технологии изготовления деталей изделий авиационно-космической техники методом диффузионной сварки. Предлагается технология получения металлокерамических турбин с улучшенными технологическими параметрами.

В производстве авиационно-космической техники используются газовые металлокерамические турбины, работающие при высоких температурах. Однако изготовление их затруднено из-за отсутствия технологии получения соединения из жаропрочных сплавов и высокотемпературной керамики. Целью работы является проведение исследований и разработка технологического процесса соединения деталей металлокерамических турбин методом диффузионной сварки. Исследования проводились на свариваемых экспериментальных образцах-имитаторах с использованием никелевого промежуточного элемента. Исследовалось влияние режимов диффузионной сварки на проч-

ностные характеристики полученного соединения. Для получения регрессионной математической модели, характеризующей влияние технологических параметров сварки на механическую прочность соединения, и нахождения оптимальных режимов был применен метод математического планирования эксперимента и разработана программа для его реализации на ЭВМ. Критериями оценки качества сварки образцов-имитаторов были выбраны сопротивление сдвигу и стойкость к вибрационным нагрузкам.

Технологию отработывали на образцах-имитаторах, имеющих форму шестигранника диаметром 30 мм и высотой 6 мм. В качестве

промежуточного элемента применяли порошок Ni. Сварку производили на установке СДВУ-50 с радиационным нагревом в специальных приспособлениях. На основании данных, полученных в результате предварительных экспериментов, выбраны следующие интервалы варьирования параметров сварки для нитрида кремния с жаропрочным сплавом 12Х18Н10Т: $T_{св} = 1\,173...1\,213$ К, $P = 15...19$ МПа, $\tau = 30...50$ мин. По результатам расчета, используя методы обработки экспериментальных данных на ЭВМ, получено уравнение регрессии, которое характеризует влияние параметров процесса сварки на прочность полученного соединения. С помощью программной оптимизации полученной регрессионной модели были

найжены оптимальные значения параметров режима сварки. Соединения, полученные при этих параметрах режима сварки, испытывали при вибрационных нагрузках и на сдвиг, проводили металлографические исследования и микрорентгеноспектральный анализ. Предел прочности при испытании на сдвиг составил 95...100 МПа, что является достаточным для обеспечения работоспособности газовых турбин.

В результате проведенных исследований был разработан технологический процесс получения металлокерамических турбин методом диффузионной сварки, который позволяет, по сравнению с паянными и клееными соединениями, значительно улучшить прочностные характеристики узла.

S. I. Ponomarev, S. P. Eresko

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

DEVELOPMENT OF MANUFACTURING METHOD FOR METAL-CERAMIC TURBIN AGREGATES

The technological problems of manufacturing parts of aerospace products with diffusion welding are considered.

© Пономарев С. И., Ереско С. П., 2009

УДК 62.52

Р. Ю. Упырь

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

РЫЧАЖНЫЕ СВЯЗИ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КАК ФОРМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

Предложена методика динамического синтеза механических колебательных систем на основе введения в рассмотрение влияния динамических свойств, вносимых в механические колебательные системы рычажными связями. Показаны возможности рационального конструирования виброзащитных систем при пространственном расположении базовых элементов, а также путем введения в виброзащитные системы элементов из расширенного типового набора.

Проблемы вибрационной защиты, виброизоляции объектов транспорта, машин, оборудования, приборов и человека-оператора являются важнейшими направлениями междисциплинарных исследований по проблемам динамики машин в их тесной взаимосвязи с проблемами системного анализа, теории автоматического управления, теории механизмов и машин, мехатроники и робототехники. Для защиты от действия вибраций объектов транспортной динамики широко используются различного рода амортизаторы, рессоры, гасители колебаний, демпферы, пневматические баллоны и средства для снижения динамических нагрузок между узлами машин и их деталями [1–3].

Актуальность выбора такого направления исследования предопределяется необходимостью учета влияния на работоспособность машин и агрегатов вибраций, ударов и других динамических воздействий, характерных для оценки качества работы технологических машин, оборудования и сложных технических систем в целом.

Вместе с тем, хотя упомянутые исследования и были представлены в ряде работ, однако не получили систематического развития, особенно в таких направлениях, как учет особенностей использования в колебательных структурах устройств с преобразованием движения, рычажных механизмов и вносимых ими связей, дополнительных к традиционным.

Цель проведенных исследований состоит в развитии и разработке нетрадиционных подходов в задачах изменения и управления динамическим состоянием машин, агрегатов и оборудования, основанных на учете особенностей рычажных связей и механизмов в колебательных структурах, образующих виброзащитные системы [4; 5].

Научная новизна результатов заключается в разработке методологических основ создания и оценки динамических свойств, вносимых в механические колебательные системы дополнительными связями, которые имеют вид рычажных элементов и механизмов.

К наиболее существенным научным результатам относятся следующие:

- разработана методологическая база для построения аппарата динамического синтеза виброзащитных систем, включающих в свой состав дополнительные связи в виде рычажных механизмов;

- разработаны математические модели для обобщенных задач защиты от вибраций объектов различного назначения с учетом особенностей реализации дополнительных рычажных связей;

- получены оригинальные научные результаты о свойствах рычажных связей в динамике колебательных систем, что позволяет ввести в рассмотрение ряд новых представлений о конструктивно-технических формах создания средств защиты от вибраций и ударов;

- предложена и разработана концепция и методика построения нового класса технических средств вибрационной защиты машин и оборудования на основе использования рычажных механизмов;

- получены экспериментальные подтверждения принципиальной работоспособности предлагаемых технических идей.

Предложенная методологическая основа разработки и построения виброзащитных систем технических объектов различного назначения с использованием рычажных связей позволяет ре-

шать задачи конструирования управляемых (в частности мехатронных) систем защиты машин и оборудования от вибраций и ударов; создавать новые конструкции технических средств защиты от вибраций и ударов; создать новую систему представлений о динамических свойствах виброзащитных систем с учетом пространственной метрики расположения мест и форм размещения элементов; создать нетрадиционные подходы в оценке динамических особенностей механических колебательных систем в режимах резонанса и динамического гашения колебаний.

Библиографический список

1. The Decision of Generalized Tasks Vibroprotection on the Basis of Structural Methods of Mathematical Modeling / Yu. Upr'y, A. S. Logunov, D. N. Naskinikov, S. V. Eliseev // *Annals of DAAAM for 2007 & Proc. of the 18th Intern. DAAAM Symp.* / ed. V. Katalinic. Vienna, 2007. P. 475–477.

2. Елисеев, С. В. Мехатроника виброзащитных систем с рычажными связями / С. В. Елисеев, А. П. Хоменко, Р. Ю. Упырь // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* Иркутск, 2009. № 3 (23). С. 104–119.

3. Упырь, Р. Ю. Обоснование возможностей расширения элементной базы колебательных систем / Р. Ю. Упырь // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* Иркутск, 2009. № 2 (22). С. 123–128.

4. Рябов, И. М. Экспериментальные исследования амортизирующих устройств транспортных средств / И. М. Рябов [и др.] // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* Иркутск, 2009. № 2 (22). С. 81–84.

5. Упырь, Р. Ю. Динамика механических колебательных систем с учетом пространственных форм соединения элементарных звеньев : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / Р. Ю. Упырь. Иркутск, 2009.

R. Yu. Upr'y

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

LEVER TIES IN PROBLEMS OF DYNAMICS OF MECHANICAL OSCILLATORY SYSTEMS AS THE FORM OF DEFINITION OF THE RELATIVE ELEMENTS POSITIONING IN SPACE

The technique of dynamic synthesis of mechanical oscillatory systems on the basis of introduction in consideration of influence of the dynamic properties brought in mechanical oscillatory system by lever ties is proposed. Possibilities of rational designing vibroprotection systems are shown at a spatial arrangement of base elements, and also by introducing elements to vibroprotection systems out of the expanded typical set.

© Упырь Р. Ю., 2009

УДК 531.4

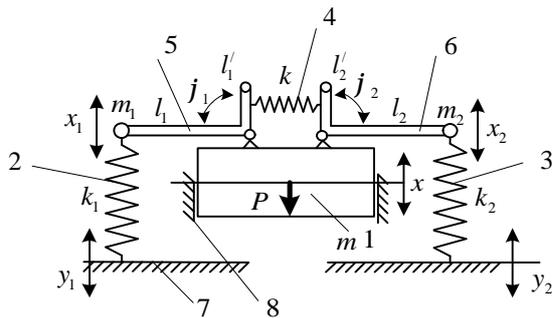
Р. Ю. Упырь, Н. П. Сигачев

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЯЗИ В СХЕМАХ ПРИБОРНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ

Рассмотрены возможности настройки виброзащитной системы, имеющей пространственную конфигурацию, на работу в области режимов динамического гашения, осуществляемых путем введения дополнительных связей в виде Г-образных рычагов.

Поиск рациональных конструктивных решений снижения уровня вибрации приборного оборудования, работающего в условиях динамического нагружения, часто связан с разработкой специальных виброзащитных систем, обладающих «настроечными» возможностями. Последнее достигается использованием специальных подвесок, имеющих пространственную конфигурацию, что требует дополнительного введения в колебательные структуры особых звеньев. Как было показано в работе [1], такими звеньями могут стать рычаги первого и второго рода. На рисунке приведена расчетная схема виброзащитной системы (ВЗС) с рычажными связями [2].



Расчетная схема ВЗС с рычажными связями

Особенности расчетной схемы, связанные с введением системы Г-образных рычагов, привносят ряд характерных деталей, зависящих от выбора системы обобщенных координат. Если принять в расчет систему координат x_1, x_2, x_3 , то парциальные системы или парциальные блоки имеют упругий характер, что предполагает обязательное взаимодействие парциальных систем (в координатах x_1, x_2, x_3) при любой частоте динамического гашения. Однако режимы динамического гашения в виброзащитной системе могут быть созданы как при силовом, так и кинематическом возмущениях. Вместе с тем дополнительным условием расчетов должна стать проверка системы на статическую устойчивость.

Выбор другой системы координат (x, φ_1 и φ_2) не изменяет значений частот собственных

колебаний, однако меняет вид парциальных систем или парциальных блоков. В этом случае перекрестные связи между разными блоками становятся также разными: имеются инерционно-упругие связи, которые могут «зануляться» на определенных частотах. Важным для нас обстоятельством является также возможность создавать режимы динамического гашения при кинематическом и силовом возмущениях. Изменение значений частот динамического гашения в обычной ситуации связано с соответствующим выбором упругостей (k_1, k_2) и масс (m_1, m_2) настроечных элементов. В тех случаях, когда Г-образный рычаг не является равноплечим, можно использовать в качестве настроечного параметра передаточные отношения длин рычагов.

Одним из вариантов расширения динамических возможностей, вполне реализуемым, представляется введение в схему устройства для преобразования движения Lp^2 , параллельного упругому звену с жесткостью k . Такой прием изменяет форму соотношений, определяющих частоты динамического гашения, вид передаточных функций и частотное уравнение системы.

В отличие от случая силового возмущения, при котором возникают специфические режимы, связанные с «обнулением» числителя передаточной функции, в случае кинематического возмущения имеется два режима динамического гашения, причем один из них связан с обнулением перекрестной связи ($k + Lp^2$). Вместе с тем, для всех рассмотренных случаев особое значение имеют режимы устойчивой работы системы [3].

Динамическое гашение колебаний относится к распространенным подходам в решении задач снижения вибрации в колебательных системах. При увеличении числа степеней свободы в таких системах возникает ряд проблем, связанных с тем, что реализация эффекта динамического гашения по одной степени свободы не позволяет добиться такого же эффекта по другой независимой координате движения. В ряде случаев удается найти компромиссное решение путем введения дополнительных связей в колебательные системы.

Библиографический список

1. Упырь, Р. Ю. Динамика механических колебательных систем с учетом пространственных форм соединения элементарных звеньев : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р. Ю. Упырь. Иркутск, 2009. 19 с.
 2. Пат. 82802 Российская Федерация, МПК F16F15/00. Динамический гаситель колебаний / Упырь Р. Ю., Елисеев С. В., Хоменко А. П., Ер-

мошенко Ю. В. Оpubл. 10.05.2009, приоритет от 22.12.08, Бюл. № 13.

3. Упырь, Р. Ю. Особенности динамических свойств виброзащитных систем приборного оборудования / Р. Ю. Упырь, А. О. Московских // Проблемы механики современных машин : материалы четвертой междунар. конф. Улан-Удэ, 2009. Т. 3. С. 160–172.

R. Yu. Upyr', N. P. Sigachov

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

ADDITIONAL TIES IN INSTRUMENT VIBROPROTECTION SCHEMES

Adjustment possibilities of vibroprotection system having a spatial configuration, to work in the field of the dynamic damp modes, carried out by introducing additional ties of G-shaped levers are considered.

© Упырь Р. Ю., Сигачев Н. П., 2009

УДК 621.313

В. П. Усов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, Томск

С. А. Броннов

Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

ОПТИМАЛЬНОЕ ДВУХКАНАЛЬНОЕ ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНДУКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ОБМОТКАХ

Рассмотрено оптимальное двухканальное частотное управление индукторным двигателем двойного питания с минимизацией электрических потерь в обмотках.

В электроприводах ряда специальных устройств, в частности систем поворота антенн и батарей солнечных космических аппаратов, можно применять индукторные двигатели двойного питания (ИДДП). В них угловая скорость пропорциональна разности частот, т. е. одна и та же скорость может быть обеспечена при различных абсолютных значениях частот. В отличие от двигателей «одинарного питания», в которых токи в обмотках полностью определяются моментом сопротивления, в ИДДП токи могут быть больше, чем это необходимо для преодоления момента сопротивления. Это приводит к излишним электрическим потерям в обмотках и к перегреву двигателя. В связи с этим возникает задача оптимального выбора абсолютных значений частот для минимизации электрических потерь в обмотках в установленном режиме. Попутно решается задача обеспечения постоянства перегрузочной способности ИДДП (постоянства угла нагрузки).

Уравнения ИДДП для установившегося режима в синхронной системе координат в системе относительных единиц при обычных в теории электрических машин допущениях:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 \cdot \Psi_{1x0} - \alpha_1 \cdot k_2 \cdot \Psi_{2x0} - \omega_{10} \cdot \Psi_{1y0} &= U_{1m0} \cdot \cos(\varepsilon_{10}); \\ \omega_{10} \cdot \Psi_{1x0} - \alpha_1 \cdot k_2 \cdot \Psi_{2y0} + \alpha_1 \cdot \Psi_{1y0} &= U_{1m0} \cdot \sin(\varepsilon_{10}); \\ -\alpha_2 \cdot k_1 \cdot \Psi_{1x0} + \alpha_2 \cdot \Psi_{2x0} - \omega_{20} \cdot \Psi_{2y0} &= \\ = U_{2m0} \cdot \cos((-\theta_{M0}) + \varepsilon_{10}); \\ -\alpha_2 \cdot k_1 \cdot \Psi_{1y0} + \alpha_2 \cdot \Psi_{2y0} + \omega_{20} \cdot \Psi_{2x0} &= \\ = U_{2m0} \cdot \sin((-\theta_{M0}) + \varepsilon_{10}), \end{aligned} \right\}$$

где $k_1 = \frac{L_m}{L_1}$, $k_2 = \frac{L_m}{L_2}$; $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - k_1 \cdot k_2$;

$\alpha_1 = \frac{R_1}{\sigma \cdot L_1}$, $\alpha_2 = \frac{R_2}{\sigma \cdot L_2}$; R_1 , R_2 – активные сопротивления обмоток; L_1 , L_2 , L_m – собственные и взаимная индуктивности.

Из приведенной системы получаются выражения для потокосцеплений, токов

$$i_{1x0} = \frac{1}{L_1\sigma}(\Psi_{1x0} - k_2\Psi_{2x0}); \quad i_{1y0} = \frac{1}{L_1\sigma}(\Psi_{1y0} - k_2\Psi_{2y0});$$

$$i_{2x0} = \frac{1}{L_2\sigma}(\Psi_{2x0} - k_1\Psi_{1x0}); \quad i_{2y0} = \frac{1}{L_2\sigma}(\Psi_{2y0} - k_1\Psi_{1y0})$$

и электромагнитного момента, из которой можно выразить угол нагрузки

$$\theta_{M0} = \arcsin \left[\frac{\frac{L_m\alpha_2k_1\omega_{2,0}}{\sigma L_1L_2 \cdot (a^2 + b^2)} \cdot U_{1m0}^2 - \frac{L_m\alpha_1k_2\omega_{1,0}}{\sigma L_1L_2 \cdot (a^2 + b^2)} \cdot U_{2m0}^2 + M_{st0}}{\frac{L_m U_{1m0} U_{2m0}}{\sigma L_1L_2 (a^2 + b^2)} \times \sqrt{(\alpha_1\alpha_2\sigma + \omega_{1,0}\omega_{2,0})^2 + (\alpha_1\omega_{2,0} - \alpha_2\omega_{1,0})^2}} \right] - \arctg \left(\frac{\alpha_2\omega_{1,0} - \alpha_1\omega_{2,0}}{\alpha_1\alpha_2\sigma + \omega_{1,0}\omega_{2,0}} \right),$$

где $a = \omega_{10}\omega_{20} - \alpha_1\alpha_2\sigma$; $b = \alpha_1\omega_{20} + \alpha_2\omega_{10}$; ω_{10} , ω_{20} – частоты первого и второго напряжений; M_{st0} – момент нагрузки.

Мощность потерь в меди обмоток определяется выражением

$$P = i_{1x0}^2 \cdot R_1 + i_{1y0}^2 \cdot R_1 + i_{2x0}^2 \cdot R_2 + i_{2y0}^2 \cdot R_2.$$

Алгоритм расчета электрических потерь следующий:

- 1) задаются статический момент нагрузки M_{st0} и скорость ротора ω_r ; 2) задается частота ω_{20} и рассчитывается частота $\omega_{10} = \omega_r + \omega_{20}$;
- 3) рассчитывается угол нагрузки θ_{M0} ; 4) рассчитываются потокосцепления; 5) рассчитываются токи в обмотках; 6) рассчитываются электрические потери P . Затем вновь повторяются пункты 2...5 и строится характеристика. Для различных значений момента и скорости можно построить семейства характеристик (рис. 1, 2). Таким образом, получим зависимости мощности потерь и угла нагрузки, которые представим как функции $J(\omega_{20}, \omega_r, M_{st0})$ и $\theta_{M0}(\omega_{20}, \omega_r, M_{st0})$.

Совместное рассмотрение графиков позволяет найти оптимальное значение частот, при которых обеспечивается минимум электрических потерь в обмотках для сочетания ω_r и M_{st0} .

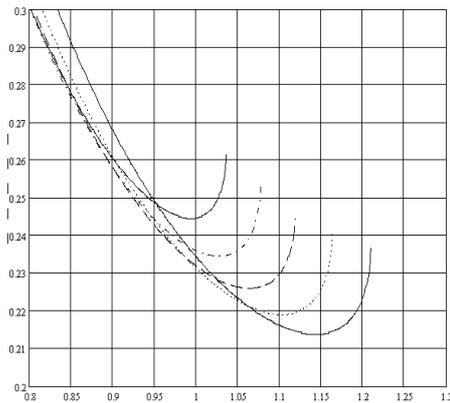


Рис. 1. Зависимости мощности потерь от частот при разных скоростях

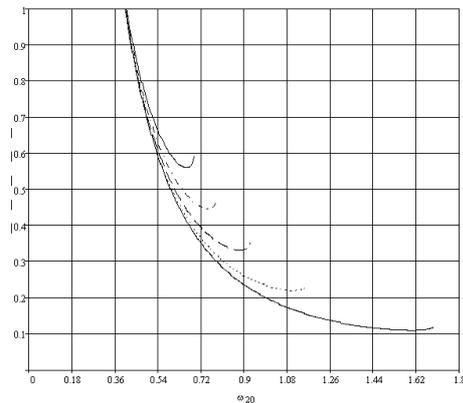


Рис. 2. Зависимости мощности потерь от частот при разных моментах нагрузки

V. P. Usov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk

S. A. Bronov

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

OPTIMUM TWO-CHANNEL FREQUENCY MANAGEMENT OF THE INDUCTION MOTOR OF A DOUBLE FEED WITH MINIMIZATION OF ELECTRIC LOSSES IN WINDINGS

Optimum two-channel frequency management of the induction motor of a double feed with minimisation of electric losses in windings is considered.

© Усов В. П., Бронов С. А., 2009

А. А. Фадеев, И. Я. Шестаков

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск**О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ НАГРЕВА ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Представлена структура возможного механизма нагрева воды и водных растворов переменным электрическим полем промышленной частоты.

Нагрев воды и водных растворов используется во многих отраслях экономики (от промышленного до бытового сектора) и является весьма затратным. Разработка экономичных устройств нагрева воды за счет использования ее специфических свойств приведет не только к экономии энергоносителей, но и снижению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Сотрудниками Сибирского государственного аэрокосмического университета разработан энергосберегающий способ нагрева воды и водных растворов переменным электрическим полем, при повышенном КПД процесса, который наблюдался при следующих условиях:

1. Воздействие переменного электрического поля (при этом наблюдалось полное отсутствие выделения газа).

2. Незначительная удельная мощность.

Хотя аномальный характер свойств воды отмечают многие ученые [1], до сих пор нет единого понимания механизма процесса. Исходя из литературных данных [2; 3] и опытов, была предпринята попытка осмысления фактического материала и выстраивания цепочки прохождения процесса. Условно процесс можно разбить на два этапа, которые характеризуются следующими фактами.

1. До воздействия электрического поля (ЭП):

– молекулы воды образуют связанные структуры (кластеры) (до 5 типов) [2], которые на границах раздела фаз (жидкость–воздух) выстраиваются в определенном порядке;

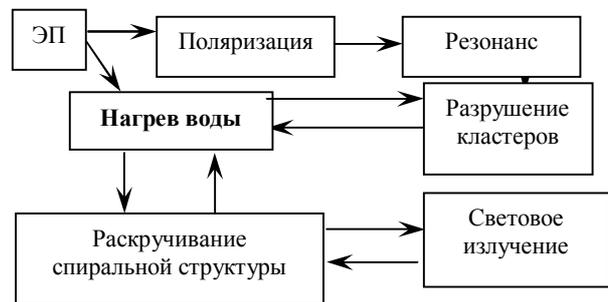
– молекулы воды представляют из себя иономеры – спиральные структуры с определенным шагом и направлением закрутки спирали – правосторонние [2];

– все кластеры колеблются с одинаковой частотой, приобретая одну общую частоту [3].

2. Воздействие электрического поля (ЭП). Механизм воздействия электрического поля представлен на рисунке. Необходимо ввести некоторые пояснения.

Поляризация кластера: образование (перераспределение) кластеров, которые имеют одинаковую частоту колебания, и по мере возрастания упорядоченности увеличивается их дипольный момент и поляризация [4; 5].

Резонанс: скорость различных процессов в водных растворах существенно изменяется при вполне определенных частотах тока, на которых развиваются резонансные явления [6].



Возможный механизм нагрева воды и водных растворов переменным электрическим полем

Разрушение кластеров: под воздействием электрического поля происходит накопление энергии в кластерной структуре до некоторого критического значения, затем происходит разрыв связей между кластерами, происходит лавинообразное освобождение энергии, которая может затем трансформироваться в другие типы [7]. Повышение температуры также приводит к разрушению кластеров под влиянием тепловой энергии [5].

Раскручивание спиральной структуры: при нагреве за счет конвекции происходит вихревое движение слоев жидкости. Торсионные поля, создаваемые вихрем, выстраивают обрывки цепочек воды параллельно друг другу, что облегчает сцепление их концами и «полимеризацию» воды, которая сопровождается выделением энергии связи между структурами в виде излучений и тепла.

Данная модель является очень условной по следующим причинам:

1. Учтены только физические явления, в то время как несомненно, что происходящие при проведении данного процесса химические и электрохимические явления в той или иной степени влияют на процесс нагрева.

2. Некоторые моменты в объяснении возможного механизма являются неоднозначными, в силу отсутствия глубоких теоретических и практических работ.

Подводя итог, можно сказать, что моделирование процесса энергосберегающего нагрева воды и водных растворов позволит выявить основные факторы, влияющие на процесс, а за счет аномалии структуры воды и специфических режимов нагрева воды и водных растворов добиться экономии затрат энергии.

Библиографический список

1. Титаев, Б. Ф. Вода как источник энергии. Наука в России / Б. Ф. Титаев. Новосибирск : Радуга, 1996.
2. Вода как гетерогенная структура [Электронный ресурс] / А. В. Сыроешкин [и др.] // Исследовано в России. Электрон. журн. Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/088.pdf>. 2006. С. 843–854. Загл. с экрана.
3. Барабаш, Ю. М. Динамика параметров водных систем под действием слабого электромаг-

нитного излучения / Ю. М. Барабаш. М. : Наука, 2001.

4. Гончарук, В. В. Изменение свойств воды под влиянием электрохимической обработки / В. В. Гончарук, В. В. Маляренко // Химия и технология воды. 2001. Т. 23. № 4. С. 345–353.

5. Гончарук, В. В. Влияние температуры на кластеры воды / В. В. Гончарук, Е. А. Орехова, В. В. Маляренко // Химия и технология воды. 2008. Т. 30. № 2. С. 150–158.

6. Интенсификация электрохимических процессов : сб. науч. тр. / под ред. А. П. Томилова. М. : Наука, 1988. 215 с.

7. Лошицкий, П. П. Механизмы воздействия электромагнитных волн низкой интенсивности на воду и водные растворы / П. П. Лошицкий // Проблемы Электроники : материалы 22 Междунар. науч.-практ. конф. Киев, 2005.

A. A. Fadeev, I. Ya. Shestakov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

ABOUT POSSIBLE MECHANISM OF THE HEATING OF WATER AND WATER SOLUTION UNDER AC FIELD INFLUENCE

The structure of the possible mechanism of the heating of water and water solution by ac field of the industrial frequency is presented.

© Фадеев А. А., Шестаков И. Я., 2009

УДК 621.368. (075)

И. О. Фролов, А. С. Мусабиев

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова, Кыргызская Республика, Бишкек

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Рассматриваются методы упрочнения электромеханической обработки деталей колесных и гусеничных машин в условиях высокогорья и жаркого климата Кыргызской Республики.

Повышение долговечности машин в первую очередь связано с повышением износостойкости деталей. Электромеханическое упрочнение – это один из эффективных методов упрочнения поверхностей деталей машин [1].

Детали любых агрегатов строительно-дорожных машин, лимитирующие их ресурс, выявляются на основании статистической информации. Такие данные можно получить только на основании анализа отказов при длительной эксплуатации машин. Низкая надежность таких деталей в первую очередь связана с низкими прочностными свойствами или недостаточной износостойкостью рабочих поверхностей. Более 80 %

отказов машин происходит в результате износа до предельной величины деталей сопряжений. Износ проявляется в виде увеличения шума и вибрации агрегатов или увеличения наружной и внутренней негерметичности. Кроме того, увеличение зазоров в сопряжениях гидроагрегатов способствует повышению температуры рабочей жидкости гидросистемы. Аналогичный процесс протекает в топливных, масляных, охлаждающих, тормозных и других системах, где используется принудительная подача жидкостей. Интенсивность изнашивания, как известно, зависит от нагрузки, механических свойств изнашиваемого материала, микрогеометрических характеристик рабочей поверх-

ности, температурного и скоростного режимов узла трения, а также фрикционных характеристик, определяемых коэффициентом трения. Влияние этих факторов достаточно изучено.

Абразивный износ носит случайный характер и не поддается описанию аналитическими зависимостями. Большие исследования в этой области провели М. М. Хрущов и М. И. Бабищев, доказав что абразивная износостойкость зависит только от твердости материала. Однако в работах Веллингера и Ричардсона указано, что объем изношенного металла растет пропорционально нагрузке и пути скольжения. Установлено, что для снижения абразивной составляющей изнашивания твердость материала детали должна быть в 1,3 раза больше твердости абразива. Как указано в этих работах, дальнейшее повышение твердости материала нецелесообразно, так как оно не приведет к значительному улучшению износостойкости.

Наибольшее влияние на износ деталей оказывают абразивные частицы, попадающие в сопряжения между подвижными деталями. Абразивный износ составляет 60...70 % от общего износа деталей машин. Эксплуатация машин в горных условиях в летний период протекает в зонах с повышенной запыленностью высокопрочным абразивным материалом.

Для проведения исследования были взяты пробы абразивных материалов из зоны эксплуатации колесных и гусеничных машин, эксплуатируемых в Чуйской области. Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшей микротвердостью обладают кварциты, которые составляют 75...80 % горных пород. Особенно это касается оборудования при добыче таких горных минералов, как корунд (Al_2O_3), микротвердость которых достигает 20 000 МПа.

Исследования микротвердости деталей гидроагрегатов на примере аксиально-поршневых гидромашин показали, что микротвердость изменяется в широких пределах от 5 145 до 12 201 МПа.

При сопоставлении полученных данных микротвердости абразивного материала и микротвердости деталей установлено, что указанным требованиям удовлетворяет только поршень гидрона-

соса. Остальные детали требованиям износостойкости не удовлетворяют. С целью повышения долговечности агрегатов машин, работающих в условиях с повышенной запыленностью, был проведен анализ существующих методов упрочнения поверхностных слоев деталей.

Для повышения эффективности работы подобных установок нами был предложен ряд комбинированных методов электрохимического упрочнения. Один из комбинированных методов упрочнения сочетает в себе метод пластической деформации поверхности деталей с диффузионным упрочнением. Перед электрохимическим упрочнением на поверхность детали наносится тонкий слой (до 0,2 мм) диффузионного материала, например карбида бора или порошка ванадия. При пластическом электрохимическом упрочнении происходит нагрев диффузионного слоя обмазки и внедрение атомов металла в кристаллическую структуру поверхности детали. Такой метод повышения износостойкости деталей позволяет производить упрочнение на глубину до 0,3 мм с твердостью упрочненного слоя до 17 000 МПа. В качестве диффузионного материала могут быть использованы и другие порошки легирующих металлов: вольфрам, титан, редкоземельные металлы. В качестве связующего материала при приготовлении обмазки применялось жидкое стекло [2].

На основании изложенного следует сделать вывод, что для повышения долговечности агрегатов и износостойкости деталей машин необходимо увеличить микротвердость поверхностей ответственных деталей машин до 17 000 МПа.

Библиографический список

1. Аскинази, Б. М. Упрочнение и восстановление деталей машин электрохимической обработкой / Б. М. Аскинази. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1989.
2. Фролов, И. О. Повышение эффективности эксплуатации строительных машин в условиях высокогорья и жаркого климата / И. О. Фролов. Бишкек : Кыргызстан, 2001.

I. O. Frolov, A. S. Musabaev

N. Isanov Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture,
Kyrgyz Republic, Bishkek

FEATURES OF SUPERFICIAL HARDENING OF DETAILS WHEEL AND TRACKLAYING VEHICLES

In given article electromechanical processing of details wheel and tracklaying vehicles in conditions high mountains and a hot climate of the Kirghiz Republic is considered hardening methods.

© Фролов И. О., Мусабаев А. С., 2009

АКТИВНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ВИБРОЗАЩИТА АМОРТИЗИРУЕМОГО ОБЪЕКТА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ГАСИТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ

Предложено виброзащитное устройство для крупногабаритных объектов с пониженной вибрацией при динамических нагрузках. Гаситель колебаний на базе электродвигателя рассматривается как электротехнический комплекс. Сформулированы задачи для развития данного направления виброзащиты.

Виброзащитные устройства (ВЗУ) крупногабаритных объектов содержат амортизаторы различных видов и демпферы (как правило, гидравлические) [1]. Амортизатор обычно является пневмоамортизатором (ПА) с воздушным демпфированием. Для устранения виброударопродолжительности в динамических режимах работы ВЗУ предлагается вместо гидродемпфера применить электромагнитный динамический гаситель колебаний на базе асинхронного электродвигателя (АД). В этом случае ВЗУ является комбинированным и содержит ПА, обеспечивающий статическую нагрузку (несущую способность) ВЗУ и динамический гаситель колебаний на базе АД, работающий только в динамических режимах. В такой конструкции динамический гаситель колебаний представляет собой электротехнический комплекс, предназначенный для преобразования механической энергии колебаний АО в тепловую энергию, рассеиваемую в окружающую среду, или в электрическую энергию, отдаваемую с помощью обратимых преобразователей в сеть (источник питания) АД.

Структура электромагнитного гасителя колебаний комбинированного виброзащитного устройства (ВЗУ) совпадает с общей структурой электротехнологических систем (рис. 1) [2]. В соответствии с [2], электротехнический комплекс (ЭТК) – подсистема электротехнологической системы, состоящая из преобразователя электрической энергии, электротехнологического устройства, преобразовательного устройства и устройства управления и регулирования, и предназначенная для реализации рабочих процессов рабочей машины в заданном технологическом процессе.

Рассмотрим пример совмещенной запатентованной конструкции ВЗУ (рис. 2). В состав ВЗУ входят (рис. 2, а) неуправляемый пневматический упругий элемент и управляемый динамический гаситель колебаний, состоящий из АД, барабана с тросом и блока управления. Блок управления обеспечивает работу АД в режимах сжатия и отбоя. Площадь петли $a-b-2-a$ на упругодемпфирующей характеристике (рис. 2, б) отображает рассеянную энергию одного колебания АО ВЗУ.

Пневматический упругий элемент обеспечивает статическую нагрузку (несущую способность) ВЗУ при отсутствии внешних воздействий ($P_{ст} = Mg$).

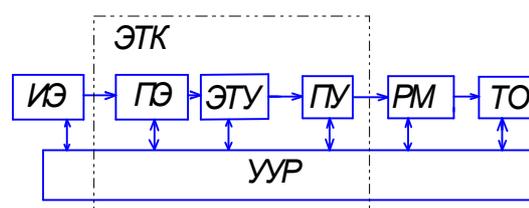


Рис. 1. Структура электротехнологических систем: ИЭ – источник электрической энергии; ПЭ – преобразователь электрической энергии; ЭТУ – электротехнологическое устройство; ПУ – преобразовательное устройство; РМ – рабочая машина; ТО – технологический объект; УУР – устройство управления и регулирования; ЭТК – электротехнологическая система

Для развития предлагаемого направления в виброзащите крупногабаритных объектов необходимо рассмотреть ряд задач, в том числе: задачу выбора АД по мощности (с учетом его работы только в тормозном режиме и одновременной работы пневмоамортизатора с демпфирующими свойствами); задачу синтеза конструктивных решений ВЗУ и выбора режима работы устройства управления, преобразователя частоты ВЗУ с АД, обеспечивающего максимальное преобразование энергии колебаний АО в тепловую энергию; задачу разработки и исследования совмещенной модели ВЗУ с АД при различных видах нестационарных воздействий.

Библиографический список

1. Гидропневматическая подвеска и ее упруго-демпфирующие характеристики / Б. Н. Фитилев, В. А. Комочков, В. М. Труханов, И. В. Соболевский // Справочник. Инженерный журнал. 2007. № 11. С. 62–64.
2. Ковалев, В. З. Идентификация параметров и характеристик математических моделей электротехнических устройств / В. З. Ковалев, А. Г. Щербаков, А. Ю. Ковалев ; Омский гос. техн. ун-т. Омск, 2005.

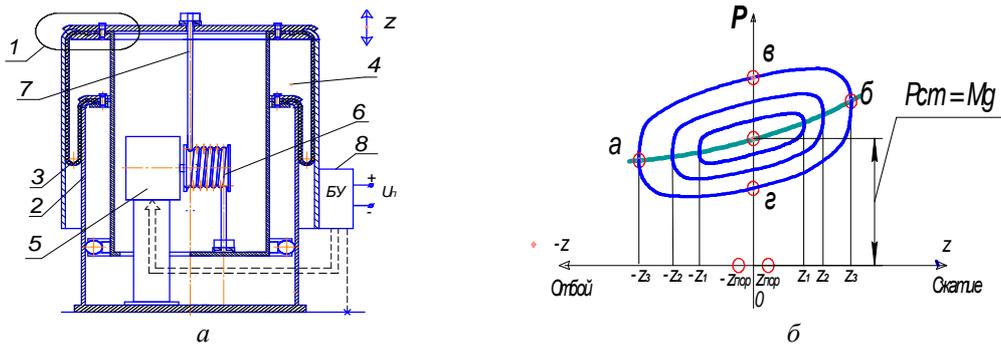


Рис. 2. Виброзащитное устройство:
 а – конструкция: 1 – подвижная часть (обойма); 2 – неподвижная часть; 3 – резинокордная оболочка; 4 – пневматический упругий элемент; 5 – АД; 6 – барабан с тросом; 7 – трос; 8 – блок управления; б – упругодемпфирующая характеристика

R. N. Khamitov

Omsk State Technical University, Russia, Omsk

ACTIVE COMBINED VIBRATION PROTECTION OF AMORTIZED OBJECT WITH ELECTROMAGNETIC FLUCTUATION ATTENUATOR

The vibration protection device for large-size objects with lowered vibration at dynamic loadings is proposed. Fluctuation attenuator based on the electric motor is considered as an electrotechnical complex. Problems to develop the given vibration protection are formulated.

© Хамитов Р. Н., 2009

УДК 62.567.5

Р. Н. Хамитов, Г. С. Аверьянов

Омский государственный технический университет, Россия, Омск

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО КЛАПАНА ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ КОММУТАЦИИ ОБЪЕМОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВИБРОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА

На основе анализа демпфирования колебаний в пневматическом виброзащитном устройстве с позиции термодинамики необратимых процессов сформулированы условия для производства наибольшего уровня диссипации энергии колебаний амортизируемого объекта. Предложено и рассмотрено устройство, реализующее данные условия.

Использование пневматических амортизаторов (ПА) с резинокордными оболочками (РКО) в системах амортизации амортизируемых объектов (АО) стимулировало создание нового способа демпфирования колебаний, за счет введения активного управления упругодемпфирующими характеристиками ПА [1]. Анализ демпфирования колебаний в ПА с позиции термодинамики необратимых процессов показывает, что каждый объем ПА может рассматриваться как открытая система с точки зрения обмена массой и внутренней энергией с другим объемом. Такой обмен, в случае применения дроссельных устройств, происходит непрерывно, а в случае применения клапанных устройств – только в определенные промежутки времени периода колебаний АО.

Повышение эффективности диссипации энергии колебаний в ПА с активным управлением процессами массопереноса газа между объемами ПА может быть достигнуто соединением объемов ПА в моменты времени, соответствующие наибольшей разности термодинамических потенциалов газов, отнесенных к их абсолютным температурам. Разъединение объемов следует осуществлять в моменты установления равенства термодинамических потенциалов газов, также отнесенных к их абсолютным температурам. Тогда при этом будет получено наибольшее производство энтропии в ПА, т. е. наибольший уровень диссипации энергии колебаний АО.

Сформулированным требованиям наиболее полно удовлетворяет ПА с импульсным электро-

динамическим клапаном, установленным в перегородке между рабочим и дополнительным объемами [2]. Данный ПА (рис. 1) содержит РКО с крышкой, образующие основную рабочую полость, дополнительную емкость, расположенную между ними перегородку с клапанным устройством в виде импульсного электродинамического клапана и систему управления клапаном. Необходимый алгоритм работы ПА обеспечивается системой управления клапана (рис. 2).

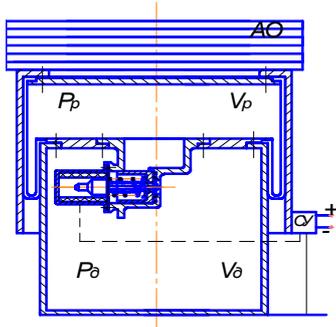


Рис. 1. Пневмоамортизатор

Поглощенная энергия колебаний АО за один цикл отражается площадью петли гистерезиса на упругодемпфирующей характеристике (УДХ) ПА (рис. 3). За счет выбираемого алгоритма работы блока управления силовым ключом клапана можно получать петлю гистерезиса с ее различным

расположением относительно статической УДХ (кривая а–б на рис. 3, а или кривая а–с на рис. 3, б).

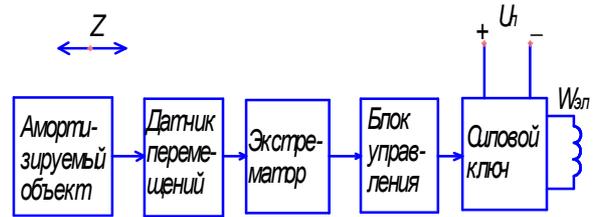


Рис. 2. Система управления импульсным клапаном

Таким образом, для повышения демпфирования колебаний систем амортизации АО может быть рекомендован активный способ управления упругодемпфирующими характеристиками ПА.

Библиографический список

1. Аверьянов, Г. С. Рабочий цикл пневматического амортизатора с активным управлением термодинамическими параметрами газа / Г. С. Аверьянов, Ю. А. Зензин, В. Д. Белицкий // Динамика машин и рабочих процессов : межвуз. сб. науч. тр. Челябинск, 1985. С. 144–149.
2. Пат. 2325285 Российская Федерация. МПК F16F 9/04, B60G 11/26. Пневматическая подвеска / Аверьянов Г. С., Хамитов Р. Н. Опубл. 27.05.08, Бюл. № 15.

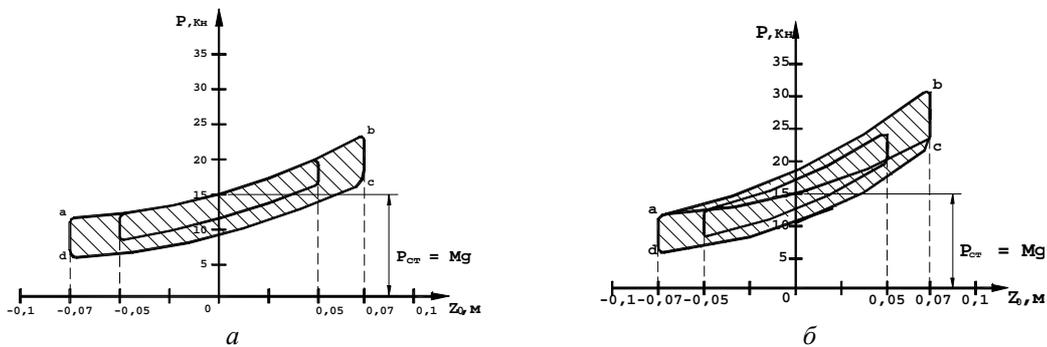


Рис. 3. Упругодемпфирующая характеристика ПА

R. N. Khamitov, G. S. Averjanov

Omsk State Technical University, Russia, Omsk

CONTROL SYSTEM OF THE PULSE ELECTRODYNAMIC VALVE FOR SHORT-TERM SWITCHING OF VOLUMES OF THE PNEUMATIC VIBRATION PROTECTION DEVICE

The manufacturing conditions to produce the highest level dissipated energy of amortized object fluctuations are formulated on the basis of the analysis of fluctuation damping in the pneumatic vibration protection device according to thermodynamics irreversible process position.

© Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С., 2009

**ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЗАДАЧАХ ВИБРОЗАЩИТЫ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Рассмотрены динамические свойства пневматических элементов с позиций элементной базы структурной теории виброзащитных систем. Предложена математическая модель двухкамерного блока, позволяющая оценить общие свойства его взаимодействия с другими элементами. Составлены математические модели активных систем защиты от вибраций с использованием пневматических приводов и систем защиты человека – оператора транспортных средств.

В решении задач виброзащиты и виброизоляции технических объектов идеи управления движением связаны с развитием структурной теории виброзащитных систем (ВЗС) [1]. Активные элементы управляемых ВЗС все чаще становятся объектом теоретических исследований и практических разработок. Пневматические элементы, используемые в структурах ВЗС, вызывают интерес как элементы достаточно недорогие и обладающие большими возможностями в вариантах конструктивно-технических решений. Вместе с тем многие детали динамических свойств этих элементов не получили еще должного развития и изучения.

Транспортные средства можно отнести к сложным техническим объектам, расчетные схемы которых представляют собой механические колебательные системы со многими степенями свободы. Элементная база виброзащитных систем включает в себя металлические пружины и листовые рессоры, демпферы и гасители колебаний. Пневматические элементы в этом плане представляют собой достаточно сложные устройства, имеющие различные формы конструктивного исполнения и использующие динамические свойства рабочего тела в виде воздуха или газа. Пневмоэлементы при больших деформациях проявляют нелинейные свойства, избирательно реагируют на частоту внешнего нагружения, рассеивают энергию высокочастотных сигналов, нагреваются и т. д. При таком подходе динамические свойства пневматических устройств целесообразно описывать, используя представления о комбинациях элементарных типовых звеньев, реализуемых тем или иным способом [2].

Авторами показано, что передаточная функция активного элемента при входе в виде смещения и выходе как расходе воздуха соответствует интегральному звену. В связи с этим рассмотрены возможные виды соединений типовых элементарных звеньев с интегральным звеном первого

рода. Показано, что введение дополнительных связей, построенных комбинационным образом, может приводить к потере устойчивости. Сдвиг по фазе между внешним воздействием и смещением, что характерно для пневматических ВЗС, может быть учтен рассмотрением звена чистого запаздывания. Авторами предлагается упрощенная методика оценки предельных свойств ВЗС на основе замены звена чистого запаздывания апериодическим звеном [3]. Такое звено не является уже элементарным, что позволяет рассматривать звено чистого запаздывания как граничное в классе элементарных звеньев.

Введение дополнительных цепей с активными элементами (пневматическими приводами) в структуре ВЗС усложняет математическую модель. Возможные пути упрощения связаны с учетом фильтрующих свойств механической части системы, что дает определенные основания полагать существенное снижение роли высокочастотных составляющих в цепях формирования управляющей силы. Установка активных элементов приводит к появлению в системах внутренних конструктивных связей, влияние которых остается даже при нулевом значении управляющего сигнала. В пневматических виброзащитных системах осуществляется взаимодействие пневматических и механических элементов систем. Таким образом, исследование динамики ПВЗС основывается на решении нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих как изменения параметров движения механической системы, так и ход газотермодинамических процессов [4]. Авторами рассмотрены математические модели ПВЗС с поршневым, мембранным исполнительными механизмами и приводами на проточных камерах и проведен анализ влияния различных законов управления на величину зоны эффективности.

Одним из наиболее развитых направлений использования управляемых пневматических виброзащитных систем (ПВЗС) является создание

систем защиты кресла человека-оператора. Авторами рассмотрены вопросы построения математических моделей ПВЗС для двух вариантов подвесок сиденья машиниста локомотива, использовавшихся на практике. Для оценки общих свойств взаимодействия предложено упругие свойства пневматического двухкамерного блока в целом оценить через значения параметров соединения элементов расширенного элементного набора колебательных систем.

Проведенные исследования позволяют создать методологическую основу для разработки виброзащитных систем с пневматическими элементами или звеньями и рассматривать взаимодействие пневматических элементов в структурах управляемых динамических систем. Пневматические элементы рассматриваются авторами и вводятся как дополнительные связи, имеющие свою специфику в формах физических реализаций, однако их взаимодействие в рамках виброзащитной системы подчиняется общим правилам соединений элементов структурной теории ВЗС.

A. P. Khomenko, A. S. Logunov

Irkutsk State University of Railway Engineering, Russia, Irkutsk

PNEUMATIC ELEMENTS IN PROBLEMS OF VIBROPROTECTION VEHICLES

Dynamic properties of pneumatic elements on the structural theory element base of vibroprotection systems are considered. The mathematical model of the two-chamber block, allowing to estimate the general properties of its interaction with other elements is offered. Mathematical models of active systems to protect against vibrations applying pneumatic drives and the person-vehicle operator protection systems are made.

© Хоменко А. П., Логунов А. С., 2009

УДК 674.053:621.935

В. К. Шилько, И. В. Слепченко, В. Г. Легостаев

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Томск

УСЛОВИЯ СОЗДАНИЯ «ПОДВИЖНОЙ ЖЕСТКОЙ ЗАДЕЛКИ» ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ В ДВУХСТОРОННИХ РОЛИКОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ ОПОРАХ

Рассмотрено формирование условий закрепления рабочего участка ленточной пилы в двухсторонних роликовых направляющих опорах по типу «подвижной жесткой заделки», позволяющей повысить жесткость и устойчивость пилы и, соответственно, обеспечить лучшие производительность и качество распиловки материалов.

Для обеспечения устойчивой работы ленточных пил (ЛП) их свободную длину между шкивами ограничивают направляющими опорами, которые бывают двух типов: скольжения и качения. Для ленточнопильных станков легкого класса с диаметром шкивов до 800 мм широкое распро-

Библиографический список

1. Елисеев, С. В. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко. А. А. Засядко. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008.

2. Насников, Д. Н. Типовые звенья в структурных интерпретациях механических колебательных систем / Д. Н. Насников, А. С. Логунов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2006. Вып. 4 (12). С. 78–92.

3. Логунов, А. С. Колебательные структуры с элементами запаздывания / А. С. Логунов // Проблемы механики современных машин : материалы четвертой Междунар. конф. Улан-Удэ, 2009. Т. 1. С. 272–279.

4. Логунов, А. С. Структурное моделирование пневматических систем в задачах виброзащиты объектов. Обобщенные подходы / А. С. Логунов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2008. Вып. № 4 (20). С. 82–87.

странение получили односторонние и двухсторонние роликовые направляющие качения. К их недостаткам следует отнести то, что выполненные из стали ролики не обеспечивают достаточной площади контакта пилы с направляющими (рис. 1), поэтому эффективность закрепления ра-

бочего участка пилы снижается. Соответственно снижаются производительность ленточнопильных станков и качество распиловки.

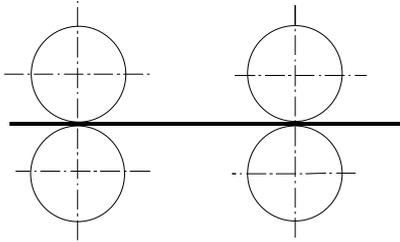


Рис. 1. Точечный контакт роликов с ленточной пилой в поперечном сечении

Повысить жесткость и устойчивость ленточной пилы в пределах допустимого прогиба можно, применяя направляющие с двухсторонним поджимом ленточной пилы, обеспечивающие закрепление ее рабочего участка по типу «подвижной жесткой заделки». Наиболее приемлемым вариантом является применение двухсторонних роликовых направляющих устройств, футерованных гибкими эластичными элементами (рис. 2). В данном случае деформация гибких эластичных элементов обеспечивает необходимые пятна контакта с обеих сторон пилы. Это позволит за счет сил трения обеспечить условие создания «подвижной жесткой заделки» пилы и сформировать устойчивые опорные реакции на действие нормальной составляющей силы резания, препятствующие поперечному сдвигу рабочего участка [1].

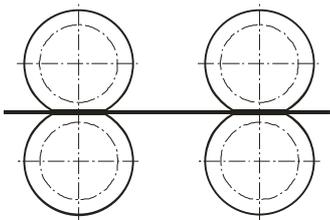


Рис. 2. Линейный контакт роликов с ленточной пилой в поперечном сечении

Экспериментальная оценка устойчивости ленточной пилы в двухсторонних роликовых обрезиненных направляющих осуществлялась на гибком экспериментальном модуле, который предназначен для проведения исследований по распиловке древесины ленточными пилами в условиях, максимально приближенных к промышленным. В качестве футеровки роликов использовался резинокордовый клиновой ремень профиля Б от 50 до 80 единиц твердости по Шору, выступающий за пределы ролика на 2...3 мм для создания необходимого пятна контакта.

Замеры жесткости рабочего участка ленточной пилы проводились в статике. Усилие натяжения ЛП контролировалось динамометрическим ключом. Для имитации боковой силы к ленточной пиле подвешивали груз, а отклонение полотна ленточной пилы контролировалось индикатором часового типа. Результатом экспериментов стали графические зависимости начальной жесткости отрезка пилы в статике от длины пятна контакта с роликами для разных толщин пил (рис. 3).

Таким образом установлено, что при увеличении площади пятна контакта жесткость отрезка ленточной пилы между направляющими возрастает нелинейно. С увеличением площади пятна контакта жесткость отреза ленточной пилы между направляющими увеличивается. При достижении пятна контакта размером более 8 мм по длине пилы шириной в 30 мм дальнейшее увеличение жесткости изменяется незначительно. Аппроксимирующая функция имеет вид полинома третьего порядка.

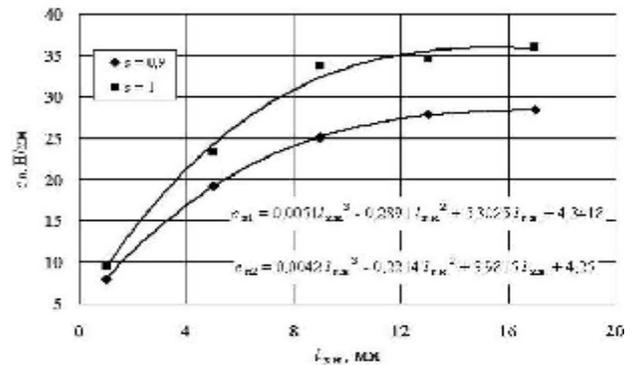


Рис. 3. Зависимость начальной жесткости c_n рабочего участка ЛП в статике от длины пятна контакта с направляющими и толщинах пилы $s = 1,0$ мм и $s = 0,9$ мм

Критериями технологической оценки схемы механизма резания ленточнопильного станка с новыми двухсторонними роликовыми обрезиненными направляющими являлись точность геометрических форм выпиливаемых пиломатериалов, косвенно характеризующих устойчивость работы ленточных пил, а также скорость подачи и величина подачи на зуб, определяющие производительность ленточнопильного станка.

Результаты замеров точности сечений получаемых пиломатериалов [2] в сравнении с расчетными данными показали, что точность распиловки ленточными пилами, удерживаемыми на двухсторонних роликовых обрезиненных направляющих, значительно выше, чем в случае роликовых стальных направляющих, работающих на отжим.

Библиографический список

1. Пат. 64555 Российская Федерация, МПК 7В 27 В 13/00, 15/00, 15/04. Ленточнопильный станок / Шилько В. К., Кондратьев М. Ю., Слепченко, И. В., Степанов Д. Е. // Изобретения. Полезные модели. 2007. № 19 (II ч.). С. 519.

2. Слепченко, И. В. Перспективы развития двухсторонних роликовых направляющих устройств ленточнопильных станков / И. В. Слепченко, В. К. Шилько // Деревообр. пром-ть. 2008. № 1. С. 7–9.

V. K. Shilko, I. V. Slepchenko, V. G. Legostayev

Tomsk State Architecturally-Building University, Russia, Tomsk

CREATION CONDITIONS «MOBILE RIGID FASTENINGS» OF THE TAPE SAW IN BILATERAL ROLLER DIRECTING SUPPORT

Formation of conditions of a tape saw working site fastening in bilateral roller directional control equipment of «mobile rigid fastening» type is considered. This procedure allows raising rigidity and stability of a saw and, accordingly, providing the best productivity and quality of materials sawing up.

© Шилько В. К., Слепченко И. В., Легостаев В. Г., 2009

УДК 621.378

В. И. Мордасов, Н. А. Сазонникова, О. С. Пичкурова

Самарский государственный технический университет, Россия, Самара

Д. Н. Гребнев, О. В. Шулепова

Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс», Россия, Самара

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ЗОНДИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ

Исследованы возможности реализации метода обнаружения объектов лазерной локацией с изменяемой длиной волны, частотой генерации и длительностью импульса. В описанном методе лазерной локации выявлена зависимость отражательных характеристик исследуемых объектов от длины волны излучения, частоты генерации и длительности импульса при зондировании их поверхности. Уникальными возможностями вспомогательной лазерной подсветки являются перестройка длины волны и импульсно-периодического режима зондирующего излучения.

Критерием эффективности лазерно-электронной системы дистанционного зондирования является максимум вероятности распознавания объектов и элементов поверхности при оптимальном разбиении пространства признаков. Минимально количество определяемых признаков зависит от априорной информации и характеристик фона (подстилающей поверхности, шумовой составляющей). При этом целевая функция определяет зависимость вероятности распознавания от параметров лазерной подсветки.

Полупроводниковые лазеры являются перспективными источниками излучения для оптико-электронных систем дистанционного зондирования благодаря высокому ресурсу, низкому напряжению

источника питания, малой массе, низкой чувствительности к механическим воздействиям др.

Метод обнаружения объектов лазерной локацией заключается в определении зависимости величины сигнала, отраженного от поверхности зондируемых объектов при изменении длины волны (0,3...10,6 мкм), перестройки частоты следования импульсов (10...30 Гц) и изменения величины скважности (0...1).

В работе были исследованы возможности реализации метода обнаружения объектов при дистанционном зондировании поверхности с изменяемой длиной волны, частотой генерации и длительностью импульса. В описанном методе выявлена зависимость отражательных характеристик

исследуемых объектов от длины волны излучения, частоты повторения и длительности импульса при зондировании их поверхности. Уникальными возможностями вспомогательной лазерной подсветки являются перестройка длины волны и импульсно-периодического режима зондирующего излучения. Последнее позволяет получать эффекты, недостижимые для естественного освещения, открывает дополнительные возможности для обнаружения замаскированных и других объектов (определение вида материалов, температуры, коэффициента отражения внешней поверхности).

Создан испытательный стенд для апробации результатов моделирования и проведения имитационных экспериментов с учетом параметров зондирующего пучка. Структура стенда включает механическую систему углового сопровождения и устройства оптической визуализации объекта.

Доказана необходимость сканирования поверхности при двух различных углах падения лазерного излучения. Изменение параметра угла падения n с 2,0 до 2,2 приводит к изменению относительной величины отраженного сигнала в центре элемента поверхности на 25 %, что соответствует уменьшению угла раскрытия трещины на 3° при угле падения зондирующего излучения на поверхность 30° . Изменение показателя индикатрисы с 2 до 4 приводит к увеличению относительной величины сигнала на 10 % при неизменном положении приемного объектива. Так, при отражении от поверхности химполированного алюминиевого сплава ширина телесного угла индикатрисы рассеивания составляет $\theta = 3^\circ$, для ЭВТИ $\theta = 25^\circ$, а для терморегулирующего покрытия на основе диоксида циркония $\theta = 125^\circ$.

Рассмотренные теоретические соотношения показывают, что в зависимости от значений параметров оптической системы (размер пятна излу-

чения на поверхности, длина волны излучения, высота расположения приемного объектива над поверхностью) изменяются возможности измерительной системы: она может распознавать вид элементов топологии поверхности или только обнаруживать их, измерять геометрические характеристики каждого элемента поверхности (ширину, глубину) при переотражении на них или получать интегральную оценку при измерении параметров рассеяния. Число переотражений в элементах поверхности n и показатель индикатрисы позволяют провести классификацию элементов поверхностной структуры с точки зрения их оптических свойств.

Создана методика теоретической и экспериментальной оценки эффективности оптико-электронных систем дистанционного наблюдения с лазерным перестраиваемым импульсно-периодическим подсветом с учетом параметров оптической системы, типа излучателя и режимов его генерации, а также реальной фоновой обстановки. Применение разработанной методики позволяет оптимизировать режимы эксплуатации оптико-электронных систем обнаружения для повышения устойчивости сопровождения в 2...3 раза при снижении требуемых энергетических затрат на функционирование оптико-электронного комплекса в 4...5 раз. Разработана методика выбора параметров оптической системы, характеристик источника излучения, в зависимости от характеристик исследуемых объектов, требуемой разрешающей способности (по обнаружению и распознаванию), удаления системы наблюдения от поверхности объектов. Созданы рекомендации по разработке и использованию высокоточных помехоустойчивых оптико-электронных систем со вспомогательным лазерным перестраиваемым импульсно-периодическим подсветом.

V. I. Mordasov, N. A. Sazonnikova, O. S. Pichkurova

Samara State Technical University, Russia, Samara

D. N. Grebnev, O. V. Shulepova

State Research-and-Production Space-Rocket Centre «TsSKB-Progress», Russia, Samara

THE DETECTING EFFICIENCY IMPROVEMENT BY LASER SURFACE SOUNDING

The laser location method possibilities with changeable wavelength, generation frequency and pulse duration were investigated. For the testing objects reflecting parameters dependencies on the wavelength, generation frequency and pulse duration were determined by laser location method. The wavelength and pulse periodic mode changing is the unique possibility of laser light at the location method.

© Мордасов В. И., Сазонникова Н. А., Гребнев Д. Н., Шулепова О. В., Пичкурова О. С., 2009

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРИОГЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ
УЗЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Рассмотрены особенности технологии криогенных испытаний узлов пневмогидравлических систем и автоматики с целью совершенствования и повышения работоспособности изделий летательных аппаратов.

В процессе изготовления узлов летательных аппаратов большое значение имеет проверка их работоспособности в реальных условиях. Испытание узлов является актуальным как с точки зрения отработки научных и технических решений, так и создания новых систем космических аппаратов, а также испытание узлов летательных аппаратов при сверхнизких температурах является неотъемлемой частью проверки их работоспособности. Имитация воздействия низких температур космического пространства на летательные аппараты производится с использованием криогенных жидкостей, таких как кислород, азот и водород. Узлы летательных аппаратов, а также различного рода клапаны, вентили и другая запорная арматура, установленная на летательных аппаратах, также подвергаются воздействию сверхнизких температур. Процесс испытаний начинается с подготовки испытательного оборудования к криогенным испытаниям, затем узел помещается в криостат, где происходит его охлаждение до заданной температуры испытания. После охлаждения в одну из полостей узла подается криогенная жидкость, а через другую проверяется герметичность закрытия и уплотнения испытываемого узла. Здесь охлаждение узла в криостате применяется для того, чтобы уменьшить влияние окружающей среды на процесс испытаний. Если испытываемый узел не помещать в криостат, то при подаче рабочей криогенной жидкости из-за теплопритока она выкипит, превратившись в газ, что нарушит условия испытаний и вследствие чего текучесть газа станет больше текучести жидкости. Кроме того, ввиду теплопритока невозможно довести температуру до заданных значений.

В ходе исследований был разработан криостат, в который помещается узел для проверки его герметичности и работоспособности при воздействии на него жидкого азота. Одна из проблем – организация условий испытаний в соответствии с требованиями конструкторской документации (КД). Согласно требованиям КД узел должен подвергаться испытанию при температуре от -180 до -196 °С, что соответствует температуре кипения жидкого азота при атмосферном давлении.

Известно, что используемый жидкий азот имеет температуру -170 °С. Дальнейшее изучение материала показало, что в данном результате нет никакой ошибки и никакого противоречия законам физики. Производителю проще заполнять сосуды жидким азотом под высоким давлением, так как это занимает меньше времени на охлаждение емкости. Дело в том, что по мере роста давления, увеличивается температура жидкого азота (см. таблицу). Так, при давлении 0,8 МПа температура кипения азота составит 103 К или -170 °С. Следовательно при заправке криостата жидким азотом его температура не будет ниже температуры жидкого азота, находящегося в емкости для транспортировки. Хотя температура -170 °С и выше температуры кипения азота при атмосферном давлении -196 °С, но при данной температуре азот еще может находиться в жидкой фазе, так как эта температура ниже температуры предельного перегрева (для азота она равна 107 К или 165 °С).

**Зависимость температуры кипения
жидкого азота от давления**

Характеристика	Давление паров азота в сосуде, МПа								
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2
Температура кипения азота, К	78	88	95	99	103	106	108	112	117

Для охлаждения жидких криопродуктов применяют термостатирование: от внешних источников холода, вакуумированием парового пространства, барботированием малорастворимым охлажденным газом, дросселированием или частотным излучателем, погруженным в жидкость. Наиболее экономичным способом охлаждения является вакуумирование парового пространства с перемешиванием жидкости для увеличения интенсивности испарения. Охлаждение жидких криопродуктов при вакуумировании парового пространства над зеркалом жидкости обусловлено ее испарением. Если принять, что жидкий криопродукт находится в термодинамическом равновесии с отводимыми парами, то можно составить уравнение, определяющее количество испарившейся жидкости [1]:

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{\Omega_n \cdot p}{RT}, \quad (1)$$

где Ω_n – объемная производительность вакуумного насоса; p, T – давление и температура паров жидкости; m – масса жидкости; τ – время; R – универсальная газовая постоянная.

Можно составить уравнение теплового баланса системы:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{q_0 F_0}{mc} - r \frac{p\Omega_n}{mcRT}, \quad (2)$$

где r – теплота испарения; c – теплоемкость жидкости.

Так как в конструкторской документации задан уровень, до которого необходимо погружать испытываемый узел, то необходимо составить уравнение для расчета положения уровня жидкости в процессе испарения:

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dm}{d\tau} - v \frac{d\rho}{d\tau} \right) \frac{dh}{dv}, \quad (3)$$

где v – объем жидкости; h – уровень жидкости; ρ – плотность жидкости.

Результаты исследования позволили создать рациональную технологию испытаний с оптимизацией режимов технологических испытаний при низких температурах.

По результатам исследования будут доработаны руководящие технические материалы, методика и технология ускоренных испытаний узлов космических аппаратов.

Библиографический список

1. Беляков, В. П. Криогенная техника и технология / В. П. Беляков и др. М. : Машиностроение, 1984.

N. V. Baturov, Yu. A. Filippov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

PERFECTION OF CRYOGENIC TEST TECHNOLOGY OF FLYING MACHINE NODES

Cryogenic test technological parameters of pneumohydraulic node systems and automatics for the purpose of perfection and increase of working capacity of aircraft products are considered.

© Батуров Н. В., Филиппов Ю. А., 2009

УДК 620.178.154.56

С. С. Безруких, Н. П. Седлов, Е. Н. Головенкин, А. А. Куцов

ОАО «Информационные спутниковые системы»
имени академика М. Ф. Решетнева», Россия, Железногорск

ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМОВАКУУМНЫХ И ТЕРМОБАЛАНСНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НЕГЕРМЕТИЧНОГО ИСПОЛНЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Отражена необходимость создания новейшего комплекса для проведения термобалансных и термовакуумных испытаний космического аппарата негерметичного исполнения.

В настоящее время поставщик космических услуг, желающий добиться коммерческого успеха, для достижения поставленных целей вынужден не только закладывать в свои изделия высокие тактико-технические характеристики, надежность работы и срок активного существования, но и подтверждать их заказчику до выведения космического аппарата на орбиту, проверяя его работу в условиях, близких к штатным условиям эксплуатации.

Одной из важнейших операций при изготовлении космического аппарата (КА) являются термо-

балансные и термовакуумные испытания, при которых осуществляются проверки в основном всех характеристик, связанных с необходимостью штатного включения бортовой аппаратуры и ее эксплуатации. Целью данной операции является проверка функционирования бортовой аппаратуры, влияние на элементы конструкции и характеристики КА в условиях температурных полей, создаваемых в режиме эксплуатации и проверки по термобалансу.

Основным инструментом для проведения термовакуумных и термобалансных испытаний явля-

ется криогенно-вакуумная установка (КВУ). КВУ представляет собой экранированное криоэкраном помещение герметичного исполнения, где, в свою очередь, проводятся термовакуумные и термобалансные испытания. При испытаниях космических аппаратов в КВУ создается имитация космического пространства – это вакуум $0,8 \cdot 10^{-2}$ Па ($6 \cdot 10^{-5}$ мм. рт. ст.) и температурные потоки от -150 °С до 110 °С. Через гермовводы и гермопереходы к объекту испытания обеспечивается подвод испытательной кабельной сети. При этом с КА необходимо провести тестовые испытания для проверки правильности собранной схемы испытаний при нормальных условиях. Эта операция содержит включение штатной бортовой аппаратуры с открытой крышкой КВУ при нормальных условиях. Отсюда возникает проблема создания сложнейшего технологического оборудования для обеспечения теплового режима КА негерметичного исполнения с использованием тепловых труб в системе терморегулирования для обеспечения необходимой интенсивности отвода избыточного тепла с радиационных поверхностей КА. Сложность и трудоемкость этих испытаний заключается в особенности системы терморегулирования негерметичного исполнения космического аппарата. Причина в том, что отвод тепла от бортовой аппаратуры КА осуществляется с помощью тепловых труб, проложенных внутри сотопанелей, работоспособность которых в условиях земного притяжения осуществляется только в горизонтальном положении и требует высокой точности выставки КА в горизонте для обеспечения работоспособности тепловых труб при проведении термобалансных и термовакуумных испытаний.

Существующая КВУ вертикального исполнения идеальна для проведения испытаний КА герметичного исполнения с активной системой терморегулирования и не требует высокоточного положения осей космического аппарата относительно горизонта, что позволяет проверять КА в полном составе (размеры КВУ превышают зону полезного груза и не влияют на размеры проектируемого КА). Размеры вертикальной криогенно-вакуумной установки ограничивают габаритные размеры космического аппарата, что не позволяет создавать энергоемкие КА негерметичного исполнения. Вертикальное положение КВУ усложняет проведение термобалансных и термовакуумных испытаний за счет разбивки КА на составные части, что увеличивает количество монтажных работ и сложность исполнения технологического оборудования. Вследствие этого возрастает временной интервал проверки КА, что и является основным недостатком вертикальной КВУ.

Возникший ряд проблем можно решить созданием горизонтальной КВУ, которая позволит испытывать КА негерметичного исполнения в полном составе. Это значительно упростит технологический цикл электрических испытаний, снизит объем монтажных работ и позволит значительно уменьшить сроки отработки космических аппаратов негерметичного исполнения, что чрезвычайно важно в нынешних рыночных условиях. Сокращение сроков создания космических аппаратов и ввода их в эксплуатацию позволит резко повысить конкурентоспособность вновь создаваемой космической техники как на внутреннем, так и международном рынках.

S. S. Bezrukih, N. P. Sedlov, E. N. Golovenkin, A. A. Kuptsov

JSC «Academician M. F. Reshetnev «Information Satellite Systems», Russia, Zheleznogorsk

**PROBLEMS OF CARRYING OUT THERMOVACUUM
AND THERMOBALANCING TESTS OF SPACE VEHICLES
OF PARTIAL-PRESSURE SYSTEM OF THERMOREGULATION
ON THE BASIS OF THERMAL PIPES**

The necessity to create the newest complex for carrying out thermobalancing and thermovacuum tests of partial-pressure satellite is presented.

© Безруких С. С., Седлов Н. П., Головенкин Е. Н., Купцов А. А., 2009

УДК 629.783.05:681.3

Е. А. Ключев, В. В. Фурманов, В. Н. Школьный

ОАО «Информационные спутниковые системы»
имени академика М. Ф. Решетнева», Россия, Железногорск

О РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОВЕДЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ИСПЫТАНИЙ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАБОРАТОРНОГО ОТРАБОТОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Описаны результаты применения созданного лабораторного отработочного комплекса при проведении автономных испытаний разрабатываемых приборов.

Блок управления бортового комплекса управления (БУ БКУ), являясь частью системы БКУ, выполняет функции управления и координации работы систем изделия, осуществляет информационное сопряжение бортовых систем, агрегатов и узлов изделия с бортовым интегрированным вычислительным комплексом. В настоящее время БУ БКУ разрабатываются для перспективных космических аппаратов, выполняемых вне гермоконтейнера и имеющих срок активного существования 10–15 лет. Принципиальное отличие нынешнего поколения приборов состоит во введении в их состав Центрального приборного модуля (ЦПМ) с программируемым микроконтроллером семейства MCS-196, что позволяет реализовать логику функционирования прибора не в аппаратном, а в программном виде. Дублированный ЦПМ предназначен для использования, в составе блоков сопряжения с бортовой аппаратурой, в качестве управляющего устройства этих блоков.

При проведении автономных испытаний прибора, успешно были задействованы аппаратно-технические средства созданного лабораторного отработочного комплекса (ЛОК), принципы построения и методика отработки на котором описаны в [1].

Принимаемые во время создания ЛОКа технические решения и разработанная программная среда отработки доказали свою высокую эффективность, что позволило в сжатые сроки провести следующие мероприятия:

- отработку схемно-технических решений, примененных при проектировании прибора;
- отработку внутреннего программного обеспечения БУ БКУ;
- отладку проектов ПЛИС;

- отработку информационного взаимодействия подсистем БУ БКУ и самого прибора с БИВК;
- проверку аппаратных алгоритмов и параметров выходных сигналов подсистем БУ БКУ;
- проверку функционирования прибора.

Оптимальным образом было организовано взаимодействие между испытателями и инженерами-разработчиками БУ БКУ. Выявляемые в процессе работы прибора замечания моделировались средствами ЛОК, что в ряде случаев исключало необходимость проводить дополнительное моделирование на аппаратуре цеха-изготовителя. В случае же возникновения проблем со штатным прибором, установленным на изделие (необходимость перепрошивки ПО, отслеживание работы процессорного ядра и т. д.), имелась возможность их решения с помощью рабочего места ЛОК, построенного на базе переносного промышленного компьютера ROBO-4000.

Дальнейшим развитием примененного подхода автономной отработки БУ БКУ является создание программного имитатора БУ БКУ. Это исключит необходимость работы с реальным прибором, вместо которого будет использоваться его математическая модель, что позволит более детально проводить отладку программного обеспечения БУ БКУ.

Библиографический список

1. Ключев, Е. А. Автономная отработка программного обеспечения блоков управления перспективных космических аппаратов / Е. А. Ключев // Решетневские чтения : материалы XII Международ. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. С. 152–153.

Е. А. Klyuev, V. V. Furmanov, V. N. Shkolny

JSC «Academician M. F. Reshetnev «Information Satellite Systems», Russia, Zheleznogorsk

ABOUT RESULTS OF CARRYING OUT STANDALONE TESTS OF CONTROL BLOCKS OF THE ONBOARD CONTROL COMPLEX USING LABORATORY WORKING OFF COMPLEX

Results of application of created laboratory working off complex are described in the period of carrying out standalone tests of the developed instruments.

© Ключев Е. А., Фурманов В. В., Школьный В. Н., 2009

УДК 621.3.08

А. В. Печаткин, М. С. Ануфрик, О. А. Зеленцова

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
имени П. А. Соловьева, Россия, Рыбинск

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ЖГУТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Усложнение современного электронного оборудования, устанавливаемого на борту воздушных летательных и космических аппаратов, приводит к необходимости увеличения количества блоков и модулей бортового электронного оборудования и, как следствие, к увеличению и усложнению жгутовых соединений, качество выполнения которых непосредственно влияет на функционирование бортового оборудования. Таким образом, повышение эффективности контроля жгутов является важной и крайне актуальной задачей.

Современная радиоэлектронная аппаратура, устанавливаемая на борту воздушных летательных и космических аппаратов, представляет собой сложный комплекс наукоемких электронных изделий, функционирование которых невозможно без взаимной связи друг с другом. Такая связь осуществляется на основе разнообразных жгутов, имеющих сложную структуру и большое количество проводных соединений, в том числе выполненных непосредственно на контактах разъемов. Неисправность (отсутствие предусмотренных соединений, наличие непредусмотренных соединений) или выход за допустимые пределы параметров кабельного изделия (сопротивления, индуктивности, емкости) может стать причиной неудовлетворительной работы бортового радиотехнического комплекса (БРТК).

В настоящее время контроль целостности кабельного изделия, в основном, осуществляется вручную, при этом значительно увеличивается трудоемкость выполняемых операций, возрастает время диагностики и повышается вероятность появления ошибок и просчетов, допускаемых контролером (оператором). Нередки случаи возвращения успешно прошедшего входной контроль жгутового изделия для устранения неисправностей, проявившихся непосредственно при испытании БРТК.

Качественный контроль жгута представляет собой крайне трудоемкий процесс, так, например, для тестирования корректности распайки проводов жгута с учетом соединений, выполненных непосредственно на контактах разъемов, и контролем замыкания на корпус разъема. Количество измерений даже без учета операций коммутирования составит

$$N = n \times m + \sum_{i=1}^n (n - i + 1) + \sum_{j=1}^m (m - j + 1),$$

где N – количество измерений; m – количество контактов входного разъема жгута; n – количество контактов выходного разъема жгута.

Так, например, для жгута, изображенного на рис. 1, количество измерений для контроля корректности на наличие предусмотренных соединений, отсутствие непредусмотренных и выход сопротивлений соединений за регламентированные рамки, $N = 137$.

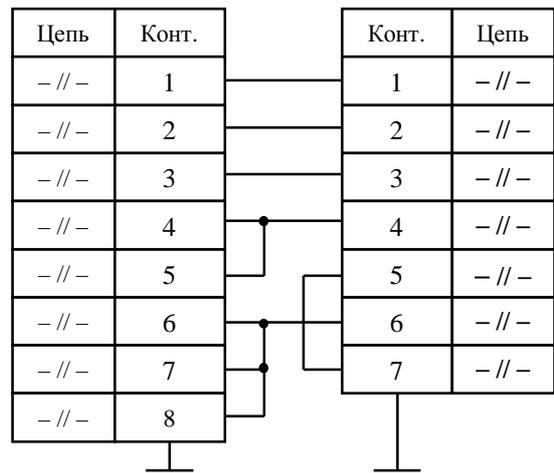


Рис. 1. Пример соединений в жгутовом изделии

С учетом необходимости выполнения операций коммутирования измерительного прибора и проведения анализа целостности изоляции каждого проводника объем выполняемых контрольных операций возрастает многократно, увеличиваясь до 5 раз и более.

Даже если время выполнения элементарной операции контроля и коммутации установить равным 1 с, то процесс контроля только одного относительно простого жгута займет около 7 мин. В реальном же процессе это время будет значительно больше.

В студенческом конструкторско-технологическом бюро кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем РГАТА, в рамках совместной работы с ОАО «Ярославский радиозавод», разработан базовый вариант устройства

контроля проводных соединений (УКПС), предназначенный для проведения целостного автоматизированного контроля качества жгутовых соединений. Обобщенная структурная схема изделия представлена на рис. 2.

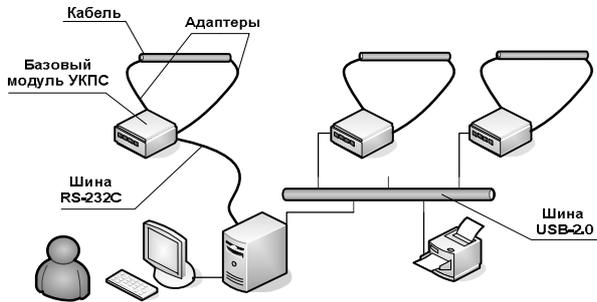


Рис. 2. Структурная схема УКПС

Коммуникационные шины RS-232C и USB-2.0, являясь адресно-ориентированными, позволяют подключать нескольких потребителей, создавая измерительный комплекс, использование которого оправдано в случае, когда один оператор обслуживает несколько рабочих мест и рационально использует временной ресурс.

Базовая версия УКПС-1.0 обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- проведение комплексного визуализированного контроля жгутового изделия при напряжениях 10 В, 50 В и 100 В;
- вывод результатов контроля с визуализированным указанием обнаруженных неисправностей;
- сканирование жгута с целью определения его характеристик и создания схемы соединений, а также для использования в качестве эталона при формировании базы данных;
- обеспечение необходимого уровня визуализации и документирования процесса контроля, в том числе формирование интуитивно-понятной индивидуальной карты контроля по каждому изделию; возможность изменения таблицы соединений в жгутах, уже существующих в базе данных; возможность оперативного создания новых вариантов жгутов; возможность проведения статистического анализа результатов контроля.

Накопление статистических данных позволяет рассчитать весь ряд обобщенных показателей и собрать необходимую информацию для организации эффективной обратной связи наиболее важных производственных фаз.

A. V. Pechatkin, M. S. Anufrik, O. A. Zelentsova

Rybinsk State Air Technological Academy P. A. Solovjeva's name, Russia, Rybinsk

TEST AUTOMATION OF CORDLIKE JUNCTIONS FOR SPACE EQUIPMENT

Complexity of modern on-board electronic equipment of space vehicles results in necessity of increase of quantity of units and modules and, as consequence, to increase and complication of cordlike junctions which production quality directly influences performance of airborne equipment. Thus, boosting of efficiency of the bundle supervision is the important and extremely actual problem.

© Печаткин А. В., Ануфрик М. С., Зеленцова О. А., 2009

УДК 533

А. В. Свистунов, А. А. Ситников

Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия, Уфа

ВИХРЕВАЯ СИСТЕМА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Рассматривается актуальная проблема разработки и проведения испытаний системы экологически безопасных климатических испытаний ракетно-космической техники.

Необходимость моделирования космических условий и проверки работоспособности агрегатов ракетно-космической техники в экстремальных условиях с использованием экологически безопасных техники и технологий является актуальной задачей современной промышленности.

Основная особенность аэрокосмической техники – способность конструкционных материалов переносить воздействие резких перепадов температур и длительное воздействие холодом. Технологии, обеспечивающие при испытаниях оборудования достижение низких температур ($-70\text{ }^{\circ}\text{C}$),

основаны на применении вредных и опасных веществ.

Переход на экологически чистые технологии получения низких температур можно реализовать на основе эффекта Ранка. Благодаря тому, что рабочим телом является воздух, а не аммиак или фреон, вихревые системы охлаждения экологически безопасны.

Низкие температуры и большие перепады давлений в короткие интервалы времени достигаются за счет безинерционности вихревых систем охлаждения, что позволяет имитировать условия, в которых находятся объекты ракетно-космической техники.

В ходе экспериментальных исследований элементов системы охлаждения на базе цилиндрических вихревых труб была спроектирована система охлаждения, отличающаяся от ранее разработанной тем, что в ее состав входит коническая вихревая труба, адаптированная аналогично цилиндрической трубе под снятие параметров газодинамических процессов: температуры, давления, направления и скорости потока, расхода газа на входе и выходе.

Для проведения поэлементных экспериментальных исследований использовался газодинамический стенд высокого давления, позволяющий проводить испытания при давлении до 4 МПа и расходе воздуха до 3 кг/с.

Для снятия и регистрации параметров использовалась автоматизированная система измерения на базе измерительных модулей ICP CON, позволяющая записывать по 8 параметров давления, температуры и перепада давлений. Максимальная скорость регистрации параметров составляет 10 измерений в секунду.

При испытаниях вихревой трубы на давлении до 3 МПа и расходе воздуха 1 кг/с (в соответствии с техническим заданием) было получено захлаждение до 60 °С. Для дальнейшего снижения температуры до -110 °С было принято решение о применении двухтрубной системы охлаждения, состоящей из двух вихревых труб, соединенных последовательно с возможностью регулирования коэффициента расхода на выходе из второй ступени системы охлаждения и использованием коэффициента положительной обратной связи по температурному контуру для исследования остаточного холода.

Важной областью в исследовании газодинамических процессов и конструировании эффективных систем является математическое моделирование, позволяющее производить численные эксперименты. Разработана математическая модель движения потока газа в вихревой трубе, решение которой проводилось в среде Flow Simulation 2009. Результаты численного моделирования подтвердили экспериментальные данные, полученные на натурном стенде.

A. V. Svistunov, A. A. Sitnikov

The Ufa State Aviation Technical University, Russia, Ufa

VORTICAL SYSTEM OF CLIMATIC TESTS OF SPACE-ROCKET EQUIPMENT

The actual problem of developing and carrying out ecologically safe climatic tests of space-rocket equipment is considered.

© Свистунов А. В., Ситников А. А., 2009

УДК 621.4

Н. М. Цирельман, Р. Р. Мустафин

Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия, Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ ГИДРОГАШЕНИИ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Дается математическая модель процессов теплообмена капель жидкости с потоком газа и алгоритм проведения соответствующих расчетов на ПЭВМ. Решается модельная задача испарения капель воды, впрыснутых в камеру сгорания ракетного двигателя твердого топлива, с учетом затенения каплями поперечного сечения потока воздуха и наличия градиента температуры по радиусу капли.

В работе моделируется процесс теплообмена переноса капель воды, впрыснутых в поток продуктов сгорания ракетного двигателя на твердом топливе (РДТТ), математическая модель которого основывается на следующих допущениях [1]:

– частицы жидкости играют роль источников или стоков теплоты, вещества и количества движения;

– все процессы рассматриваются как квазистационарные, кроме процесса теплопроводности в

капле, и используются стационарные уравнения газодинамики и движения капель;

– стенки канала адиабатны и отсутствуют потери энергии как на трение, так и при смешении пара с присоединенной массой;

– нагревание и испарение капель считается равномерным по поверхности, т. е. реактивная сила отходящей массы отсутствует.

Математическая модель процессов тепло-массообмена при гидрогашении РДТТ с учетом принятых допущений включает в себя совместное рассмотрение следующих уравнений возмущений:

$$dw = \frac{w}{M^2 - 1} \left(\frac{df}{f} - \frac{dm_n}{m} - \frac{k-1}{a^2} \sum_{i=1}^{n_s} dQ_i \right); \quad (1)$$

$$dT = \frac{T}{M^2 - 1} \left[\frac{(k-1)(kM^2 - 1)}{a^2} \sum_{i=1}^{n_s} dQ_i + X \right]; \quad (2)$$

$$dp = \frac{p}{M^2 - 1} \left[\frac{k(k-1)}{a^2} M^2 \sum_{i=1}^{n_s} dQ_i + Y \right], \quad (3)$$

где $X = (k-1)M^2 \frac{dm_n}{m} - (k-1)M^2 \frac{df}{f}$;

$$Y = kM^2 \frac{dm_n}{m} - kM^2 \frac{df}{f}.$$

Отметим, что такой подход к исследуемой проблеме описан применительно к другим задачам в методе Шапиро–Хоторна [2]. Однако в настоящей работе учтено затенение поперечного сечения потока каплями жидкости, представляющее собой геометрическое воздействие, которое возникает из-за того, что капли жидкости занимают часть поперечного сечения канала.

Численное исследование процесса гидрогашения основывается на детальном рассмотрении тепло-массообмена капель жидкости с потоком горячих газов РДТТ.

Учтены движение внешней границы капли вследствие протекания процессов конденсации и испарения и формирование температурного поля в ней. Использовался метод определения теплового состояния областей с подвижной границей, в качестве которого выступают изменяющие свой размер капли жидкости [3]. С указанной целью рассматривалась следующая краевая задача нестационарной теплопроводности:

$$c(T)\rho(T) \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial R} \left[R^2 \lambda(T) \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial R} \right]; \quad (4)$$

$$0 < R < s(\tau), \quad \tau > 0;$$

$$T(R, 0) = T_0, \quad R \in (0; s(0)); \quad (5)$$

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial R} \Big|_{R=s(\tau)} = \alpha(T - T_w) - \frac{r \partial m_n}{F_i \partial \tau}, \quad \tau > 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial R} \Big|_{R=0} = 0, \quad \tau > 0, \quad (7)$$

которая решалась по неявной схеме с привлечением метода прогонки.

При этом радиус капли разбивался на 100 равных долей и составлялся конечно-разностный аналог задачи (4)–(7). В одномерной постановке решалась задача о разгоне капель потоком газа.

Библиографический список

1. Русак, А. М. Тепло-массообмен капель жидкости с горящим твердотопливным зарядом / А. М. Русак, Н. М. Цирельман // Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей : межвуз. науч. сб. ; Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 2002. С. 184–188.
2. Эммонс, Г. В. Основы газовой динамики / Г. В. Эммонс. М. : ИИЛ, 1963.
3. Цирельман, Н. М. Прямые и обратные задачи тепло-массопереноса / Н. М. Цирельман. М. : Энергоатомиздат, 2005.

N. M. Cirelman, R. R. Mustafin

Ufa State Aviation Technical University, Russia, Ufa

MODELING HEAT-MASS EXCHANGE PROCESSES AT HYDROCLEARING OF SOLID-PROPELLANT ROCKET ENGINE

Liquid drops and gas flow heat-mass exchange processes mathematical model and applicable PC calculations operation algorithm are given. A model problem of water drops being evaporated during their injection into the SRM input is to be resolved, taking into account gasflow cross section shaded by the drops and the present drop radial temperature gradient.

© Цирельман Н. М., Мустафин Р. Р., 2009

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ
МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ**

Обсуждаются составы электролита, используемые при микродуговом оксидировании титановых сплавов, и влияние концентрации составляющих электролита на структуру и эксплуатационные характеристики (пористость, твердость, толщину) покрытий, сформированных микродуговым оксидированием на титановых сплавах.

Микродуговое оксидирование (МДО) – это сравнительно новый вид поверхностной обработки и упрочнения главным образом металлических материалов, происходящий от традиционного анодирования и относящийся к электрохимическим процессам.

МДО-покрытие формируется двухслойно в результате протекания двух параллельных процессов: микродугового синтеза, осуществляемого за счет переноса вещества через каналы пробоя (твердый слой) и электрохимического анодирования на свободной от зарядов поверхности (преимущественно рентгеноаморфный слой с относительно невысокой твердостью) [1].

Практический аспект МДО достаточно изучен для формирования оксидных покрытий на алюминиевых сплавах. Интерес к созданию защитных покрытий на других вентильных металлах, в частности титана и сплавов на его основе, возник не так давно в связи с их ограниченным применением по сравнению с алюминиевыми сплавами из-за относительно высокой себестоимости.

Тем не менее создание защитных МДО-покрытий на титановых сплавах, широко применяемых в самолетостроении (обшивка, силовой набор, детали крепления, шасси, механизация крыла, пилоны, гидроцилиндры) и ракетостроении (твердотопливные и жидкостные ракетные двигатели, обшивки, корпуса пороховых двигателей, трубчатые конструкции стыковых отсеков), позволило бы повысить ресурс работы деталей в условиях экстремальных нагрузок [2].

Влияние состава электролита на качество оксидных покрытий до сих пор активно обсуждается, о чем свидетельствует большинство публикаций [1; 3–9]. Согласно литературным данным при микродуговом оксидировании титановых сплавов, в основном, используют растворы кислот [5] (от 20 г/л до 25 % H_3PO_4), в которых получают мелкопористые и тонкие покрытия, солевые (60 г/л Na_2HPO_4), силикатно-щелочные (30 г/л KOH ; 50 г/л Na_2SiO_3), в которых формируются покрытия с меньшей пористостью, чем в кислотных [6] и комбинированные (25% H_3PO_4 + $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) [5].

Фосфатные и кальцийфосфатные электролиты [5; 6], являющиеся дорогостоящими, применяются обычно для медицинских целей. Поэтому при формировании защитных (антифрикционных, коррозионноустойчивых и т. д.) МДО-покрытий на титановых сплавах для промышленного применения целесообразно использовать электролиты другого состава, а именно силикатно-щелочные.

Ряд авторов [3; 7; 8] работают преимущественно с силикатным электролитом – раствором жидкого стекла. Данные, приведенные в работе [4], показывают, что с повышением жидкого стекла в электролите уменьшается объемная доля твердой фазы, а значит, снижается и твердость, что косвенно указывает на формирование покрытия преимущественно за счет ионной проводимости, а не микродугового синтеза [1].

В то же время, как утверждают авторы [9], которые использовали силикатно-щелочной электролит, с увеличением содержания SiO_3^{2-} (продукта диссоциации жидкого стекла при электролизе) уменьшается лишь время формовки, но даже значительное увеличение концентрации жидкого стекла в растворе мало повышает его проводимость. Повышение концентрации щелочи при фиксированном содержании силиката натрия, как и повышение обеих концентраций, приводит к уменьшению формовочного напряжения и длительности процесса, так как щелочь повышает проводимость электролита. Сокращение длительности процесса при высоком содержании жидкого стекла, связано с тем, что разряды перестают динамично перемещаться по оксидируемой поверхности и подолгу горят на одном месте, где в итоге возникают «нагары». При малой концентрации жидкого стекла этого не наблюдается. В случае большой концентрации щелочи отдельные участки покрытия оплавляются до стекловидного состояния, становятся хрупкими и теряют адгезию. В местах «нагаров» и оплавлений покрытие отслаивается [7].

На основании данных ранних исследований [1] и литературных источников для создания качественного защитного покрытия на титановых спла-

вах можно рекомендовать следующий состав электролита: 1 г/л щелочи, например, КОН и 10 г/л Na_2SiO_3 .

Библиографический список

1. Гордиенко, П. С. Микродуговое оксидирование титана и его сплавов / П. С. Гордиенко, С. В. Гнеденков. Владивосток : Дальнаука, 1997.
2. Голенкова, А. А. Совершенствование технологии формирования износостойких покрытий на алюминиевых сплавах микродуговым оксидированием : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / А. А. Голенкова. Красноярск, 2006.
3. Черненко, В. И. О свойствах покрытий, полученных на алюминии и его сплавах из щелочных электролитов в искровом разряде / В. И. Черненко, А. Г. Крапивный, Л. А. Снежко. Киев, 1980.
4. Федоров, В. А. Формирование упрочненных поверхностных слоев методом микродугового оксидирования в различных электролитах и при изменении токовых режимов / В. А. Федоров, В. В. Белозеров, Н. Д. Великосельская // Физика и химия обработки материалов. 1991. № 1. С. 87–93.

5. Ботаева, Л. Б. Разработка технологии изготовления металлокерамических изделий для медицины на основе титана с оксидными и кальцийфосфатными покрытиями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.11 / Л. Б. Ботаева. Томск, 2005.

6. Мамаев, А. И. Адгезия и пластичность покрытий, полученных микроплазменным оксидированием титана / А. И. Мамаев, Т. И. Дорофеева, В. А. Мамаева и др. // Технология металлов. 2008. № 3. С. 33–37.

7. Черненко, В. И. Электролиты для формовки керамических покрытий на алюминии в режиме искрового разряда / В. И. Черненко, Л. А. Снежко, С. Б. Чернова // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 3. С. 454–458.

8. Снежко, Л. А. Анодный процесс при формовке силикатных покрытий / Л. А. Снежко, С. Г. Павлюс, В. И. Черненко // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 2. С. 292–295.

9. Слонова, А. И. О роли состава силикатного электролита в анодно-катодных микродуговых процессах / А. И. Слонова, О. П. Терлеева, Г. А. Марков // Защита металлов. 1997. Т. 33. № 2. С. 208–212.

A. S. Andreev, A. A. Snezhko

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

THE INFLUENCE OF ELECTROLYTE COMPOSITION ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF OXIDE COATINGS FORMED ON TITANIUM ALLOYS BY MICROARC OXIDATION

The paper is dedicated to the electrolyte composition and the influence of the electrolyte concentration components on the structure and operating characteristics (porosity, hardness, thickness) coatings formed on titanium alloys by microarc oxidation.

© Андреев А. С., Снежко А. А., 2009

УДК 658.512.24

Л. А. Бабкина, И. Я. Шестаков, А. С. Квасов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

О РЕЗУЛЬТАТАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПОЛИРОВАНИИ

Рассматривается задача моделирования двумерного электростатического поля при электрохимическом полировании на основе биполярного электрода. Проводится сравнительный анализ результатов численного моделирования в программном комплексе COSMOS/M и пакете математических вычислений Maple.

Электрохимическое полирование (ЭХП) широко применяется в производстве деталей летательных аппаратов и занимает ведущее место в доводочных операциях [1].

В прикладной электрохимии широко используется биполярный электрод (БПЭ), позволяю-

щий улучшить равномерность распределения тока по электроду. Биполярный метод электрохимической обработки применяется при полировке труб, снятии заусенцев, прошивке отверстий, в технологических процессах травления, обезжиривания и др. [2].

При электрохимическом полировании проблема равномерности распределения тока по поверхности деталей является первостепенной. От характера распределения тока зависит качество поверхности, в том числе ее шероховатость [3; 4].

В качестве объекта исследования рассматривается электрическое поле, возникающее при доводке поверхности детали электрохимическим полированием на основе биполярного электрода. Задачами исследования являются создание численной двумерной модели распределения электростатического поля в межэлектродном зазоре (МЭЗ) и разработка алгоритма реализации численного решения в среде интегрированных пакетов конечно-элементных расчетов.

Численное моделирование электростатических полей в МЭЗ выполнено в среде интегрированного пакета конечно-элементных расчетов COSMOS/M (модуль ESTAR) и конечно-разностный расчет в Maple, в котором реализована предложенная в работе [5] математическая модель двумерного электростатического поля применительно к электрохимическому полированию.

Моделировалась реальная схема электрохимического полирования цилиндрической трубки, установленной симметрично относительно двух плоских электродов. После цикла обработки полярность подключения электродов меняют на противоположную, либо поворачивают деталь на 180° относительно ее оси. Особенностью схемы является то, что обрабатываемая деталь играет роль биполярного электрода, т. е. на ее поверхности одновременно протекают анодные и катодные реакции. Ток к обрабатываемой детали подводится через электролит сразу по всей ее поверхности. Такое решение токоподвода исключает структурные изменения металла и прижоги, исчезает погрешность обработки [6].

В процессе моделирования двумерного электростатического поля при электрохимическом полировании рассмотрены случаи, когда ширина плоского электрода в три и более раз больше наружного диаметра детали, сопротивление единичного поперечного сечения электролита равно или больше поляризационного сопротивления. В рассматриваемых случаях, когда ширина плоского электрода в три и более раз меньше наружного диаметра детали, возникает усиление краевых эффектов и происходит неравномерное распределение потенциалов по поверхности обрабатываемой детали.

В результате расчетов получены картины распределения электрических потенциалов в исследуемой области, плотности тока по поверхности обрабатываемой детали и силовых линий электрического тока [7].

Сравнительный анализ результатов численного моделирования в COSMOS/M и Maple показал расхождение $\approx 2\%$.

Силовые линии электрического тока распределяются наиболее равномерно по всей поверхности обрабатываемой детали, обращенной к катоду, когда ширина плоского электрода в три и более раз больше наружного диаметра детали, что ведет к равномерной обработке поверхности. При других рассматриваемых случаях равномерность обработки не достигается из-за усиления краевых эффектов.

Результаты численного моделирования подтверждают технологические возможности метода ЭХП с БПЭ по обработке полых цилиндрических деталей.

Использование численного моделирования электростатических полей в МЭЗ в условиях ЭХП позволяет существенно сократить время и затраты на разработку новых технологических процессов (ТП).

Полученные результаты будут использованы при разработке ТП финишной обработки поверхностей деталей летательных аппаратов.

Библиографический список

1. Воробей, В. В. Теоретические основы проектирования технологических процессов ракетных двигателей. Технология производства жидкостных ракетных двигателей / В. В. Воробей, В. Е. Логинов. М. : Дрофа, 2007.
2. Мороз, И. И. Биполярный метод электрохимической обработки и некоторые его технологические возможности / И. И. Мороз, В. Ф. Орлов, Б. И. Чугунов // Электронная обработка материалов. 1982. № 6. С. 19–23.
3. Экслер, Л. И. Классификация параметров шероховатости / Л. И. Экслер // Технологические методы повышения качества поверхности деталей машин : сб. ст. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. С. 140–147.
4. Вдовенко, В. Г. Эффективность электрохимической обработки деталей : монография / В. Г. Вдовенко. Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та. 1991.
5. Мурашев, Д. А. Математическое моделирование электрических полей в системах с биполярным электродом : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / Д. А. Мурашев. Саратов : Изд-во СГТУ, 2006.
6. Пат. №2229543, Россия 7С25F3/16. Способ электрохимического полирования / И. Я. Шестаков, Л. А. Бабкина ; заявл. 15.07.02 ; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 15 ; приоритет 15.07.02.
7. Бабкина, Л. А. Численное моделирование двумерных электростатических полей при электрохимическом полировании / Л. А. Бабкина, И. Я. Шестаков, А. С. Квасов // Вестник СибГАУ. Вып. 2 (23). 2009. С. 9–14.

L. A. Babkina, I. Y. Shestakov, A. S. Kvasov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

NUMERICAL MODELING OF TWO-DIMENSIONAL ELECTROSTATIC FIELDS AT ELECTROCHEMICAL POLISHING

The Modeling problem of two-dimensional electrostatic field at electrochemical polish is considered. Comparative analysis of numerical modeling results is executed in the programs COSMOS/M and Maple.

© Бабкина Л. А., Шестаков И. Я., Квасов А. С., 2009

УДК 541.182.02/.023.4

А. М. Бакин, В. П. Жереб

Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДЫ МЕЗОМОРФИЗМА В ЖИДКОСТЯХ

Проведено исследование природы упорядочения неизометрических составляющих жидкости моделированием в приближении среднего поля. Получена зависимость параметра упорядочения этих составляющих от приведенной температуры. Показано, что мезоморфные состояния в многокомпонентных жидких системах можно рассматривать как состояние с отличной от 0 упорядоченностью.

Эффекты аномального изменения физико-химических свойств в жидких бинарных и многокомпонентных системах различной природы (растворы поверхностно-активных веществ – ПАВ и полимеров, расплавы) обнаружены достаточно давно [1; 2], в последнее время их связывают с процессами упорядочения в жидкости (явление мезоморфизма). Экспериментально было показано, что эффекты упорядочения наблюдаются в достаточно простых системах.

В нашей работе исследуется влияние анизотропии элементов системы на появление состояния с некоторой степенью упорядоченности в жидкой среде.

Рассмотрим раствор ПАВ в однородном жидком растворителе. Для построения модели сделаем следующие предположения: 1 – молекулы ПАВ представляют собой твердые несжимаемые стержни с длиной L и диаметром D ; 2 – стержни обладают дипольным моментом; 3 – стержни симметричны относительно вращения вдоль оси и антисимметричны относительно поворота; 4 – расположение молекул воды описывается решеточной моделью; 5 – длина молекул много больше их толщины; 6 – концентрация молекул ПАВ существенно меньше 1, поэтому можно не учитывать непосредственные столкновения молекул ПАВ между собой.

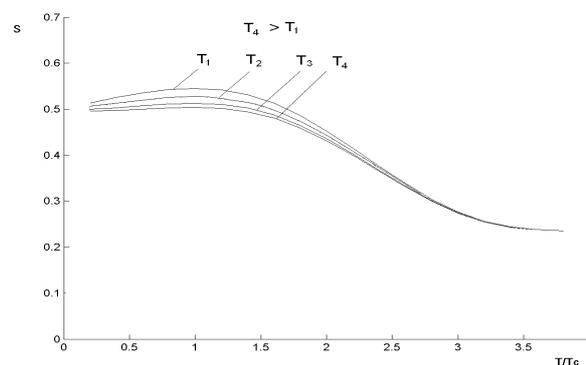
Воспользовавшись приближением среднего поля найдем параметр упорядочения, определенный следующим образом:

$$S = \langle \cos \theta \rangle = \int f(\theta) \cos \theta \cdot d\Omega,$$

где θ – телесный угол, описывающий пространственную ориентацию диполя.

Считая, что данная система стремится к состоянию с минимумом энергии и, применяя вариационный метод, мы получили самосогласованное уравнение, для решения которого был использован математический пакет MATLAB.

Температурная зависимость параметра упорядочения показывает (см. рисунок), что упорядочение имеет максимум при определенной критической температуре и никогда не обращается в ноль. То есть, состояние, которое мы определили как мезоморфное, существует всегда, но принимает значения, влияющие на результаты измерений лишь в узком значении температур.



Зависимость параметра упорядочения S от приведенной температуры T/T_C

Экспериментальная проверка модели показала, что для 0,01 мас. % раствора олеиновой кислоты в воде критическая температура T_C составляет примерно 78 °С, что отражается на теплоемкости раствора.

Более сложной является задача моделирования упорядочения в бинарной системе с переменной концентрацией анизотропных элементов, например, расплав бинарной силикатной системы.

Предположив, что 1 – в расплаве происходит полимеризация оксида кремния; 2 – количество полимеризовавшихся молекул пропорционально квадрату температуры (из общефизических соображений их количество с ростом температуры сначала увеличивается, потом убывает, что позволяет представить функцию концентрации полимеризованных молекул как тейлоровский ряд, ограничившись квадратичным членом, что дает достаточную точность приближения); 3 – полимеризовавшиеся молекулы рассматриваются в расплаве как примесь; 4 – полимеризовавшиеся молекулы не взаимодействуют между собой напрямую, и, следовательно, их энтропия аддитивна.

Исследование этой модели показало наличие локальных минимумов свободной энергии. Мы предполагаем, что именно это обуславливает экспериментально наблюдаемые эффекты кристаллизации висмутовых систем в нестабильное состояние с избыточной свободной энергией при определенном температурном режиме.

Пример двух рассмотренных систем по нашему мнению свидетельствует о том, что классический подход к жидким многокомпонентным сис-

темам недостаточно точен. Во-первых, в рамках классического подхода невозможно описать экспериментально наблюдаемые особенности поведения вязкости и теплоемкости подобных систем, во-вторых, существуют основания считать, что упорядоченные состояния могут наблюдаться не только в жидких кристаллах, но и в любых системах с ярко выраженной анизотропией. Предположение о существовании мезоморфного состояния позволяет качественно (и в некоторых случаях количественно) описать наблюдаемые особенности поведения многокомпонентных систем. То есть, помимо сильного мезоморфизма, наблюдаемого в жидких кристаллах, существуют не столь ярко выраженные, но оказывающие влияние на макроскопические параметры, упорядоченные состояния. Таким образом, уже сам факт многокомпонентности является достаточным условием для формирования мезоморфизма.

Библиографический список

1. Zhreb, V. P. Metastable States in Bismuth-Containing Oxide Systems / V. P. Zhreb, V. M. Skorikov // *Inorganic Materials*. Vol. 39, Suppl. 2, 2003. P. 121–145.

2. Жереб, В. П. Метастабильные состояния в оксидных висмутосодержащих системах / В. П. Жереб. М. : МАКС Пресс, 2003.

A. M. Bakin, V. P. Zhreb

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

MODELLING OF MESOMORPHISM NATURE IN LIQUID

There is a conducted research of the ordering nature of non-isometric components of liquid by the modeling in mean field approximation, received dependence of ordering characteristic of these components of reduced temperature. It is shown that mesomorphous states in polynomial liquid structures can be observed as the state with the non-zero ordering.

© Бакин А. М., Жереб В. П., 2009

Н. В. Батуров, Ю. А. Филиппов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ КРИОГЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ УЗЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрены особенности технологии криогенных испытаний узлов пневмогидравлических систем и автоматики с целью совершенствования и повышения работоспособности изделий летательных аппаратов.

В процессе изготовления узлов летательных аппаратов большое значение имеет проверка их работоспособности в реальных условиях. Одним из определяющих факторов испытаний узлов летательных аппаратов является имитация условий, в которых будет работать испытываемый узел, в том числе и испытание на воздействие на них криогенных температур. Так для заправки ракет в условиях стартового комплекса производится охлаждение кислорода в резервуарах до температуры 85 К с последующим его термостатированием до температуры $T \approx 70$ К, после чего производят заправку ракеты глубоко охлажденным кислородом. Узлы и детали, установленные в баке, и магистраль, по которым производится заправка ракеты в процессе изготовления, подвергаются испытаниям и проверке их работоспособности при криогенных температурах. Одним из наиболее экономичных способов достижения температуры ниже равновесной является вакуумирование парового пространства. Основное преимущество данного метода – простота технологической схемы и оборудования и их надежность [1].

Понижение температуры при откачке паров, находящихся над зеркалом жидкости, обусловлено термодинамическими свойствами двухфазной системы пар–жидкость. В этой области для каждого вещества существует однозначная зависимость $F = f(p)$, т. е. каждому значению давления паров соответствует строго определенная равновесная температура; при этом меньшим давлениям – меньшее значение температуры и наоборот. В процессе откачки паров над жидкостью в адиабатных условиях давление понижается и происходит интенсивное испарение жидкости, сопровождающееся поглощением теплоты, которая отбирается от оставшейся жидкости, что приводит к понижению ее температуры. В итоге устанавливается новое равновесное состояние $F = f(p)$ при более низких значениях давления и температуры, но при этом часть жидкости теряется в процессе испарения.

Для равновесного процесса в адиабатных условиях и при отсутствии потерь справедливо следующее уравнение теплового баланса [2]:

$$Gc_s dT = rdG, \quad (1)$$

где G – масса жидкости; c_s – удельная теплоемкость жидкости; dT – понижение температуры; dG – масса испарившейся жидкости; r – теплота испарения.

Запишем уравнение (1) в виде

$$\int_{G_0}^G \frac{dG}{G} = \int_{T_0}^T \frac{c_s}{r} dT. \quad (2)$$

После преобразования уравнения (2) получим

$$\ln(G_0/G) = \int_{T_0}^T (c_s/r) dT, \quad (3)$$

где G_0 и T_0 – начальная масса и температура жидкости; G и T – текущие значения.

Для расчета по функции (3) c_s и r находят в справочной литературе в зависимости от температуры. При приближенном расчете принимают среднее значение \bar{c}_s , а теплоту испарения аппроксимируют зависимостью

$$r/r_1 = \left(\frac{1-\tau}{1-\tau_1} \right)^{0,38}, \quad (4)$$

где $\tau = T/T_{кр}$; индекс 1 относится к состоянию при атмосферном давлении.

Подставив эти значения, в уравнение (3) и проинтегрировав его, получаем

$$\ln \frac{G_0}{G} = \frac{\bar{c}_s (1-\tau_1)^{0,38} T_{кр}^{0,38}}{0,62\tau_1} \times \left[(T_{кр} - T)^{0,62} - (T_{кр} - T_0)^{0,62} \right]. \quad (5)$$

По уравнению (3) можно построить графические зависимости для криогенных жидкостей. По этим графикам легко определить изменение температуры в зависимости от массы испарившейся жидкости $T = f(G/G_0)$.

Рассмотренные зависимости относятся к идеализированному процессу без учета потерь. Реальный процесс вакуумирования происходит при наличии ряда потерь, основные из которых связаны с неравномерностью процесса испарения, гидросопротивлением на линии вакуумирования и теплопритоками. В итоге производительность системы уменьшается, и время вакуумирования увеличивается. Влияние неравномерности менее существенно, когда жидкость кипит во всем объеме,

для этого при вакуумировании жидкого кислорода и азота применяют искусственное разрушение поверхностного слоя жидкости, что значительно уменьшает потери.

Проведенные первичные эксперименты показали, что при применении перемешивания жидкости уменьшается время выхода испытательного оборудования на заданный режим, а так же сокращается расход криоагента (жидкий азота) за счет увеличения интенсивности испарения.

N. V. Baturov, Y. A. Filippov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

FEATURES OF TECHNOLOGY OF CRYOGENIC TESTS OF NODES FLYING MACHINES

Features of technology of cryogenic tests of pneumatic-hydraulic nodes systems and automatics for the purpose of perfection and increase of working capacity of products of flying machines are considered.

© Батуров Н. В., Филиппов Ю. А., 2009

УДК 621.914

М. Л. Белявский

Украинская академия печати, Украина, Львов

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований возможности повышения производительности механической обработки в условиях аэрокосмической отрасли путем реализации технологии резания с опережающим пластическим деформированием.

В последние десятилетия в развитых странах мира наметилась тенденция ускоренного развития аэрокосмической промышленности, что предопределяет прогресс металлообрабатывающего производства. Перед ведущими машиностроительными предприятиями ставится задача создания и усовершенствования существующих технологий механической обработки с целью повышения конкурентоспособности, надежности и обеспечения высокого уровня эксплуатационных свойств ответственных деталей аэрокосмических аппаратов.

В технологии механической обработки сформировалась тенденция перехода от абразивной обработки к лезвийной.

Сегодня чистовую и получистовую обработку поверхностей проводят инструментом, оснащенным твердым сплавом и очень редко сверхтвердыми материалами, поскольку сверхтвердые материалы не находят широкого применения у отечественных производителей, а связано это с отсутствием производственного опыта и практических рекомендаций по рациональному приме-

Библиографический список

1. Краев, М. В. Введение в холодильную и криогенную технику : учеб. пособие / М. В. Краев ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2002.

2. Архаров, А. М. Криогенные системы : учебник для вузов по курсу «Криогенная техника» / А. М. Архаров, В. П. Беляков, Е. И. Микулин и др. М. : Машиностроение, 1987.

нию СТМ. Вместе с тем остаются нерешенные вопросы реализации высокопродуктивного процесса механической обработки алюминия, закаленных сталей и чугунов и других конструкционных материалов.

Повышение производительности механической обработки ответственных деталей аэрокосмических аппаратов возможно за счет усовершенствования существующей технологии механической обработки, путем реализации процесса резания с опережающим пластическим деформированием.

Принципы реализации метода холодного деформационного упрочнения материала перед обработкой резанием и некоторые его преимущества сформулированы Я. Г. Усачевым в 1915 г. Академик В. Д. Кузнецов в 1956 г. говорил что это небольшая, сжато и ясно написанная работа производит очень сильное впечатление тонкостью эксперимента, глубиной мыслей, смелостью и убедительностью выводов.

До 1950-х годов метод обработки резанием материала, подвергнутого холодному деформаци-

онному упрочнению, не привлекал внимание исследователей. Исключение составляла работа И. М. Грязнова.

В 1950–90-е гг. по этому вопросу опубликовано более 100 работ.

В период с 1970 по 2009 гг. было опубликовано более 30 патентов на изобретения, по технологии резания с опережающим пластическим деформированием из них: 78 %, 12 %, 10 % соответственно посвящены реализации технологии при точении, стругании и протягивании. Отсутствует патентная информация относительно реализации технологии при торцовом фрезеровании.

В последнее десятилетие, по направлению «резание с опережающим пластическим деформированием» было опубликовано больше 50 работ С. К. Амбросимова, Д. В. Крайнева, Ю. Н. Поляничкова, Э. К. Посвятенка.

Необходимо отметить, что вышеупомянутые ученые исследовали продуктивность технологии резания с предварительным пластическим деформированием закаленных и незакаленных сталей и чугунов, титановых сплавов, алюминия, исключительно режущими элементами, оснащенными твердым сплавом.

В частности, метод, предложенный автором, расширяет сферу применения сверхтвердых материалов при обработке цилиндрических, плоских поверхностей, а также отверстий, изготовленных из незакаленных сталей, и заключается в формировании предварительного упрочненного поверхностного слоя обработанной поверхности пластическим деформированием и последующим срезанием упрочненного слоя сверхтвердым материалом.

Необходимо отметить, что при резании с предварительным пластическим деформированием часть работы, затрачиваемой на пластическую деформацию, предварительно выполняется дополнительным механическим источником энергии. В результате, режущим инструментом выполняется лишь оставшаяся часть работы, что приводит к снижению сил резания, температуры и, как следствие, к повышению стойкости инструмента и производительности труда.

Автором были разработаны математические модели технологического обеспечения качества при механической обработке в системе Simulink программы Matlab, которые свидетельствуют о том, что предложенная технология в целом на 72 % дает возможность повысить точность обработки, на 76 % уменьшить высоту микронеровности. Также были разработаны в системах MSC Nastran, Deform, имитационные модели процесса резания с опережающим пластическим деформированием инструментом, оснащенным СТМ.

Результаты имитационного моделирования свидетельствуют о том, что разработанный технологический метод позволяет снизить значения напряжения в зоне резания, температуры в зоне резания и на поверхности инструмента, круговой силы резания, соответственно, на 59,5 %; 38,6 %; 32,4 %; 69 %, а также дает возможность снизить на 58 %, 45 %, 33 % динамические перемещения шпинделя, комбинированной торцевой фрезы и рабочего стола.

Таким образом, предложенный способ позволяет обеспечить рентабельное применение СТМ в существующих производственных условиях, он обладает высокой технологичностью, простотой и универсальностью, что делает возможным его эффективное использование в условиях современного производства.

Обеспечивая повышение качества обработанной поверхности и снижая износ инструмента, метод не требует повышенных энергетических затрат и сложного оборудования.

Вместе с тем, предложенный способ можно реализовывать не только при обработке незакаленных сталей, но и существенно повысить производительность закаленных сталей, чугуна, алюминия, титана и других распространенных конструкционных материалов.

В дальнейших исследованиях планируется усовершенствовать ответственные узлы металлообрабатывающего оборудования с целью повышения эффективности реализации предложенной высокопроизводительной технологии механической обработки ответственных деталей аэрокосмических аппаратов.

M. L. Belyavskiy

Ukraine Academy of Printing, Ukraine, Lvov

EFFICIENCY IMPROVING OF THE TOOLING OF ESSENTIAL PARTS OF AEROSPACE VEHICLES

There are the results of theoretical and empirical researches of the capacity to improve the machine process production at aerospace processing conditions by means of realization of cutting technology with plastic deformation.

© Белявский М. Л., 2009

УДК 621.9.06

С. В. Беседин, А. С. Сысоев, С. К. Сысоев

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск**ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ НАПОЛНЕННЫХ АБРАЗИВОМ
СМЕСЕЙ ПРИ ЭКСТРУЗИОННОМ ХОНИНГОВАНИИ***Изучен процесс течения вязкоупругих смесей, наполненных абразивом, при экструзионном хонинговании деталей летательных аппаратов.*

Процесс экструзионного хонингования заключается в экструзии вязкоупругих рабочих сред, наполненных абразивными зернами, под давлением 12 МПа вдоль обрабатываемой поверхности. Метод позволяет существенно расширить технологические возможности обработки труднодоступных поверхностей сложнопрофильных деталей летательных аппаратов. В качестве носителя абразивных зерен применяются различные каучуки и пасты с активными добавками. Основной рабочей средой служит каучук синтетический, термостойкий с добавками от 5 до 10 % мелкодисперсного фторопласта Ф-4. При равномерном перемешивании получают блок-полимеры, обладающие лучшими, по сравнению с исходными материалами физическими свойствами [1].

При обработке отверстий с острой кромкой изменяются условия течения абразивных смесей во времени.

Вначале абразивный поток, обтекая острую кромку, отрывается от прилегающей стенки, создавая тем самым зону А (рис. 1), в которой давление абразивных зерен на контактирующую поверхность мало. Поэтому съем металла, как показала практика обработки деталей летательных аппаратов, незначителен.

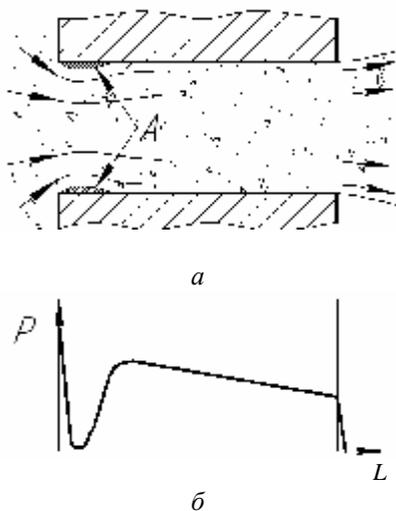


Рис. 1. Характер течения абразивной смеси при обтекании острой кромки (а) и изменении давления P по длине L потока в отверстие (б)

Сопrotивление на входе в отверстие увеличивается в степенной зависимости от скорости течения смеси [1]. Поэтому в процессе обработки абразивные зерна прижимаются к кромке отверстия с большим усилием, тем самым создаются условия для интенсивного съема металла. Условия втекания струи изменятся за счет износа кромки отверстия. По мере абразивного изнашивания кромки условия течения абразивной смеси изменяются, и потери на сужение потока уменьшаются. Это приводит к некоторой стабильности давления абразивной смеси и замедлению увеличения притупления кромки на входе в отверстие по сравнению с началом обработки (рис. 2).

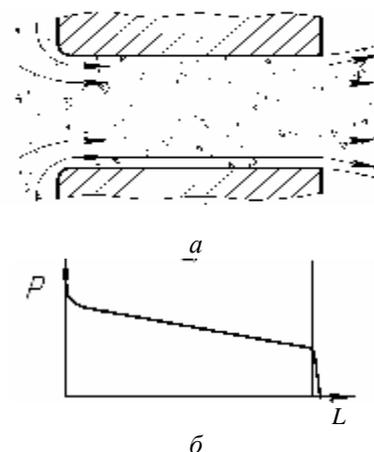


Рис. 2. Характер течения абразивной смеси при обтекании изношенной кромки (а) и изменении давления P по длине L потока в отверстие (б)

Изучение характера течения наполненных абразивом смесей в каналах деталей летательных аппаратов позволило обеспечить качество и равномерность хонингования поверхности каналов деталей летательных аппаратов.

Библиографический список

1. Сысоев, С. К., Сысоев А. С. Экструзионное хонингование деталей летательных аппаратов: теория, исследования, практика / С. К. Сысоев, А. С. Сысоев ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. Красноярск, 2005.

S. V. Besedin, A. S. Sysoev, S. K. Sysoev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

CHANGING NATURE OF THE FLOW OF ABRASIVE FILLED FLAP AND WHEELS MIXTURES WITH EXTRUSION HONING

The process of the flow of viscoelastic mixtures filled with abrasive, in extrusion honing the details of aircraft is studied.

© Беседин С. В., Сысоев А. С., Сысоев С. К., 2009

УДК 621.983.044.7.001.573

К. Н. Бобин, Н. В. Курлаев

Новосибирский государственный технический университет, Россия, Новосибирск

СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВА Д16АТ ПОСЛЕ СТАТИЧЕСКОГО И ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Проводится сравнительный анализ результатов электронной микроскопии материала кольцевых образцов, изготовленных методами статического и высокоскоростного пластического деформирования.

При изготовлении деталей летательных аппаратов и других рабочих машин традиционными технологическими процессами в материалах деталей происходят нежелательные изменения структуры (появление пор, микротрещин). Это приводит к уменьшению ресурса и надежности деталей. Одним из способов, позволяющих повысить эксплуатационные свойства, является использование технологий, которые оказывают наименьшее влияние на структуру материалов. Было предположено, что магнитно-импульсная штамповка является такой технологией.

Осуществлялось сравнение структуры материалов после статического и высокоскоростного пластического деформирования образцов кольцевой формы (рис. 1). Статическое деформирование проводилось эластичной средой, а высокоскоростное – импульсным магнитным полем (ИМП). Использовался алюминиевый сплав Д16АТ л.1,5.

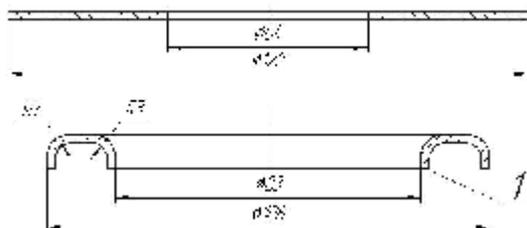


Рис. 1. Геометрические размеры заготовки и кольцевого образца

Статическое деформирование производилось на гидропрессе П-125 с номинальным усилием 100кН в контейнере с эластичной средой марки

СКУ7Л. Высокоскоростное деформирование ИМП осуществлялось с использованием плоского индуктора на магнитно-импульсной установке МИУ-10У. Микроскопия проводилась с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO-420. Микроскопии подвергались участки на кромке отбортовки (рис. 1, поз. 1) за пределами скин-слоя (0,7...1,2 мм) и основного влияния импульсных токов вдоль проката. Микрошлифы представлены на рис. 2, 3, 4.

Микрошлиф Д16АТ в исходном состоянии показан на рис. 2. Зерна крупные, имеют размеры порядка 30–60 мкм. Кроме зерен сплава есть включения, которые располагаются по границам зерен или вблизи границ зерен.

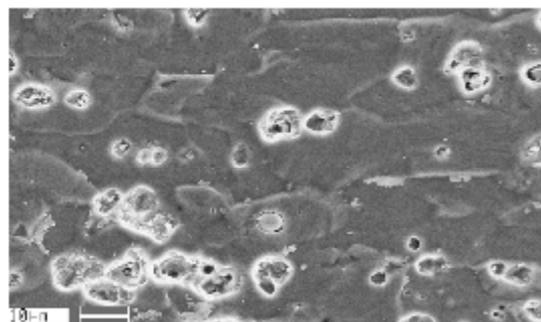


Рис. 2. Микроструктура сплава Д16АТ (исходный) $\times 2500$

Микрошлиф кромки отбортовки образца, который был изготовлен штамповкой эластичной средой, представлен на рис. 3. Видно, что на границе зерен имеются несплошности, у зерен более вытянутая форма по сравнению с материалом в

исходном состоянии. Появление несплошностей связано с большими величинами пластических деформаций, порядка 16 %. Для Д16АТ такие величины пластических деформаций при статическом формообразовании – разрушающие. По этой причине все образцы, отштампованные эластичной средой, имеют трещины, которые развивались от кромки отбортовки.

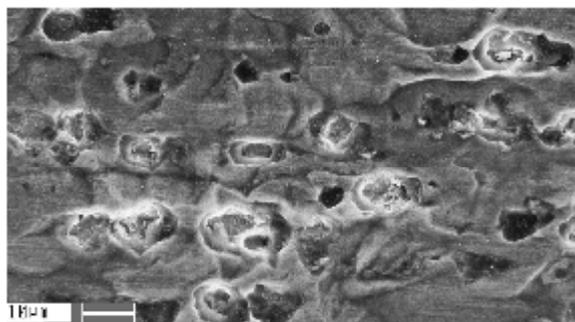


Рис. 3. Микроструктура сплава Д16АТ (штамповка эластичной средой, кромка отбортовки) $\times 2500$

Микрошлиф кромки отбортовки образца, который был изготовлен штамповкой ИМП, показан на рис. 4. Материал имеет совершенно другую структуру. На границах зерен несплошностей практически не наблюдается.

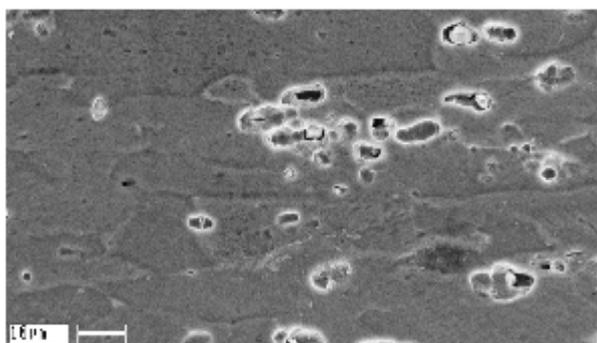


Рис. 4. Микроструктура сплава Д16АТ (штамповка ИМП, кромка отбортовки) $\times 2500$

Меньшее количество расслоений при штамповке ИМП можно объяснить некоторыми причинами. При высокоскоростном пластическом деформировании наблюдается повышение пластичности по сравнению со статическим методом из-за увеличения скорости движения дислокаций. Увеличение скорости движения дислокаций способствует выходу большого количества их на поверхность металла и границы зерен. Кроме того, при прохождении по заготовке импульсов тока большой величины, за счет рассеивания движущихся электронов на дислокациях, происходит появление дополнительной силы, действующей на дислокации и способствующей срыву скопленных дислокаций с различного рода препятствий. Эти факторы способствуют уменьшению структурных изменений в металле при высокоскоростном пластическом деформировании.

Таким образом, штамповка ИМП в сравнении со штамповкой эластичной среды оказывает меньшее влияние на структуру материала.

Библиографический список

1. Хардин, В. Б. О возможности взаимодействия дислокаций с электронным потоком в процессе действия сильных импульсных токов / В. Б. Хардин // Теория и технология обработки металлов давлением : межвуз. сб. Вып. 71. Куйбышев, 1975. С. 86–90.
2. Хардин, В. Б. Исследование изменения структуры и свойств некоторых сплавов при их пластическом деформировании импульсным магнитным полем / В. Б. Хардин, Д. Н. Лысенко // Вопросы технологии производства летательных аппаратов : сб. науч. тр. Вып. 41. Куйбышев, 1970. С. 33–36.
3. Громов, В. Е. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов / В. Е. Громов, Л. Б. Зуев, Э. В. Козлов. М. : Недра, 1997.

K. N. Bobin, N. V. Kurlayev

Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk

COMPARISON OF D16AT ALLOY MICROSTRUCTURES AFTER STATIC AND HIGH-SPEED PLASTIC DEFORMATION

The difference of microsections of the ring samples material that had static and high-speed plastic deformation is analyzed.

© Бобин К. Н., Курлаев Н. В., 2009

И. А. Бондарев, Г. Ф. Тарасов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНТАКТИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТРЕНИИ И ИЗНОСЕ**

Рассмотрены вопросы контактного взаимодействия трущихся поверхностей деталей, процессы, протекающие при пластическом деформировании контактирующих материалов в зоне их непосредственного контакта.

Поверхность любого твердого тела имеет шероховатость и макрогеометрические погрешности. Самые гладкие металлические поверхности имеют микронеровности высотой порядка 0,05...0,1 мкм. Наличие неровностей на поверхности детали приводит к тому, что под действием приложенных нагрузок и температуры окружающей среды контакт сопрягаемых поверхностей деталей происходит по определенным малым площадкам. Количество таких контактов зависит как от нагрузки, так и от шероховатости и волнистости поверхностей. На взаимодействующих поверхностях формируются пятна касания (фрикционные связи). Причем при соединении и разъединении контактирующих поверхностей деформируется лежащий под ними материал. Фрикционный контакт соприкасающихся поверхностей носит дискретный характер.

Дискретность касания тел и неоднородность твердости поверхностей вызывает взаимное внедрение, которое при тангенциальном перемещении приводит к образованию царапин. Дно царапины вытягивается в сторону направления движения, а материал из царапины вытесняется по ее краям. При рассмотрении царапины под микроскопом отчетливо видны линии сдвига, возникающие вследствие больших пластических деформаций. Поверхностный слой материала в зоне контакта под действием нормальной и тангенциальной сил значительно деформируется. Глубина деформируемого слоя зависит от вида деформации (упругой или пластической) и интенсивности теплового воздействия в зоне контакта. Многократное передеформирование материала ведет к его наклепыванию (повышению твердости). После использования всех плоскостей скольжения материал переходит в состояние перенаклепа и хрупко разрушается.

При высоких температурах в зоне контакта, превышающих температуры рекристаллизации сплава, вместо упрочнения поверхностные слои приобретают повышенную пластичность. В результате многократно повторяющихся циклов пластического деформирования и высокой температуры структура и свойства материала в зоне контакта изменяются и существенно отличаются от структуры и свойств материала в исходном состоянии. Следовательно, управляя структурными и фазовыми переходами, диффузионными про-

цессами, процессами перераспределения дислокаций, а также учитывая взаимодействие исходной и образующейся структур, необходимо стремиться обеспечить оптимальную для данных условий трения структуру в зоне контакта.

Под воздействием сил трения и сжимающих напряжений в зоне контакта могут существенно изменяться не только структура, но и механические свойства материалов в зоне трения. В поверхностных слоях контактирующих деталей формируется неравномерное объемно-напряженное состояние, при котором даже хрупкие материалы могут проявлять высокую пластичность. Существенное влияние на структуру поверхности трения оказывает химическое воздействие окружающей среды. При высокой температуре в зоне трения (например, в тормозах) продукты насыщения образуют химические соединения (пленки) постепенно охватывающие всю поверхность трения, переводя ее в твердое хрупкое состояние. После этого происходит интенсивное разрушение образовавшейся пленки, обнажаются новые слои материала и цикл повторяется. Существует несколько механизмов образования частиц износ: микрорезание, глубинное вырывание, многократное деформирование.

Микрорезание происходит при контактировании материалов выступами соответствующей конфигурации или при наличии на поверхности трения твердой частицы (абразива или наклепанной частицы износа материала) при внедрении их на глубину порядка 0,2...0,3 радиуса выступа. Установлено, что если из 1000 контактов в одном наблюдается микрорезание, то оно становится ведущим видом изнашивания.

Глубинное вырывание происходит при схватывании контактирующих материалов, возникающего при нарушении порога внешнего трения за счет отрицательного градиента механических свойств по глубине или за счет слишком большого относительного внедрения выступов, соприкасающихся поверхностей или твердых частиц. Схватывание обычно происходит только в отдельные моменты трения. Глубинное вырывание почти всегда сопровождается другими видами изнашивания. Глубинное вырывание характерно для узлов сухого трения, работающих при больших давлениях и малых скоростях скольжения. Этот вид изнашивания ведет к быстрому выходу

из строя пар трения. При создании узлов трения глубинное вырывание стараются исключить.

Пятна касания при износе не равномерны, а имеют хаотическое расположение. При деформировании материала образуется выступ (оттесненный материал). Повторные воздействия приводят к возникновению концентраторов напряжений, которые постепенно переходят в микротрещины, а затем и в макротрещины. Концентраторы напряжений могут быть и результатом тепловой и механической обработки материалов, а также возникать под воздействием тепла, выделяющегося при трении. Появляющиеся царапины могут усиливаться и металлургическими дефектами (усадочные поры, газовые пузырьки, включения шлака и т. д.). Многократные повторения циклов передоформирования материала приводит к разрушению поверхности материала, т. е. фрикционной ее усталости.

Кроме изложенных видов взаимодействия поверхностей трения может быть упругое оттесне-

ние материала в зоне контакта и схватывание пленок, образующихся на поверхности трения в результате взаимодействия с окружающей средой. При упругом оттеснении образование частицы износа происходит при очень большом числе контактов (примерно $10^6 \dots 10^{10}$ контактов). Схватывание пленок на поверхности трения происходит под действием сил трения. Образующиеся окисные пленки на поверхности трения обладают значительной хрупкостью и поэтому легко разрушаются. После удаления окисной пленки поверхность трения металла обнажается и на ней вновь образуются окисные пленки и так процессы образования и удаления окисных пленок повторяются.

Таким образом, при контактном взаимодействии твердых тел реализуются различные механизмы изнашивания их поверхностей. Доминирующий вид разрушения поверхности трения определяется условиями, при которых реализуется тот или иной вид нарушения фрикционных связей.

I. A. Bondarev, G. F. Tarasov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetev, Russia, Krasnoyarsk

INTERACTION OF CONTACTING MATERIALS AT THE FRICTION AND DETERIORATION

The article is considered with questions of contact interaction of rubbing surfaces of details, the processes proceeding at plastic deformation of contacting materials in a zone of their direct contact.

© Бондарев И. А., Тарасов Г. Ф., 2009

УДК 621.317.2

М. В. Бондаренко

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королева, Россия, Самара

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖЕК МЕТОДОМ КОНДЕНСАЦИИ

Разработан прибор для измерения чистоты поверхности подложек методом конденсации. Прибор создан на базе микроконтроллера PIC (типа PIC16F877A) производителя Microchip, элементов Пельтье (типа ТВ-127-1,4-1,5); датчика относительной влажности и температуры SHT75 производителя Sensirion. Точность измерения датчика SHT75: по температуре $\pm 0,3$ °C; влажности $\pm 1,8$ % RH при заданном давлении, что позволяет с достаточной точностью определить точку росы.

Рассмотрим принцип работы прибора.

1. Контроллер с помощью датчика температуры и влажности вычисляет точку росы в градусах Цельсия по формуле [1]

$$T_p = \frac{b\gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)},$$

$$\gamma(T, RH) = \frac{aT}{b + T} + \ln RH,$$

где $a = 17,27$; $b = 237,7$ °C, \ln – натуральный логарифм; T – температура, °C; RH – относительная влажность в долях ($0 < RH < 1,0$); T_p – точка росы.

2. Затем контроллер включает элементы Пельтье, которые охлаждают поверхность подложки до температуры выпадения росы.

3. В итоге на подложке мы получаем фигуры запотевания, по которым можно судить о чистоте поверхности подложки (точность $2 \cdot 10^{-8}$ г/см²).

Влага конденсируется на всех загрязненных участках в виде мельчайших капель, и эти участки становятся видимыми, благодаря их временной матовости; на идеально чистых участках конденсация создает сплошную пленку, которая либо невидима глазом, либо обнаруживает быстро исчезающие интерференционные цвета. Полученные фигуры запотевания сканируются световым лучом, при этом отраженный световой поток преобразуется матрицей ПЗС в цифровой сигнал, обрабатывается программным способом, результат выдается на СОГ ЖК-индикатор 128×32 ТИС105.

Ранее, для определения чистоты методом конденсации, подложку помещали в чистый сухой стакан (или колбу) и опускали в сосуд Дьюара с жидким азотом и охлаждали 2–5 мин. Поверхность подложки покрывалась слоем инея, который через несколько минут начинал таять [2]. Существенный недостаток этого метода – невоз-

можность проведения неразрушающегося испытания стеклянных подложек. Высокие затраты этого метода не позволяют применять его в массовом и серийном производстве.

С помощью предлагаемого нами прибора можно быстро и точно определить чистоту поверхности различного вида подложек без их физического разрушения и с возможностью их дальнейшего применения в производстве. К достоинствам данного метода также можно отнести простоту сборки прибора и относительную дешевизну деталей и элементов.

Библиографический список

1. Бурцев, С. И. Влажный воздух состав и свойства / С. И. Бурцев, Ю. Н. Цветков. СПб., 1998.
2. Адам, П. К. Физика и химия поверхностей / П. К. Адам. М.: Гостехиздат, 1945

M. V. Bondarenko

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov, Russia, Samara

DESIGN OF THE INSTRUMENT FOR DETERMINING THE PURITY SUBSTRATE SURFACE BY CONDENSATION METHOD

A device for measuring the cleanliness of the substrate surface by condensation is engineered. The device is created on the basis of: affordable PIC microcontroller manufacturer Microchip, Peltier elements, the relative humidity sensor and temperature SHT75 manufacturer Sensorion. Accuracy Sensor SHT75: temperature $\pm 0,3$ °C; humidity of $\pm 1,8$ % RH at a given pressure that allows determining with great accuracy the dew point.

© Бондаренко М. В., 2009

УДК621.791.75

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, А. Т. Лелеков

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

СЛЕЖЕНИЕ ЗА СТЫКОМ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Рассмотрена возможность определения отклонения электрода от стыка по напряженности магнитного поля сварочного тока, протекающего по заваренному участку.

Среди технических задач, решаемых с целью повышения качества и надежности сварных конструкций, важное место занимают вопросы обеспечения точного позиционирования сварочного инструмента по стыку деталей.

В известных устройствах [1] датчики стыка, жестко связанные с рабочим инструментом (электродом), содержат блок ввода магнитного поля в свариваемые детали. Изменение взаимного положения датчика и стыка приводит к изменению электромагнитной ситуации в цепи датчик – свариваемые детали – стык. Это изменение является сигналом для коррекции положения датчика, а, следовательно, и электрода. Очевидный недоста-

ток таких устройств – определение рассогласования положений датчика и стыка, а не электрода и стыка.

В статье рассматривается возможность определения отклонения электрода от стыка по величине и направлению напряженности магнитного поля, наводимого сварочным током [2].

Сварочный ток $I_{св}$ (рис. 1) с помощью токо-съемов разделяют на две составляющие I_1 и I_2 . Если электрод расположен точно над стыком, то напряженности магнитных полей (в том числе, их вертикальные составляющие $H_{1в}$ и $H_{2в}$), вызванные токами I_1 и I_2 , равны по величине и направлены противоположно. Результирующее магнит-

ное поле в этом случае определяется током электрода $I_{св}$, а вектор напряженности этого поля $H_{св}$ расположен в горизонтальной плоскости.

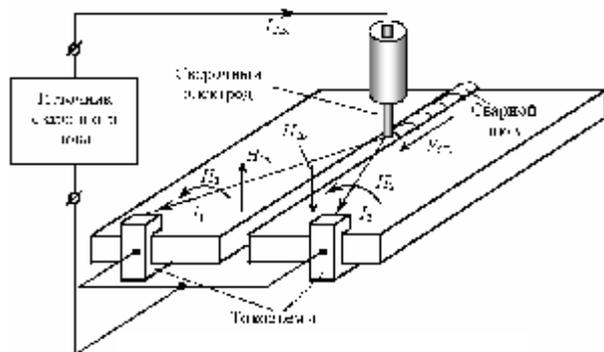


Рис. 1. Электромагнитная ситуация при отсутствии отклонения электрода от стыка

При отклонении электрода от стыка (рис. 2) на пути составляющей I_1 сварочного тока $I_{св}$ оказывается заваренный участок и напряженность магнитного поля, вызванного током I_1 изменится на величину ΔH_1 , обусловленную прохождением тока I_1 по этому участку. Результирующее магнитное поле будет определяться вертикальной составляющей напряженности ΔH_1 и горизонтальной составляющей $H_{св}$.

При отклонении электрода в противоположную сторону результирующее поле определяется вертикальной составляющей, направленной противоположно ΔH_1 и горизонтальной составляющей $H_{св}$. Таким образом, вертикальная составляющая магнитного поля сварочного тока несет информацию о положении электрода относительно стыка.

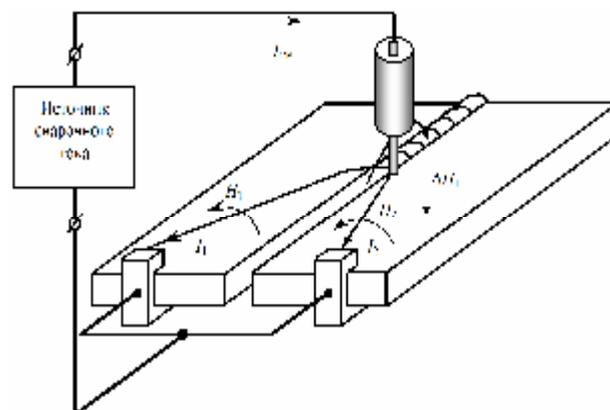


Рис. 2. Схема возникновения вертикальной составляющей магнитного поля напряженностью ΔH_1 над заваренным участком от тока I_1 при отклонении электрода от стыка

В качестве датчика магнитного поля может использоваться дифференциальный феррозонд [3].

Применение рассматриваемого способа позволяет повысить точность направления электрода по стыку за счет исключения погрешности, связанной с опережающим положением датчика относительно сварочного электрода.

Библиографический список

1. А. с. 478698 СССР, МКИ³ В 23 К 9/10. Комбинированный датчик / В. Д. Лаптенко, В. А. Сорокин ; опубл. 30.07.76, Бюл. № 28.
2. А. с. 941057 СССР, МКИ³ В23К 9/10. Способ измерения величины отклонения электрода от стыка / В. Д. Лаптенко, В. С. Белозерцев, В. Я. Браверманн ; опубл. 07.07.82, Бюл. № 25.
3. Афанасьев, Ю. В. Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. Л. : Энергия, 1969.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertcev, A. T. Lelekov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

TRACK INTERFACE IN ARC WELDING

We explored the ability of determining electrode deviations from the welding seam in magnetic field voltage of the welding current flowing through the welded area.

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Лелеков А. Т., 2009

А. Ш. Герюков, В. В. Богданов, С. В. Назаров

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕСКОНТАКТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Приведены результаты экспериментального исследования по бесконтактно-акустическому контролю изделий. Предложен прогрессивный способ возбуждения ультразвуковых колебаний в материалах. Описаны конструктивные особенности электромагнитно-акустического преобразователя для радиационно-акустического контроля.

Одним из наиболее распространенных в промышленности методов контроля является дефектоскопия с помощью акустических волн. Необходимость создания акустического контакта в подавляющем большинстве ультразвуковых (УЗ) приборов делает практически невозможным проведение неразрушающего контроля (НК) в условиях вакуума или контролируемой среды, при значительных уровнях радиации и высоких температурах, что характерно, в первую очередь, для лучевых технологий.

Все это обуславливает и стимулирует интенсивное развитие исследований новых бесконтактных способов акустического контроля, основанных на использовании опто-акустического и радиационно-акустического (РА) методов генерации УЗ-колебаний в материалах.

Повышение достоверности неразрушающего контроля непосредственно связано с решением проблемы стабилизации акустического контакта. Это, в свою очередь, определило развитие бесконтактных методов ультразвукового контроля. В частности, использование для возбуждения УЗ-колебаний импульсных малогабаритных ускорителей электронов обеспечивает формирование коротких акустических сигналов наносекундной длительности с крутыми фронтами, что чрезвычайно важно для повышения точности измерений. Кроме того, радиационный метод генерации УЗ-колебаний обеспечивает дистанционное возбуждение стабильных акустических импульсов с параметрами, слабо зависящими от качества обработки поверхности контролируемых изделий, что объясняется ярко выраженным подповерхностным характером формирования ультразвука [1; 2].

Регистрация генерируемых акустических сигналов осуществляется электромагнитно-акустическим преобразователем (ЭМАП). Пучок электронов направлялся на бездефектную поверхность образца, ось пучка совмещается с осью дефекта, поскольку в противном случае характеристики генерируемого акустического излучения будут зависеть от вида и размера дефекта.

Идентифицируя сигналы по времени пробега акустической волны в образце, можно выделить

два типа УЗ-волн – продольные и сдвиговые. Серия первых акустических сигналов теряется в шумах. Однако второй эхо-сквозной импульс и сигнал от дефекта четко видны, третий переотраженный импульс также дает стабильный сигнал, характеризующий дефект.

Предложен способ контроля с использованием ЭМАП, позволяющий существенно снизить влияние зазора между преобразователем и изделием на качество контроля.

Этот способ реализуется следующим образом. Предварительно ЭМАП размещают на соседних участках образца с дефектом предельно допустимых размеров. При этом зазор h между поверхностями образца и ЭМАП устанавливают минимальным. Регистрируют эхо-сигналы каждого из преобразователей и определяют их разность V_{g0} . Детекторы размещают с минимальным зазором h на поверхности образца без дефектов. Принимают эхо-сигналы преобразователей и определяют их разность V_0 . Затем ЭМАП размещают на поверхности контролируемого изделия с дефектом, регистрируют эхо-сигналы V_1 и V_2 соответствующих ЭМАП и квалифицируют выявленный дефект по величине ΔV :

$$\Delta V = \left(1 - \frac{V_{g0}}{V_0} \right) V_1 - V_2. \quad (1)$$

При $\Delta V > 0$ дефект признается допустимым, а при $\Delta V \leq 0$ – недопустимым. При этом изменение зазора h , например, за счет загрязнения поверхности контролируемого изделия, мало влияет на величину ΔV .

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что возможна разработка метода бесконтактного акустического контроля и аппаратных средств его реализации на основе генерации УЗ-колебаний в металлах импульсными пучками электронов наносекундной длительности.

Библиографический список

1. Ермолов, И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И. Н. Ермолов. М. : Машиностроение, 1984.
2. Лямшев, Л. М. Радиационная акустика / Л. М. Лямшев. М. : Наука : Физматлит, 1996.

A. Sh.Gerukov, V. V. Bogdanov, S. V. Nazarov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

RESEARCHES OF HYBRID TECHNOLOGY OF THE CONTACTLESS ACOUSTIC CONTROL

In the work we bring the results of an experimental research under the noncontact acoustic control of products. The progressive way of excitation of ultrasonic fluctuations in materials is offered. Design features of the electromagnetic acoustic converter for the radio-acoustic control are described.

© Герюков А. Ш., Богданов В. В., Назаров С. В., 2009

УДК 621.924.079

Л. В. Зверинцева, А. В. Сысоев, С. К. Сысоев

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ В ТРУБОПРОВОДАХ

Намечены пути решения проблемы уменьшения шероховатости внутренних поверхностей до Ra 0,32...0,16 в длинномерных трубах.

Эксплуатационные свойства деталей машин находятся в прямой связи со свойствами поверхностного слоя. Износ деталей в значительной степени зависит от высоты и формы неровностей поверхности и определяется, главным образом, верхней частью профиля шероховатости. На износостойкость поверхности влияют сопротивляемость поверхностного слоя разрушению. Наличие риска, глубоких и острых царапин создает очаги концентрации внутренних напряжений, также приводящих к разрушению деталей. С увеличением глубины впадин микронеровностей повышается разрушающее действие коррозии, направленное вглубь металла.

Завод ОАО «Красмаш» уже продолжительное время занимается разработкой и изготовлением печей по выращиванию кристаллов кремния. По требованию заказчика полученный кремний должен иметь как можно меньше примесей, которые попадают в результате технологического процесса по трубопроводам в реактор. Одним из путей совершенствования процесса является уменьшение шероховатости внутреннего диаметра до зеркальной поверхности.

Другая проблема – требование уменьшения шероховатости внутренней поверхности трубопроводов до Ra 0,32...0,16 при перемещении нефти из скважины наверх.

При транспортировке нефти необходимо уменьшить гидросопротивление, связанное с шероховатостью внутренней поверхности круглых труб. Потери напора при движении нефти по тру-

бам пропорциональны их длине и зависят от диаметра труб, расхода нефти (скорости течения), характера и степени шероховатости стенок труб, типа и материала труб, области гидравлического режима их работы.

Кроме того, в трубах после термической обработки образуется окалина, которую необходимо удалить. При этом исходная шероховатость возрастает (см. таблицу).

Исходные данные трубопроводов

Шероховатость в состоянии поставки, мкм	Rz 20...Ra 2,5
Требуемая шероховатость, мкм	Ra 0,32...0,16
Длина, м	от 1 до 3; 6...12
Диаметр наружный, мм	20, 38, 57, 89, 113
Толщина стенки, мм	От 1,5; 3; 4 и др.
Давление (P_p)	16 МПа
Материал труб	12X18H10T, 10X18H10T, 09Г2С, 10Г2 и др.

Для решения проблемы на первоначальном этапе было принято решение получить нужную шероховатость на трубе длиной до 1 м. Проведен патентный поиск. Были рассмотрены приспособления для очистки труб, инструмент – проволока из пружинной стали с неподвижно закрепленными режущими элементами для обработки отверстий, станок для шлифования поверхности длинномерных труб, устройства для шлифования и

очистки, специальный шлифовальный станок для обработки внутренней поверхности цилиндрических деталей.

Патентно-технические исследования позволяют сделать следующие выводы:

– получение шероховатости Ra 0,32...0,16 из данного материала весьма проблематично и яв-

ляется актуальной проблемой на сегодняшний день;

– при дальнейших исследованиях необходимо применять возвратно-поступательное и вращательное движение инструмента или детали;

– для отделки целесообразно использовать эластичные инструменты.

L. V. Zverintseva, A. V. Sysoyev, S. K. Sysoyev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

THE WAYS OF THE PROBLEM SOLUTION OF THE ROUGHNESS REDUCTION IN PIPELINES

The ways of the problem solution of the roughness reduction of internal surfaces up to Ra 0,32...0,16 in lengthy pipes are planned.

© Зверинцева Л. В., Сысоев А. В., Сысоев С. К., 2009

УДК 621

С. В. Зыбанов, В. Г. Смелов, Н. Д. Проничев, О. С. Сурков

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королева, Россия, Самара

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СКВОЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматривается методика повышения производительности и качества работ по подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ, отработке этих программ, выбора инструмента и режимов обработки, которые позволяют повысить конкурентоспособность малого предприятия.

Эффективное использование современного многофункционального оборудования в инновационном производстве базируется на комплексном использовании инновационных технологий. В работе рассматривается методика подготовки производства, позволяющая существенно сократить затраты на освоение новых изделий.

В условиях инструментального, единичного и мелкосерийного производства актуально использование программных продуктов специализированного типа, позволяющих наиболее оперативно производить технологическую подготовку производства. Тем самым достигается горизонтальное сжатие производства, которое обеспечивает конкурентоспособность предприятия в современных условиях. Отработана методика создания управляющей программы (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), которая позволяет запустить все этапы деталей в производство (см. рисунок).

По полученному чертежу создается 3D-модель в САД-системе (если заказчик не предоставил готовую модель). Взаимодействие программных продуктов различных компаний обеспечивается путем использования единых международных стандартов хранения 3-мерных моделей деталей с богатым набором настроек процесса обмена (форматы DXF/DWG, ACIS SAT, Parasolid, VDA-FS, STEP AP203 и 214), возможен также прямой доступ к информации распространенных САД-систем.

После создания модели детали разрабатываются управляющие программы для станка с ЧПУ TRAUB TNA-300, в САМ-системе GibbsCAM v9.3.3 создается новый проект, в котором выбирается тип станка, указываются параметры и материал заготовки, точки смены инструментов станка и т. д. (см. рисунок, поз. 3).

Перед созданием операций необходимо определить инструмент, который будет использоваться для обработки. С помощью специального меню

выбирается необходимый токарный, сверлильный и фрезерный инструменты (см. рисунок, поз. 4).

При выборе используются базы стандартизированных в ISO режущих пластин и державок, которые можно легко заказать по каталогам различных производителей инструмента. Так же при выборе есть возможность изменения угла установки пластин и смещения магазина инструмента. После выбора инструмента создаются операционные переходы.

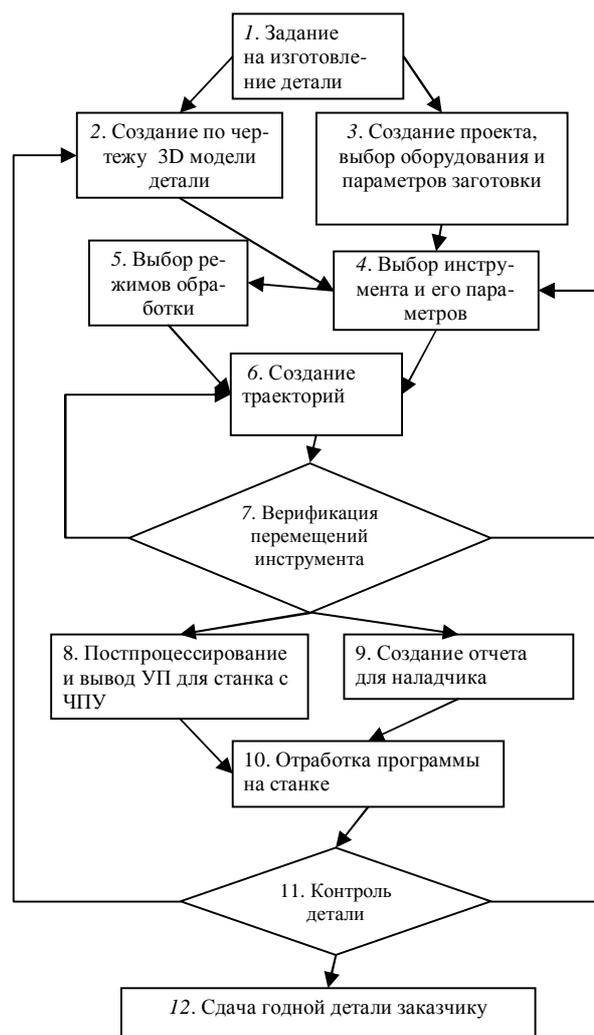
Для описания траекторий используется «профилировщик», который выделяет в нужной плоскости профили, образующие деталь. По этим профилям задается траектория движения инструмента с указанием начального и конечного элементов, а так же начальной и конечной точек обработки (см. рисунок, поз. 6)

Задается припуск, который необходимо оставить для чистового прохода, режимы резания, зона безопасных ходов инструмента и другие параметры (см. рисунок, поз. 5).

Производится верификация перемещений инструмента на модели станка для контроля столкновений инструмента с приспособлениями станка и заготовкой, до отработки программы на станке, что позволяет избежать дорогостоящих ошибок (см. рисунок, поз. 7).

Для формирования УП используется функция постпроцессирования. Выбирается постпроцессор, соответствующий системе УЧПУ станка, задается имя файла программы, после чего выполняется запись УП в автоматическом режиме (см. рисунок, поз. 8).

По завершению разработки управляющей программы производится вывод отчета о заготовке, инструментах, используемых при обработке и переходах в формате файла MS-Excel (см. рисунок, поз. 9).



Алгоритм запуска детали в производство

Использование данной методики позволяет сократить время подготовки УП для станка и как следствие время наладки и отработки программы для выпуска годных деталей с двух недель до одного дня.

S. V. Zybanov, V. G. Smelov, N. D. Pronichev, O. S. Surkov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev, Russia, Samara

EFFICIENCY UPGRADING OF WORK PREPARATION ON THE BASIS OF THROUGH USE OF THE INFORMATION TECHNOLOGY

The article is concerned with the technique of productivity increase and quality of works on control programs creation for machine tools with NPM, program development, selection of the tool and operation mode which allows increasing competitive ability of a small enterprise.

© Зыбанов С. В., Смелов В. Г., Проничев Н. Д., Сурков О. С., 2009

УДК 621.7:658.511.4

А. В. Иванов, Л. С. Мачалин, А. В. Чумакова, Н. А. Амельченко

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ***Изложены основные особенности применения САРР «Т-Flex Технология» при разработке технологической и сопроводительной документации для изготовления изделий машиностроения.*

Работа инженера-технолога заключается в умелом обращении с различного рода справочной литературой, ГОСТами, ОСТами, ТУ, умении чертить и читать чертежи. Время, когда все эти манипуляции производились вручную, уходит. Вместо циркуля и карандашей приходят САД-системы, системы разработки технологической документации (САРР) заменяют рутинную работу по заполнению форм технологических процессов и поисков в справочниках.

Перед внедрением системы САРР необходимо решить ряд вопросов:

- постановка целей и задач;
- ознакомление с рынком программных продуктов (ПП);
- начальный выбор соответствующих ПП;
- анализ возможностей имеющихся аппаратных средств, необходимых для реализации всех возможностей выбранных ПП;
- временная опытная эксплуатация ПП;
- принятие решения о приобретении и внедрении выбранного ПП на предприятии;
- решение организационных вопросов;
- финансирование работ.

Большое внимание стоит уделить полноте освоения возможностей приобретаемого ПП исполнителями. Для этого необходимо обучение пользователей и администраторов с привлечением сил со стороны фирмы-разработчика. Без этих действий использовать приобретенный программный продукт на 100 % вряд ли удастся.

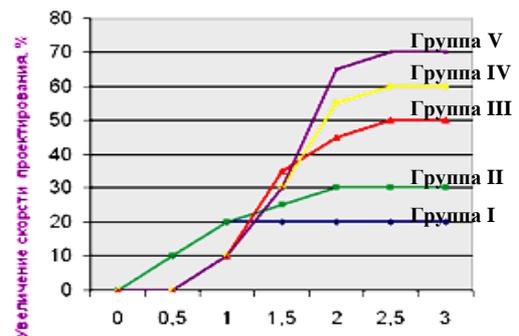
В связи с особенностями российской машиностроительной отрасли, есть смысл выбирать ПП местных компаний-разработчиков. Такие продукты полностью на русском языке и, как правило, уже включают в себя обширные базы по станкам, режущему и мерительному инструменту, текстам операций и переходов, соответствующих ГОСТам.

Внедрение САРР системы можно рассмотреть на примере одного предприятия. Были поставлены следующие задачи: повышение производительности труда технолога, повышение качества работы, сокращение сроков технологической подготовки производства, накопление и применение базы знаний предприятия по технологическому обеспечению. В настоящее время проходит активная опытная эксплуатация продукта «Т-Flex

Технология» версии 11 от разработчика Топ Системы. Конструкторский отдел компании также пользуется продуктом Топ Системы (Т-Flex CAD) – появляется возможность организации единого информационно-справочного пространства для технологов, конструкторов и служб управления производством.

«Т-Flex Технология» версии 11 позволяет автоматизировать проектирование технологических процессов как деталей, так и сборок при помощи библиотеки технологических решений, предоставляет ассоциативную связь чертежей и параметров технологических элементов, позволяет «на лету» осуществлять расчеты режимов резания, норм времени и нормирования материалов, обладает продуманным и логичным интерфейсом.

Применение различных методик работы в программе для технологической подготовки производства «Т-Flex Технология» позволяет сократить время проектирования техпроцессов за счет увеличения скорости проектирования при одновременном улучшении качества (см. рисунок).



Эффект от использования ПП «Т-Flex Технология»

Эти методики можно разделить с этой точки зрения на группы:

- диалоговое проектирование с использованием баз технологических данных позволяет начать работу практически сразу после установки системы и увеличить скорость проектирования технологического процесса в пределах квалификации технолога (см. рисунок, группа D);
- проектирование на основе техпроцесса-аналога позволяет увеличить скорость проектирования технологического процесса по сравнению с

диалоговым за счет базы наработанных технологических процессов (см. рисунок, группа II);

– заимствование технологических решений из ранее разработанных технологий позволяет увеличить скорость проектирования технологического процесса по сравнению с диалоговым за счет базы наработанных технологических процессов (см. рисунок, группа II);

– проектирование с использованием библиотеки технологических решений (см. рисунок, группа III);

– проектирование групповых и типовых технологических процессов (см. рисунок, группа IV);

– из общего технологического процесса (см. рисунок, группа V);

– автоматическое проектирование с использованием библиотеки технологических решений (см. рисунок, группа V).

«T-Flex Технология» создана как средство, существенно ускоряющее и упрощающее проектирование технологических процессов и оформление технологической документации.

A. V. Ivanov, L. S. Machalin, A. V. Chumakova, N. A. Amelchenko

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

PROCESS DESIGN AUTOMATION OF AST PRODUCTS

There are the basic features of SDPD «T-Flex Technology» in the development of technology and accompanying documentation for the manufacture of engineering products in the work.

© Иванов А. В., Мачалин Л. С., Чумакова А. В., Амельченко Н. А., 2009

УДК 621.9.011

С. И. Ключников, Е. А. Барахтенко

Иркутский государственный технический университет, Россия, Иркутск

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Приводятся базовые функциональные зависимости для прогнозирования значений остаточных деформаций. Рассмотрено применение автоматизированной системы расчета поводок для решения задачи прогнозирования и снижения остаточных деформаций после фрезерования одномерных тонкостенных деталей. Представлен алгоритм формирования решения в данной системе.

В современном машиностроении существует проблема коробления крупногабаритных тонкостенных деталей после механообработки. Применением рациональных условий резания можно оказать влияние на величину остаточных деформаций. Остаточные деформации изделия вызваны остаточными напряжениями (ОН), образующимися на протяжении всего технологического процесса. Проведение экспериментальных исследований на натурных образцах для каждой новой формы детали или новых условий обработки требует значительных финансовых и трудовых затрат. Компьютерное моделирование позволяет сократить данные виды затрат на разработку технологического процесса.

Предлагается использовать автоматизированную систему для прогнозирования возможных поводок после механообработки с целью назначения режимов резания оптимальных, с точки зрения формирования остаточных деформаций [1]. В данной автоматизированной системе расчет

поводок проводится на основе дискретного подхода. Деталь разбивается на отдельные единичные элементы с определенной топологией. Процесс механообработки рассматривается на каждом отдельном элементе. В результате расчета единичного элемента получаем значение его остаточной деформации (ОД). Затем, применяя алгоритм объединения элементов, переходим от ОД элементов к ОД всей детали.

Математический аппарат, заложенный в автоматизированную систему, рассчитывает ОД детали по функциональной зависимости:

$$F_{\text{рез}} = f(P, F, G),$$

где P – совокупность параметров обработки (скорость резания, припуск и др.); F – совокупность физико-механических свойств заготовки (температура плавления материала заготовки, плотность материала заготовки; теплопроводность материала заготовки и др.); G – совокупность геометрических параметров инструмента (нормальный главный передний угол, угол наклона и др.).

Для учета при расчете ОД таких факторов, как последовательность обработки участков детали, траектория обработки элемента, разгрузка поверхности детали от остаточных напряжений, вводятся коэффициенты K [2]. Определение коэффициентов основано на использовании баз данных экспериментальных значений деформаций обработанных участков деталей.

В результате получаем математическую зависимость, определяющую результирующую деформацию изделия после механообработки, которая рассчитывается по формуле

$$F_{\text{рез}} = f(P, F, G) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где K_1 – коэффициент взаимовлияния; K_2 – коэффициент разгрузки; K_3 – коэффициент, учитывающий вид траектории.

Интерфейс автоматизированной системы расчета поводок приведен на рисунке.



Интерфейс автоматизированной системы расчета поводок

Последовательность действий пользователя в автоматизированной системе расчета поводок можно условно разделить на три этапа. На первом

этапе происходит ввод исходных данных, который включает выбор типа заготовки, ее размеров, физико-механических свойств материала, выбор типов единичных элементов, на которые должна быть разбита деталь, условия обработки для каждого единичного элемента. При этом, если значение какого-либо параметра выходит за область допустимых значений, соответствующее поле подкрашивается красным цветом. На втором этапе пользователь определяет условия проведения расчета, его точность, т. е. осуществляет настройку математического аппарата. На последнем этапе происходит просмотр результатов расчета поводок обработанной детали. Блок визуализации интерпретирует результаты расчета и отображает их на экране монитора в виде цветовых полей, графиков, диаграмм, таблиц.

Сравнение результатов расчета, проведенных в рассматриваемой автоматизированной системе, с данными, полученными при экспериментальных исследованиях, позволило сделать вывод о пригодности данной автоматизированной системы для решения задачи прогнозирования остаточных деформаций крупногабаритных тонкостенных деталей после фрезерования.

Библиографический список

1. Ключников, С. И. Структура системы автоматизированного управления поводками детали после механической обработки / С. И. Ключников, Е. А. Барахтенко // Вестник ИрГТУ. Иркутск, 2006. № 4. С. 16–18.
2. Журавлев, Д. А. Функция взаимовлияния для расчета остаточной деформации изгиба мало жестких деталей при механообработке / Д. А. Журавлев, С. И. Ключников // Вестник ИрГТУ. Иркутск, 1998. № 3. С. 86–91.

S. I. Kluchnikov, E. A. Barakhtenko

Irkutsk State Technical University, Russia, Irkutsk

FORECASTING OF RESIDUAL DEFORMATIONS AFTER MILLING LONG-LENGTH THIN-WALLED DETAILS

Basic functional relationships are presented in the article. They are used to forecast the values of residual deformations. The computer-aided warpage automation system is considered as application of the forecasting problems and reducing residual deformations after milling long-length thin-walled panels. The algorithm of the decision generation in the system is presented.

© Ключников С. И., Барахтенко Е. А., 2009

УДК 669.713.7

В. В. Краев

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

О ВЛИЯНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Рассмотрены условия совершенствования стабильности параметров современных жидкостных ракетных двигателей в условиях серийного производства.

Совершенство параметров насосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) определяют уровень тактико-технических характеристик современных летательных аппаратов. Характеристики насосов взаимосвязаны с параметрами системы, в которой они работают. Учитывая, что истинное значение параметров насосов при испытании определяется с точностью, которая связана с методическими основами, заложенными в технологию изготовления, следует отметить, что даже без учета погрешностей системы измерений мы всегда имеем детали, геометрия которых приближена к действительным значениям с той или иной степенью достоверности. Добавив погрешности систем измерений, мы должны четко представлять, что за изделие получили, какие параметры оно выдает и будут ли эти параметры обеспечивать заданные технические характеристики насосных агрегатов.

В условиях отработки конструкции, запуска в производство, серийного и опытного изготовления, подобные вопросы возникают часто и на них требуется четкий, исчерпывающий ответ, обоснованный всесторонней количественной оценкой прямых и косвенных результатов каких-либо мероприятий и изменений. Так, отклонение параметров двигателя в процессе работы является, как

правило, следствием «разброса» параметров его агрегатов, например, насосного. Анализ изменения пределов отклонений основных гидравлических параметров насосов ЖРД показал, что в период запуска в производство имеют место необоснованно завышение величины припусков и размеров, что ухудшает весовые параметры.

Практика показала, что при серийном производстве всего класса высокооборотных насосов величина отклонения гидравлических параметров существенно сокращается и стабилизируется по сравнению с периодом начала производства.

Таким образом, с целью повышения как стабильности параметров, так и достижений их высоких значений необходимо еще на стадии проектирования, а затем при запуске в серийное производство знать удельный вклад в разброс гидравлических параметров насосов от каждого влияющего фактора конструкции, принятой технологии изготовления, сборки и испытаний. Это обеспечивает четкую постановку задачи по комплексному решению главной цели – производство насосных агрегатов с достаточно высокими параметрами и степенью совершенствования его гидравлических характеристик в период всего цикла запуска и серийного выпуска, а также при передаче его на другие предприятия отрасли.

V. V. Krayev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

ABOUT INFLUENCE OF A TECHNOLOGICAL HEREDITY AT MANUFACTURING DETAILS OF THE COMPLEX FORM

In the article conditions of stability perfection of modern liquid parameters of rocket engines are considered.

© Краев В. В., 2009

УДК 669.713.7

В. В. Краев

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

О СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Описано использование метода оценки стабильности энергетических параметров на расчетном режиме, а также влияние полей допусков при производстве насосных агрегатов.

Известно, что каждый насосный агрегат (НА) проходит стадию доводки, предшествующей запуску его в производство. На этапе изготовления уточняется правильность принятых конструктивных решений. Итоги этой работы позволяют судить о приемлемости принятых технологических решений, с последующим уточнением и возможной оптимизацией принятых конструктивных параметров, обеспечивающих исходное техническое задание. Конструктивные отклонения параметров следует различать на проектные отклонения и отклонения, назначенные в виде полей допусков на номинальные значения конструктивных параметров, полученных в процессе доводки НА.

Проведенный анализ по влиянию конструктивных отклонений на стабильность характеристик насосов летательных аппаратов показал, что получение заданных параметров на модельных режимах не полностью решает задачу, так как в процессе основных испытаний и особенно форсированных режимах работы появляется необходимость дополнительного уточнения принятых конструктивных решений. Особенно остро такой вопрос стоит при оценке стабильности характеристик гидравлических систем и ее деталей, компонентов в составе НА. Они возникают при доводке систем уплотнений и работоспособности опор ротора, создании в составе НА различных уст-

ройств, обеспечивающих работоспособность систем летательных аппаратов и т. п. Методы оценки стабильности энергетических параметров на расчетном режиме, необходимые для схемных исследований и установления режимов технологических испытаний требуют подробного математического моделирования работы насосов или назначаются в процессе трудоемких доводочных работ целого ряда вариантов насосов с пошаговым изменением найденных влияющих факторов, что обуславливает большую трудоемкость и затраты времени на освоение и запуск в производство более совершенных изделий.

К технологическим отклонениям при производстве насосов относятся отклонения в конструктивных размерах, определяемые неточностями их изготовления, технологической наследственностью применяемой механической обработки, сборки и настройки насоса, появляющимися в производстве при разработанных технологических процессах. Количественное влияние технологических отклонений на стабильность параметров без знания условий производства сложно оценить однозначно. Исходя из требуемой стабильности характеристик НА, особое значение приобретает возможность назначения полей допусков на основные конструктивные параметры с учетом технологических факторов.

V. V. Krayev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

ABOUT STABILIZATION OF MANUFACTURING TECHNIQUES OF PUMP UNITS DETAILS

The article is concerned with using of an estimation method of stability of power parameters on a settlement mode, and also influence water admissions by manufacture of pump units.

© Краев В. В., 2009

УДК 669.715

Г. Г. Крушенко

Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, Красноярск

МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫМИ ГРАНУЛАМИ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ ПРИ ЛИТЬЕ СЛИТКОВ

Описаны результаты применения алюминиевых гранул в качестве модификаторов алюминиевых деформируемых сплавов при литье слитков.

Алюминиевые деформируемые сплавы широко применяются при производстве летательных аппаратов [1] вследствие того, что изготовляемые из них различные компоненты аэрокосмической техники обладают целым комплексом положительных свойств по сравнению с другими сплавами.

С целью измельчения структуры слитков, отливаемых полунепрерывным способом из алюминиевых деформируемых сплавов, и, как результат, повышения уровня механических свойств, получаемой из них прессованной продукции, на стадии приготовления сплавов в них вводят модификаторы – вещества, выполняющие функции дополнительных центров кристаллизации.

В настоящее время в качестве модификаторов применяют, например, титан, который вводят в миксер либо в виде титановой губки, либо в виде чушковой лигатуры алюминий-титан, что требует длительного времени для их растворения.

Альтернативным способом модифицирования является введение в струю металла при заливке в кристаллизатор прутковых лигатур, содержащих титан, бор и другие элементы-модификаторы.

Несмотря на получаемый положительный эффект от модифицирования обоими способами, все-таки в расплавы вводятся чужеродные примеси.

Применяются и другие виды модификаторов, например, в виде флюсов – смеси различных солей и других компонентов. Однако они взаимодействуют с футеровкой, что приводит к ее разрушению.

Нами разработан способ, исключаяющий отрицательные эффекты приведенных выше способов модифицирования. Этот способ заключается в применении для измельчения структуры алюминиевого сплава модифицирующей добавки одинакового с ним состава.

Работа поставлена при литье полунепрерывным способом слитков \varnothing 120 мм из алюминиевого деформируемого сплава Д1 (3,8...4,8 % Cu; 0,4...0,8 % Mg; 0,4...0,8 % Mn; сумма примесей \leq 0,1 %; остальное – Al). Сплав Д1 относится к системе Al-Cu-Mg-Mn. Он упрочняется термической обработкой. Сплав хорошо обрабатывается в холодном и горячем состояниях. Температурный интервал горячей деформации 310...470 °С. Прессованные профили имеют пониженную кор-

розионную стойкость. Сплав хорошо сваривается точечной сваркой. Профили из сплава Д1 могут проставляться в закаленном и естественно составленном, а также отожженном состояниях.

Алюминиевые деформируемые сплавы выпускаются для получения заготовок в производстве изделий авиационной и космической техники, а также автомобилестроении, судостроении, строительном комплексе и других отраслях промышленности. В частности, они применяются в силовых конструкциях летательных аппаратов, а также как обшивка самолетов.

В качестве модифицирующей добавки применяли гранулы из этого же сплава размером 1,5...3,0 мм, получаемые центробежным способом [2], которые вводили в расплав либо в «чистом» виде, либо в виде отпрессованных из них прутков.

Метод гранулирования, обеспечивающий высокие скорости охлаждения при кристаллизации ($10^3...10^5$ °С/с), позволяет резко диспергировать все структурные составляющие (эвтектические и первичные интерметаллиды, а также непосредственно твердый раствор); образовывать аномально пересыщенные твердые растворы ряда переходных металлов в алюминии. Измельченные интерметаллиды (в частности, в сплаве Д1 – CuAl₂) и служат дополнительными центрами кристаллизации. В результате измельчения структуры повышаются эксплуатационные характеристики изделий [3].

Результаты испытаний механических свойств образцов, вырезанных из слитков, показали (см. таблицу), что в случае применения гранул в качестве модифицирующих добавок при их введении как в исходном состоянии, так и в виде прутка, обеспечивают получение более высоких прочностных характеристик. Более высокий прирост свойств при введении в расплав гранул в виде прутков можно объяснить не только повышенным дополнительным модифицирующим, но также и упрочняющим эффектом, связанным с раздроблением при прессовании на мелкодисперсные частицы оксидной пленки Al₂O₃ на гранулах.

Библиографический список

1. Heinz, A. Recent development in aluminium alloys for aerospace applications Materials Science and

Engineering / A. Heinz, A. Haszler, C. Keidel at al. Vol. 280. Issue 1. 15 March, 2000. P. 102–107.

2. Добаткин, В. И. Гранулированные алюминиевые сплавы / В. И. Добаткин, В. И. Елагин. М.: Металлургия, 1981.

3. Magnusen, P. E. Analysis and prediction of microstructural effects on long-term fatigue performance of an aluminum aerospace alloy / P. E. Magnusen, R. J. Bucci, A. J. Hinkle at al. // International Journal of Fatigue. Vol. 19. Issue 93. June. 1997. P. 275–283.

Механические свойства прутков \varnothing 16 мм, отпрессованных из слитка \varnothing 120 мм, отлитого полунепрерывным способом из сплава Д1, в зависимости от состояния вводимых в него гранул из сплава Д1

Технология литья слитков заводская	Временное сопротивление, σ_b	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$	Относительное удлинение, δ	Плотность, γ
	величина (МПа)/прирост (%)	величина (МПа)/прирост (%)	величина (%) / прирост (%)	величина (кг/м ³) / прирост (%)
Заводская	420	280	13,7	2,804/–
Введение гранул в «чистом» виде	450/7,1	320/14,3	13,0/–	2,798/–
Введение прутка, отпрессованного из гранул	465/10,1	335/19,6	13,8/–	2,805/–

G. G. Krushenko

Institute Computational Modeling Russian Academy of Science,
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

THE REFINEMENT OF ALUMINUM WROUGHT ALLOYS BY ALUMINUM GRANULES DURING THE INGOTS CASTING

The results of using aluminum granules as the modifiers of aluminum wrought alloys during semi-continuous ingots casting are shown in the work.

© Крушенко Г. Г., 2009

УДК 669.056.9

А. А. Кульков, Л. В. Ручкин

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УСТРОЙСТВА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Рассматриваются несколько подходов к обнаружению объекта в видеопотоке. Проведен сравнительный анализ методов обнаружения и выбор оптимального оборудования.

Актуальность темы исследования заключается в том, что предложенные в работе методы исследования объектов при помощи интеллектуальной системы дистанционного управления позволяют решить вопрос о наблюдении за объектом в условиях малой освещенности, а также повысить эффективность выполняемых работ по операциям: слежения за процессом, принятия самостоятельных решений системы и движения за объектом наблюдения. Осуществление поставленных задач реализуется путем автономного автоматического выполнения команд, переданных системе управления посредством анализа полученных видеоданных.

В разрабатываемом проекте дистанционного управления были рассмотрены и сравнены методы обработки последовательности кадров потока видеoinформации, позволяющие отслеживать перемещение подвижных объектов в реальном времени на полутоновых и цветных изображениях.

Расчет местоположения на цветных изображениях осуществляется путем задания диапазона сравнения и перебора всех пикселей изображения. Данный метод дает хорошее качество процесса слежения, но при слежении за объектом, имеющим отражательную поверхность, объект может быть потерян.

Расчет местоположения объекта на полутоновых изображениях происходит по двум принципам. Первый принцип основан на расчете центра масс объекта и перебора всех пикселей кадра. Недостатком является то, что часть получаемой от видеокамеры информации теряется из-за перебора пикселей полученного изображения. Второй принцип – это поиск явно выраженных элементов объекта или его признаков, осуществляемый путем расчета корреляции шаблона и некоторой локальной области, в которой предположительно

находится данный признак. Особенность данного алгоритма заключается в том, что операция вычисления осуществляется по некоторой заданной области поиска, что в свою очередь ведет к ускорению расчета.

При сопоставлении полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы: для поставленной задачи слежения за объектом в условиях малой освещенности оптимальным является вариант применения цифровых черно-белых видеокамер.

A. A. Kulkov, L. V. Ruchkin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

COMPARISON OF DETECTION METHODS OF OBJECT MOTION BY WORKING OUT OF THE REMOTE CONTROL DEVICE OF TECHNOLOGICAL PROCESS

Some approaches to object detection in a video stream are considered. The comparative analysis of detection methods and selection of the optimum equipment is carried out.

© Кульков А. А., Ручкин Л. В., 2009

УДК. 621.924.079

V. A. Levko, I. A. Larkina, S. Yu. Shashkov

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ АБРАЗИВНО-ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ*

Приведено описание потока рабочей среды как абразивного инструмента. Рассмотренные свойства определяют вид контакта абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Основным отличием абразивно-экструзионной обработки (АЭО) от других видов струйной абразивной обработки является то, что в качестве носителя абразивных зерен применяется полимерная основа, способная к вязкоупругому деформированию. Поток вязкоупругой рабочей среды в процессе АЭО при многократном сдвиговом течении принимает форму обрабатываемого канала, что позволяет осуществлять финишную обработку внутренних поверхностей различных сложно-профильных деталей авиационно-космической техники [1]. Параметры течения наряду с геометрическими характеристиками обрабатываемого канала и свойствами материала определяют вид контактных взаимодействий микронеровностей поверхностного слоя обрабатываемого канала и

абразивных зерен, перемещаемых в канале потоком вязкоупругой среды [2]. Механизм возникновения упругих деформаций в потоке РС при АЭО рассмотрен в работе [3].

Вращение среды как абразивного инструмента в обрабатываемом канале отсутствуют. В контакте находятся разные по физико-механическим свойствам тела, причем рабочая среда представляет собой композицию из самых твердых абразивных (алмазных) зерен и вязкоупругой полимерной основы. Контакт происходит при сдвиговом течении рабочей среды в достаточно узком диапазоне скоростей (0,001...0,1 м/с), а напряженно-деформированное состояние вязкоупругой основы определяет степень подвижности зерен в контакте.

*Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные, научно-педагогические кадры инновационной России».

Экспериментально наблюдалось пристеночное вращение абразивных зерен совместно с некоторым объемом среды. При этом частота вращения зависит от скорости сдвигового течения и размеров вращающегося объема рабочей среды. В то же время вращение обеспечивает периодическую смену микронеровностей зерна, находящихся в контакте, что обуславливает эффект постоянного самозатачивания среды как абразивного инструмента.

При течении вязкоупругой основы 1 абразивные зерна 2, контактируя с выступами 3 и впадинами 4 микронеровностей поверхностного слоя, копируют его микрорельеф (рис. 1). Силы F_c и F_t , обусловленные напряженно-деформированным состоянием полимерной основы 1 над впадиной 4 микронеровности, выдавливают зерно из основы во впадину на определенную величину, зависящую от размера зерна 2, высоты выступов 3, шага впадины 4 и величины сближения (внедрения) зерна в зоне контакта 5 с боковой поверхностью выступа (рис. 2).

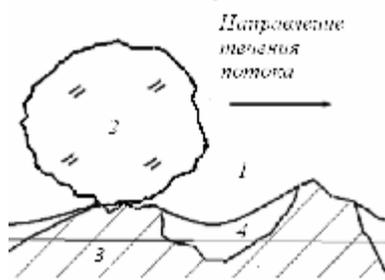


Рис. 1. Общая схема контакта абразивного зерна с микронеровностями поверхностного слоя

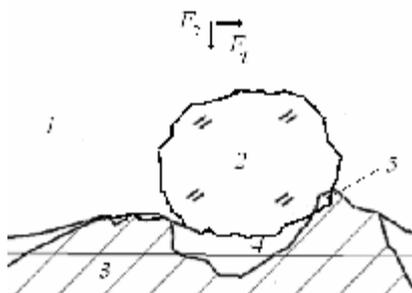


Рис. 2. Схема контакта абразивного зерна с впадиной микронеровности

При начале контакта зерна с боковой поверхностью микронеровности со стороны вершины возникает реакция на воздействие. При этом часть микронеровностей зерна внедряется в материал поверхности на величину h , а само зерно начинает выдавливаться обратно в основу, совершая колебательные движения относительно линии контакта среды и детали. Величина h зависит

от физико-механических свойств контактирующих тел и напряженно-деформированного состояния рабочей среды.

Частота и амплитуда колебаний абразивного зерна определяются его величиной и параметрами шероховатости обрабатываемой детали. Исходя из этого, можно принять, что шероховатость поверхностного слоя контактирующих тел по высотным параметрам подобна.

Для дальнейшего рассмотрения используется сферическая модель микронеровностей, как для зерен рабочей среды, так и для обрабатываемой детали. При АЭО реализуется такой внутренний контакт, при котором обрабатываемая деталь и инструмент имеют одинаковый номинальный размер. Микронеровности поверхности моделируются сферическими сегментами с радиусом r_d , микронеровности абразивных зерен инструмента – сферами радиусом r_n , выступающая часть которых имеет случайную высоту.

Еще одной особенностью АЭО является то, что между обрабатываемой поверхностью и инструментом отсутствует зазор. Среда полностью заполняет обрабатываемый канал, и номинальная и контурная площади касания совпадают. Продукты обработки (пленки, окислы, стружка основного материала) удаляются из зоны обработки потоком среды, постепенно накапливаясь в ней. В связи с этим, для случая АЭО коэффициент объема для размещения стружки $k_v = 1$.

При взаимодействии микронеровностей обрабатываемой детали и инструмента при АЭО контакт между ними может быть упругим, пластическим и упруго-пластическим. Для каждого вида контакта существуют свои зависимости производительности обработки и шероховатости обработанной поверхности.

Библиографический список

1. Сысоев, С. К. Обеспечение точности расхода компонентов топлива через каналы деталей, обработанных экструзионным хонингованием / С. К. Сысоев, А. С. Сысоев, В. А. Левко, и др. // Технология машиностроения. 2007. № 6. С. 48–52.
2. Левко, В. А. Влияние состава рабочей среды на технологические режимы абразивно-экструзионной обработки сложнопрофильных деталей / В. А. Левко, Е. Б. Пшенко // Вестник СибГАУ. Вып. 11. 2006. С. 64–68.
3. Левко, В. А. Особенности реологии рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке / В. А. Левко // Вестник СибГАУ. Вып. 7. 2005. С. 96–100.

V. A. Levko, I. A. Larkina, S. U. Shashkov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

PARTICULARITIES OF THE TOOL MOVING IN ABRASIVE EXTRUSION-TYPE MACHINING PROCESS

Description of the flow of the ambience as abrasive tool is given. The considered characteristics define the type of the contact of the abrasive tool with processed by surface.

© Левко В. А., Ларкина И. А., Шашков С. Ю., 2009

УДК. 621.924.079

В. А. Левко, Е. О. Нуждова, Д. О. Харин

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВ, ФОРМИРУЮЩИХ ХАРАКТЕР ПОТОКА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ПРИ АБРАЗИВНО-ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Дана классификация устройств, создающих требуемые режимы потока рабочей среды. Применение таких устройств расширяет технологические возможности абразивно-экструзионной обработки.

Для выравнивания условий обработки предназначены устройства, которые формируют характер потока среды при абразивно-экструзионной обработке (АЭО). Конструкции этих устройств отличаются большим разнообразием и определяются способом закрепления, количеством обрабатываемых деталей, а также функциональным назначением.

По функциональному назначению можно выделить приспособления: для создания поверхности, образующей с наружной (открытой) поверхностью детали канал для потока рабочей среды; придания направленного движения среды на выступы внутренних поверхностей; передачи вибрации от привода к обрабатываемой детали; обеспечения плавного перехода от сечения рабочей камеры к сечению обрабатываемой детали; закрепления детали при обработке; выравнивания переменного сечения канала.

Закреплять приспособления с деталями в установках предлагается при помощи траверс гидропресса, прижимной пружины [1], чашеобразными частями приспособления [2] или упругими планками [3]. Приспособление может крепиться к корпусу в спиральных канавках с возможностью периодического поворота и выполняться в виде распределителя с радиальными оппозитно смещенными по оси гнездами, соединенными с горизонтальным каналом [4]. Держатель детали может иметь параллельно расположенные каналы рабочего и холостого перемещения среды, причем рабочий канал имеет базовую прорезь для установки приспособления с обрабатываемой деталью [5].

Дозагрузку среды проводят через патрубок автоматически [2] или из специального цилиндра 1 (рис. 1) по подводному трубопроводу 2 [6]. Такое исполнение может быть экономически оправдано для крупносерийного и массового производства.

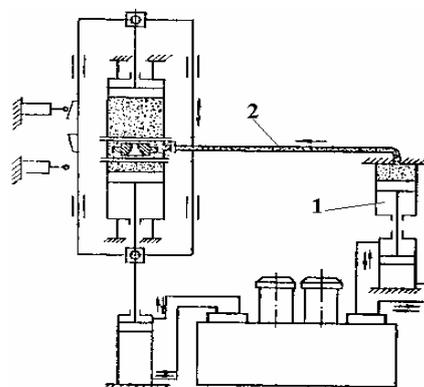


Рис. 1. Схема подвода дополнительной абразивной массы при обработке

Установки могут быть снабжены поворотным устройством 1, позволяющим осуществлять обработку нескольких деталей на одной паре цилиндров 2 [7]. При таком решении одна деталь 3 находится в зоне обработки, а вторая деталь 4 находится вне зоны и доступна для вспомогательных операций (рис. 2).

Как правило, приспособления разрабатываются для каждого типоразмера деталей. Применение специальных приспособлений позволяет создать такое направление потока рабочей среды, которое обеспечивает необходимые условия контакта аб-

разивных зерен со всей обрабатываемой поверхностью, что позволяет расширить технологические возможности АЭО и увеличить номенклатуру обрабатываемых деталей.

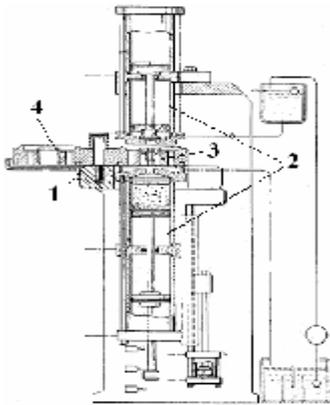


Рис. 2. Установка с поворотным устройством

Рекомендации по выбору устройств приведены в работе [8].

Библиографический список

1. Pat. 3634973 US Apparatus for abrading by extrusion and abrading medium / McCarty R. W. ; 27.08.69 ; 18.01.72. Vol. 894. № 3.

2. Pat. 3728821 US, ISC B24B 7/00. Machine for finishing surfaces / Perry K. E., Kenneth E. 13.09.71 ; 24.04.73.

3. А. с. 1582504 СССР, МКИ В24В 31/116, 1/04. Устройство для обработки деталей абразивной массой / В. П. Фомин, А. А. Кузьмин, В. В. Соловьев, В. Н. Педаш. [Б. н.] ; заявл. 26.04.88.

4. А. с. 1061976 СССР, МКИ В24С 3/08. Устройство для обработки деталей абразивной массой, подаваемой под давлением / В. И. Пушков, Н. А. Черепнин. [Б. н.] ; заявл. 31.12.82 ; опубл. 23.12.83, Бюл. № 47.

5. А. с. 902400 СССР, МКИ В24В 31/00. Устройство для обработки деталей абразивной массой / Н. А. Стебельков, А. И. Попенко, В. М. Мигунов, С. Д. Зиличихис, П. В. Ширкевич. [Б. н.] ; заявл. 15.09.80.

6. А. с. 1514578 СССР, МКИ В24В 31/116. Устройство для абразивной обработки / Б. И. Йоктон, А. М. Малюк. [Б. н.] ; заявл. 18.01.88 ; опубл. 15.10.89, Бюл. № 38.

7. Pat. 3823514 US, В24В 31/116. Hydraulic grinding method / Tsuchiya T. 03.11.72 ; 16.07.74.

8. Левко, В. А. Абразивно-экструзионная обработка: современный уровень и теоретические основы процесса : монография / В. А. Левко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2007.

V. A. Levko, E. O. Nyzhdova, D. O. Kharin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

CONSTRUCTIVE PARTICULARITIES OF DEVICES, FORMING THE CHARACTER OF THE MEDIA FLOW FOR ABRASIVE-FLOW MACHINING PROCESS

It is given device categorization, creating required modes of the media flow. Using of such devices increases the technological possibilities of the abrasive-flow machining process.

© Левко В. А., Нуждова Е. О., Харин Д. О., 2009

УДК 621. 9. 06.001

И. А. Литвинов, Г. Ф. Тарасов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Рассматривается один из способов утилизации отходов машиностроения. Приведены результаты исследования процесса измельчения металлической стружки в дезинтеграторе, в котором измельчителем является торцовое зубчатое зацепление.

На машиностроительных предприятиях в результате механической обработки деталей образуется металлическая стружка в значительных объемах, поэтому ее утилизация является весьма актуальной задачей. Традиционный металлургический способ переработки металлической

стружки требует больших затрат времени, финансовых затрат, связанных с транспортировкой и хранением, а главное, ведет к неизбежным потерям в процессе металлургического передела. Иным путем решения проблемы утилизации стружки является переработка ее в металлический

порошок и дальнейшее использование в порошковой металлургии.

Существуют различные способы получения металлических порошков. Однако хорошо известен способ, основанный на механическом разрушении материала. Он реализован в широком спектре диспергирующего оборудования (мельницы, дробилки), отличается многообразием конструктивных решений принципов измельчения материала. Наибольшее распространение получили барабанные, вибрационные, молотковые, щековые и другие измельчители. Они обеспечивают измельчение материалов до необходимой дисперсности, но имеют высокий уровень динамических нагрузок, большую энергоемкость и длительность цикла измельчения, необходимость монтажа установок на мощном самостоятельном фундаменте, для чего требуются специальные помещения, исключается возможность их установки на междуэтажных перекрытиях.

Отмеченные недостатки устранены в конструкции дезинтегратора, разработанного в СибГАУ. Экспериментально доказана эффективная работа дезинтегратора при измельчении металлической стружки цветных и черных металлов, пластмассы, лекарственных трав, зерна, резины, кожи и других материалов, расширяется область его применения. В качестве измельчителя в нем используется торцовое зубчатое зацепление со специальным профилем боковых поверхностей зубьев. Измельченный до определенного размера материал ссыпается в поддон через отверстия в сепараторе. Скорость вращения зубчатых колес регулируется передаточным отношением привода.

В процессе выполнения эксперимента переработке подвергали алюминиевую стружку различного поперечного сечения (после чернового и чистового точения деталей). Изменялась частота вращения зубчатой передачи и производилась смена сепараторов для разделения фракций по крупности.

Эксперименты показали, что производительность измельчения зависит от количества размоллов, возрастая пропорционально порядковому номеру размола при любых диаметрах отверстий в сепараторах. Вместе с тем, пропускная способность сепаратора существенным образом влияет на производительность. Изменение диаметра сечения отверстий в сепараторе с 4 до 10 мм позволяет увеличить производительность при первом размоле в три раза с 6 кг/ч до 18 кг/ч. На завершающем цикле (в нашем случае седьмой размол) различие в производительностях также существенно (70 кг/час и 110 кг/ч соответственно). Меньшая производительность характерна для малых диаметров отверстий сепараторов, обуславливается это более продолжительным периодом

измельчения до размера, позволяющего материалу проходить через отверстия. Выравнивание производительности обеспечивается путем применения многоступенчатого измельчения, предварительного разделения измельчаемого материала по фракциям и согласования циклов размола на ступенях с различными диаметрами отверстий сепараторов. Изучение состава и содержания фракций измельченной стружки проведено при трехкратном размоле и пропуске получаемого материала через сепараторы с диаметрами отверстий 10, 6, 4, 3 и 2 мм.

Полученные результаты показывают эффективность применения дезинтегратора для переработки стружки уже на первом цикле размола при любых значениях диаметров отверстий в сепараторах. Только при диаметре отверстий в сепараторе 10 мм доля фракции, содержащая переработанную стружку в виде пластинок с площадью поперечного сечения свыше 40 мм², составляет не более 15 %, при диаметре отверстий 6 мм, эта доля не превышает 7 %. Видно, что основную долю после первичной переработки составляют фракции с размерами частиц пластин в поперечном сечении 10...30 мм². При работе с сепараторами диаметрами 4 и 3 мм содержание фракций сечением от 2 до 8 мм² практически одинаково, поэтому при последовательном измельчении материалов, в частности алюминиевой стружки, сепаратор с диаметром отверстий 4 мм можно исключить, т. е. после применения сепаратора с отверстиями 6 мм можно сразу следующим применить сепаратор с диаметром отверстий 3 мм. Многократное пропускание измельчаемого материала через сепаратор с одним и тем же диаметром отверстий существенных изменений в содержание фракций не вносит (колебания не превышают 5...7 %).

Предлагаемая технология переработки с последовательностью уменьшения размеров отверстий сепараторов целесообразна, исходя из условий согласования производительности дезинтегратора на каждом цикле измельчения. Применение на первом этапе измельчения сепаратора с малым диаметром отверстий ведет к увеличению времени нахождения стружки в зоне размола и ее интенсивному нагреву. Следствием этого является залипание стружки, ее спекание и заклинивание дезинтегратора. Существенное влияние на эффект залипания стружки оказывает и скорость вращения зубчатых колес.

Проведенные эксперименты показали, что при большом диаметре отверстий сепаратора (10 мм) и скорости вращения ведущего зубчатого колеса 960 об/мин происходит залипание стружки в сепараторе, особенно при переработке стружки толщиной свыше 2 мм (стружка после чернового

точения). Уменьшение частоты вращения до 630 об/мин позволило полностью избежать залипания стружки в сепараторе. Очевидно, что при измельчении других материалов залипание может происходить при других режимах условий работы дезинтегратора, так как степень нагрева в зоне истирания, при прочих равных условиях, для различных материалов не одинакова. С учетом этого, для каждого измельчаемого материала, должны

быть установлены свои режимы и условия работы дезинтегратора.

Таким образом, выполненными исследованиями установлено, что дезинтегратор может быть использован для измельчения различных материалов, в том числе и металлической стружки. Устранение выявленных недостатков и установление оптимальных режимов их работы являются задачами дальнейших исследований.

I. A. Litvinov, G. F. Tarasov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

RECYCLING OF THE WASTE OF MACHINE-BUILDING MANUFACTURES

In the article one way to recycle waste of mechanical engineering is considered. The research results of the process of a metal shaving crushing in a mill where a grinder is front gear are shown in the work

© Литвинов И. А., Тарасов Г. Ф., 2009

УДК 621.9.06-529

А. Ю. Литвинчук, Ю. А. Филиппов

ОАО «Красноярский машиностроительный завод», Россия, Красноярск

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Рассмотрены возможности современных систем автоматизированной подготовки производства при проектировании, контроле и изготовлении трубопроводов сложной геометрии. Разработана структурная схема проектирования, изготовления и монтажа трубопроводов сложной конфигурации в составе изделий РКТ.

В настоящее время процесс проектирования, изготовления и монтажа трубопроводов сложной конфигурации, входящих в изделия РКТ, проходит несколько этапов:

- создание полномасштабного макета до начала производства изделия;
- создание по изготовленному макету эталонных трубопроводов;
- изготовление штатных трубопроводов;
- многократная подгибка штатных трубопроводов по эталону.

Это требует большого количества ручного труда и не дает гарантии обеспечения оптимальной конфигурации и надлежащего качества продукции.

Чертежи на трубопроводы сложной конфигурации представляют собой только схематическое изображение трассы трубопровода, что приводит к неудобству сборки и монтажа.

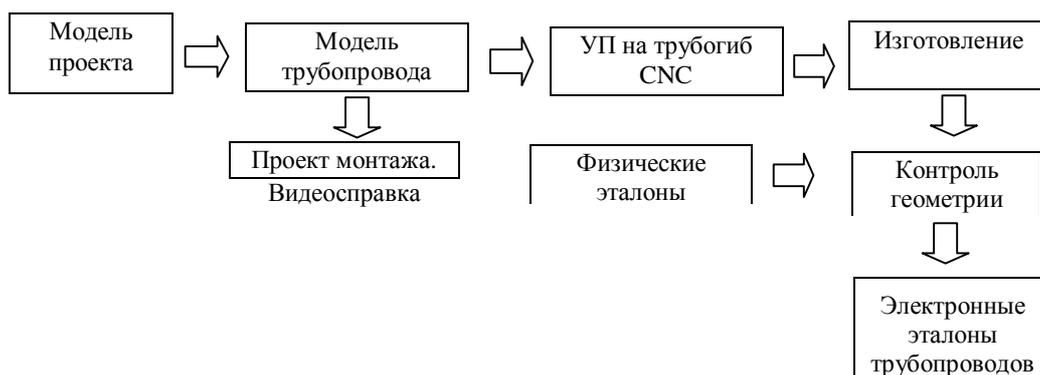
Из-за сложной пространственной конфигурации трубопроводов, традиционные чертежи на монтаж их в составе изделия содержат большое количество видов, сечений, по которым сложно представить пространственную конфигурацию сборки и монтажа.

Внедрение комплексной автоматизированной системы проектирования, изготовления и монтажа трубопроводов сложной конфигурации с применением 3D-модели позволит:

- исключить сложный и трудоемкий процесс эталонирования трубопроводов;
- повысить точность изготовления и сборки трубопровода;
- исключить операцию подгибки по месту;
- автоматизировать всю цепочку от проектирования до монтажа трубопроводов;
- исключить влияние человеческого фактора на многих этапах работ;
- улучшить технологию изготовления трубопроводов и их монтажа в составе узла и изделия.

Укрупненная структурная схема проектирования, изготовления и монтажа трубопроводов изображена на рисунке.

Каждый блок содержит в себе аппаратно-программный комплекс и методику работы, позволяющие структурировать работу по проекту в едином информационном пространстве.



Укрупненная структурная схема проектирования, изготовления и монтажа трубопроводов

Представленная структурная схема обладает гибкостью и высокой производительностью в сравнение с аналогами, используемыми в отрасли. Издержки на доработку проекта, отработку технологии изготовления и монтажа сведены к минимуму благодаря автоматизации всей цепочки работ.

Внедрение в производственный процесс данной технологии позволит получить следующий эффект:

- освоение изготовления трубопроводов сложной конфигурации без эталонного макета;
- повышение точности изготовления в 1,5 раза;
- сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки производства;
- повышение производительности труда и снижение потерь от брака;
- обеспечение стабильно высокого уровня качества продукции;
- снижение себестоимости на 35...40 %.

A. Ju. Litvinchuk, Ju. A. Filippov

JSC «Krasnoyarsk Machine-Building Plant», Russia, Krasnoyarsk

THE PIPELINES-MAKING TECHNOLOGY OF DIFFICULT GEOMETRY

The work is dedicated to possibilities of modern systems of the computer-aided manufacturing at designing, controlling and manufacturing of pipelines of difficult geometry. The designing block diagram, manufacturing and installation of pipelines of a difficult configuration as a part of products PAT is developed

© Литвинчук А. Ю., Филиппов Ю. А., 2009

УДК 621.81.004

Л. С. Малько, Д. И. Стерехова, А. В. Сутягин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

СТРУКТУРА РАВЕНСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ РАДИАЛЬНЫМ ФАСОННЫМ РЕЗЦОМ

Представлены результаты экспериментального исследования шероховатости винтовой поверхности, обработанной радиальным фасонным резцом.

В работе [1] установлена расчетно-аналитическая зависимость для определения основных параметров шероховатости, позволяющая связать их с условиями механической обработки. Равенство для определения средней высоты профиля шероховатости при всех методах механической обработки [1] имеет вид

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

где h_1 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента; h_2 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная колебаниями инструмента относительно обрабатываемой поверхности; h_3 – составляющая профиля ше-

роховатости, обусловленная пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки; h_4 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная шероховатостью рабочей поверхности инструмента.

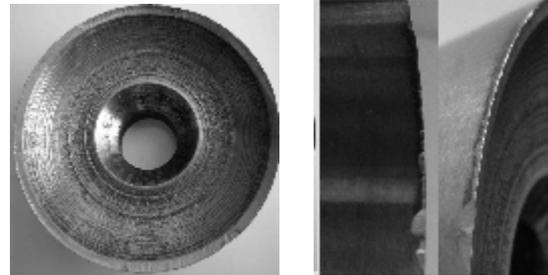
Однако структура этого равенства может изменяться в зависимости от условий обработки. Так при обработке винтовой поверхности (ВП) радиальным фасонным резцом составляющая h_1 отсутствует. Это объясняется тем, что при образовании геометрической производящей линии по методу копирования, а это имеет место при обработке ВП точением радиальным фасонным резцом, движение формообразования отсутствует. В этом случае существует только установочное движение для перемещения вспомогательного элемента в исходное положение.

С учетом вышеизложенного, структура равенства для определения средней высоты профиля шероховатости выглядит следующим образом:

$$R_z = h_2 + h_3 + h_4.$$

Из научных публикаций ряда авторов [1; 2] известно, что при точении наибольшее значение имеет составляющая h_1 и, например, больше составляющей h_4 в 4...5 раз. Таким образом, отсутствие составляющей h_1 должно привести к тому, что средняя высота профиля шероховатости при точении ВП фасонным резцом будет иметь минимальное значение. Однако результаты эксперимента показали, что этого не происходит. Для данных условий обработки преобладающее влияние на высотный параметр шероховатости оказывает износ рабочих поверхностей режущего элемента резца, т. е. составляющая h_4 . В результате обследования режущей кромки резца было установлено, что она имеет значительные по величине зазубрины (см. рисунок), которые начинают обра-

зовываться уже в начальной стадии обработки. Таким образом, составляющая h_4 профиля шероховатости обуславливается не только первоначальной шероховатостью рабочих поверхностей инструмента, но и интенсивным развитием зазубрин на рабочих поверхностях режущего элемента с момента начала процесса резания.



Характер износа режущей кромки радиального фасонного резца

Таким образом, экспериментально подтвержден вывод о структуре равенства вида $R_z = h_2 + h_3 + h_4$, для случая обработки ВП радиальным фасонным резцом, а также установлено, что преобладающее влияние на высотный параметр шероховатости оказывает износ рабочих поверхностей режущей части радиального фасонного резца.

Библиографический список

1. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. М. : Машиностроение, 2000.
2. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко и др. ; под общ. ред. А. Г. Суслова. М. : Машиностроение, 2006.

L. S. Malko, D. I. Sterekhova, A. V. Sutyagin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

EQUALITY STRUCTURE FOR A DEFINITION OF AVERAGE PROFILE HEIGHT OF A SCREW SURFACE ROUGHNESS AT PROCESSING BY A RADIAL SHAPED CUTTER

In the article the results of an experimental research of a screw surface roughness processed by the radial shaped cutter are presented.

© Малько Л. С., Стерехова Д. И., Сутягин А. В., 2009

УДК 621.914.5

Л. С. Малько, А. В. Сутягин

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ h_1 СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ И КИНЕМАТИКОЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА***Рассмотрена методика определения величины составляющей h_1 средней величины профиля шероховатости при ротационном точении винтовой поверхности многолезвийным инструментом.*

Развивающееся в последние годы учение об инженерии поверхности [1; 2] позволило установить расчетно-аналитическую зависимость для определения основных параметров шероховатости, позволяющую связать их с условиями механической обработки. Равенство для определения средней высоты профиля шероховатости при всех методах механической обработки [1] имеет вид

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – составляющие профиля шероховатости, обусловленные геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента, колебаниями инструмента относительно обрабатываемой поверхности, пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки, шероховатостью рабочей поверхности инструмента.

В зависимости от условий обработки степень влияния каждой из этих составляющих на образование шероховатости поверхности будет различная.

Для случая ротационного точения винтовой поверхности (ВП) в равенстве для определения средней высоты профиля шероховатости присутствуют все четыре составляющие (h_1, h_2, h_3, h_4). Наибольший интерес в исследуемом случае представляет составляющая h_1 . Однако известные зависимости [1; 2] для определения составляющей h_1 при ротационном точении ВП многолезвийным инструментом не могут быть применены. В связи с этим предлагается следующая методика определения составляющей h_1 .

Для определения величины h_1 составляют расчетную схему (см. рисунок). Выбирают систему координат, жестко связанную с профилем ВП детали. Ось x совмещают с центроидой детали, а ось y с осью симметрии профиля ВП.

В принятой системе координат x и y изображают профиль обработанной поверхности путем проведения следов трех резов. Первый рез размещается симметрично относительно оси y профиля ВП, второй – соответствует выбранной подаче S , а третий – подаче, равной $0,5S$.

Координаты центров O_1, O_2, O_3 радиусного профиля режущего элемента определяют по уравнениям трахоидальных кривых. Для рассматриваемой схемы это будут уравнения укороченной циклоиды. Как следует из рассматриваемой схемы высота расчетных неровностей h_1 соответствует отрезку KM :

$$h_1 = KM = r - O_3K,$$

где r – радиус кругового профиля РЭ-инструмента.

Координаты точки K определяют совместным решением окружностей радиуса r с центрами O_1 и O_2 . Длину отрезка O_3K определяют по соответствующим формулам аналитической геометрии.

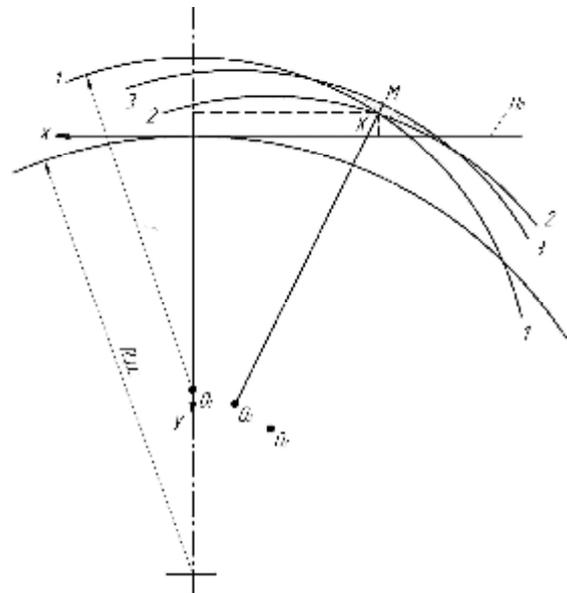


Схема для определения величины h_1 при ротационном точении ВП многолезвийным инструментом:

$R_{ци}$ – радиус центроиды инструмента; $Ц_d$ – центроида детали; O_1, O_2, O_3 – центры радиусного профиля режущего элемента; 1, 2, 3 – следы резов; r – радиус профиля инструмента

Разработанная схема и последовательность расчета составляющей h_1 средней высоты профиля шероховатости ВП многолезвийным инстру-

ментом объективно отражают характер влияния геометрии рабочей части инструмента и кинематики его рабочего движения относительно обрабатываемой поверхности на образование шероховатости и могут быть рекомендованы для использования в производстве при решении вопросов оптимизации режимов резания для данного способа механической обработки.

Библиографический список

1. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. М. : Машиностроение, 2000.
2. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. М. : Машиностроение, 1987.

L. S. Malko, A. V. Sutyagin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

THE DEFINITION OF h_1 -COMPONENT OF AVERAGE HEIGHT OF THE PROFILE ROUGHNESS CAUSED BY GEOMETRY AND MOVING KINEMATICS OF THE WORKING PART OF THE TOOL

The technique of definition of h_1 -component of average size of a roughness profile is considered at rotational turning of a screw surface multitoothed by the tool.

© Малько Л. С., Сутягин А. В., 2009

УДК 629.7.023.2:535.362

М. М. Михайлов, А. Н. Лапин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, Томск

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТЕРМОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА БАРИЯ

Выполнен сравнительный анализ спектров диффузного отражения, интегральных коэффициентов поглощения и их изменений после облучения электронами ($E = 30$ кэВ, $\Phi \leq 3 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$) покрытий на основе порошков титаната бария, модифицированных оксидом алюминия и диоксидом циркония ($Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ и $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$). Установлено, что использование нанопорошков Al_2O_3 и ZrO_2 вместо микропорошков при модифицировании $BaTiO_3$ приводит к увеличению радиационной стойкости покрытий.

Системы терморегулирования (СТР) космических аппаратов (КА), обеспечивающие заданный тепловой режим, делятся на активные и пассивные. Активные СТР являются громоздкими, сложными в исполнении и не могут быть применены для охлаждения выносных блоков и некоторых приборов. Поэтому наряду с ними используются пассивные СТР, например, терморегулирующие покрытия, наносимые на различные поверхности, приборы и блоки КА, температуру которых необходимо поддерживать в заданных пределах.

В большинстве случаев для СТР КА применяются терморегулирующие покрытия, излучательная способность (ϵ) которых в зависимости от температуры практически не изменяется. Поскольку в космическом пространстве (КП) теплопередача возможна только излучением, то способом поддержания температуры поверхностей КА на заданном уровне может быть изменение излучательной способности покрытий в зависимости от температуры.

Соединения типа $Ba_{1-x}A_xTiO_3$ и $BaTi_{1-y}A_yO_3$ обладают фазовыми переходами (ФП), при которых по электрическим свойствам они изменяются от диэлектрического до квазиметаллического состояния. Поскольку излучательная способность определяется концентрацией носителей заряда, то в области ФП она может изменяться от значений, характерных для металлов, до значений, характерных для диэлектриков, т. е. в пределах от 0,1 до 0,96. Варьируя типом и концентрацией замещающих элементов А, а также условиями получения пигментов, принципиально можно управлять фазовыми переходами покрытий, изготовленных на основе таких соединений [1; 2]. В случае нагрева покрытия до температуры ФП, его излучательная способность скачкообразно увеличится, что приведет к повышению излучаемой энергии и стабилизации температуры. Таким образом, использование подобных покрытий позволит стабилизировать температуру и повысить надежность работы систем КА.

Во время орбитального полета КА под действием излучений КП в покрытиях образуются радиационные дефекты и центры поглощения, что приводит к уменьшению коэффициента отражения (ρ) и увеличению интегрального коэффициента поглощения (a_s). Излучательная способность покрытий под действием излучений практически не изменяется, поэтому температура КА, определяемая соотношением $T \sim (a_s/\epsilon)^{0,25}$, будет зависеть от значения a_s покрытия и его устойчивости к воздействию излучений КП.

Цель работы – исследование спектров диффузного отражения покрытий (состоящих на 75 % из пигмента – титаната бария, модифицированного микро- либо нанопорошками Al_2O_3 или ZrO_2 и на 25 % из связующего – лака КО-859) и их стабильности при облучении ускоренными электронами.

Спектры диффузного отражения (ρ_λ) регистрировали в области 360–2100 нм в установке-имитаторе условий КП «Спектр» [3] до и после каждого периода облучения электронами ($E = 30$ кэВ, $\phi = 1 \cdot 10^{12}$ см⁻²с⁻¹) в вакууме 10^{-6} тор на месте облучения (in situ).

Из спектров ρ_λ следует, что коэффициент отражения покрытий на основе порошка $BaTiO_3$, модифицированного микропорошками, больше коэффициента отражения покрытий, пигменты которых модифицированы нанопорошками. Такое соотношение выполняется в области $\lambda \leq 630$ нм для покрытий на основе порошка $Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ и по всему спектру для покрытий на основе порошка $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$.

После облучения электронами коэффициент отражения всех типов покрытий уменьшается. Установлено, что покрытия на основе пигментов, модифицированных микропорошками менее устойчивы к облучению по сравнению с покрытиями, пигменты которых модифицированы нанопорошками.

Коэффициент a_s , рассчитанный по методике [4], составил 0,142; 0,157; 0,156 и 0,2 для покрытий на основе пигментов, модифицированных микро-, нанопорошками оксида алюминия, микро- и нанопорошками диоксида циркония, что по-

зволяет данные покрытия отнести к классу «солнечные отражатели».

Из кинетики изменения a_s при облучении следует, что радиационная стойкость покрытий на основе пигментов, модифицированных нанопорошками на 10 и 20 % выше по сравнению с покрытиями, модифицированными микропорошками ZrO_2 и Al_2O_3 .

Выполненные исследования показали, что коэффициент диффузного отражения в области от 360 до 2100 нм покрытий на основе титаната бария, модифицированного нанопорошками, немного меньше по сравнению с коэффициентом диффузного отражения покрытий на основе пигментов, модифицированных соответствующими микропорошками. Уменьшение обусловлено большим поглощением собственными точечными дефектами в поверхностном слое нанопорошков, определяемым их большей удельной поверхностью.

Радиационная стойкость покрытий на основе порошков титаната бария, модифицированных нанопорошками, выше по сравнению с радиационной стойкостью покрытий на основе порошков, модифицированных микропорошками. Увеличение радиационной стойкости определяется релаксацией электронных возбуждений на поверхности наночастиц и меньшей концентрацией образованных центров поглощения.

Библиографический список

1. Михайлов, М. М. Пигменты для термостабилизирующих покрытий / М. М. Михайлов, А. Н. Соколовский // Изв. вузов. Физика. 2007. № 12. С. 90–91.
2. Seung Yong San. Elektronical properties of $(Ba,Sr)TiO_3$ on $(Sr,Ca)RuO_3$ electrode / Seung Yong San, Bout Seock Kim, Se Hoon Oh, Duck Kyun Choi // J. Mater. Sci., 1999. Vol. 34. P. 6115–6119.
3. Косицин, Л. Г. Установка для исследования спектров диффузионного отражения и люминесценции твердых тел в вакууме / Л. Г. Косицин, М. М. Михайлов, Н. Я. Кузнецов, М. И. Дворецкий // ПТЭ. 1985. № 4. С. 176–180.
4. Johnson, F. S. The solar constant / F. S. Johnson // J. Metrological, 1954. Vol. 11. № 6. P. 431–439.

M. M. Mikhailov, A. N. Lapin

Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, Russia, Tomsk

RADIATION HARDNESS OF THERMO STABILIZING COATINGS OF SPACECRAFTS BASED ON BARIUM TITANATE

Some types of pigments for coatings were made from powder of barium titanate doped with micro or nano powders of Al_2O_3 and ZrO_2 . The diffuse reflectance spectra, the integral solar absorptance factor, and their changes under electron irradiation were analyzed for these coatings. Radiation hardness of coatings based on $BaTiO_3$ pigment doped by nano powders of Al_2O_3 and ZrO_2 is better than stability of coatings with micro powders.

© Михайлов М. М., Лапин А. Н., 2009

**ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ
ПО t_{2g} -ОРБИТАЛЯМ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ**

Методом Монте-Карло на простой кубической решетке вычислены орбитальная намагниченность и упругие характеристики: постоянная решетки, параметр тетрагонального искажения как функция температуры для ряда величин электрон-фононного взаимодействия. Найдено изменение модуля орбитального момента на узле в зависимости от величины взаимодействия электронной и упругой систем.

Исследование мультиферроиков, в которых сосуществует хотя бы два из трех параметров порядка (магнитный, электрический или кристаллографический), является актуальной задачей, так как описывает возможность с помощью электрического поля управлять магнитными свойствами материала и, наоборот, осуществлять модуляцию электрических свойств магнитным полем.

Перераспределение электронной плотности внутри 3d-оболочки, в результате конкурирующих взаимодействий кристаллического поля, кинетической и кулоновской энергий электронов на t_{2g} -уровнях вблизи химпотенциала может привести к ян-тейлоровским искажениям, локальному нарушению центра инверсии и орбитальному магнетизму. Поэтому в таких системах возможны эффекты влияния магнитного поля и постоянного электрического поля на транспортные и диэлектрические свойства соединений. К этому классу веществ можно отнести оксиды или халькогениды железа и кобальта.

Цель работы заключается в установлении взаимосвязи между орбитально-зарядовым упорядочением электронов в t_{2g} -орбиталях и кристаллическими параметрами решетки.

Кулоновское взаимодействие между электронами, заполняющими t_{2g} -орбитали более чем наполовину, например в Co^{2+} понижает энергию Fe^{2+} в случае разной заселенности орбиталей и приводит к расщеплению уровней, в результате возникает пространственная анизотропия интегралов перескока между соседними ионами. При половинном заполнении орбиталей перенос электронной плотности между соседними узлами связан с сильным кулоновским отталкиванием электронов на узле (U), и эффективный интеграл перескока электронов между соседними катионами вдоль оси x через анион приводит к выражению $t_{ab}^x = E_{x,a}E_{x,b}/(e_p - e_d + U)$, где e_p, e_d – энергия уровней для p - и d -орбиталей, E_x – интеграл перекрывания между t_{2g} и p_x -орбиталями. Для данной электронной конфигурации интеграл переноса в направлении оси Oy имеет меньшую величину из-за сильного кулоновского отталкивания электро-

нов на узле (U) и отличается практически в два раза $(t^x - t^y)/t^x = U/(e_p - e_d)$. Неоднородное распределение электронной плотности по t_{2g} -состояниям индуцирует орбитальный магнитный момент $L^z = n_\alpha - n_\beta$, ($\alpha, \beta = d_{yz}, d_{xz}$), где n_α, n_β – числа заполнения электронов на соответствующих орбиталях.

Гамильтониан в феноменологическом представлении для двух орбиталей, обозначим их через α, β , запишется следующим образом:

$$H = \sum_{i,j,k}^N (J_{i,j}L_i^zL_j^z - g(n_{i,\alpha}u_{i,\alpha} + n_{i,\beta}u_{i,\beta})) + \frac{1}{2}k(u_{i,\alpha}u_{j,\alpha} + u_{i,\beta}u_{j,\beta}) + b(u_{i,\alpha}u_{j,\alpha}u_{k,\alpha} + u_{i,\beta}u_{j,\beta}u_{k,\beta}) - H_iL_i^z - E_i a(n_{i,\alpha} - 2n_{i,\alpha}),$$

где $n_{\alpha,\beta}$ – электронная плотность на орбиталях d_{xz}, d_{yz} ; $J > 0$ – обменное взаимодействие между орбитальными магнитными моментами; $L^z = n_\alpha - n_\beta$; g – параметр электрон-решеточного взаимодействия; $u_{\alpha\beta}$ – относительное смещение ионов в направлениях, соответствующих сторонам квадрата; k, b – упругие константы; H – магнитное поле; E – электрическое поле.

Для вычисления магнитных и упругих характеристик используется метод Монте-Карло на решетке размером $N = 18 \times 18 \times 18$ и числом шагов 5 000...10 000 MC/spin с переменными величинами n в интервале $n = 0...0,5$; $u = (-1...1)$. Для ряда параметров электрон-фононного взаимодействия вычислялись орбитальная намагниченность $L^z = n_\alpha - n_\beta$ и параметр тетрагонального искажения решетки $(u_x - u_y)$.

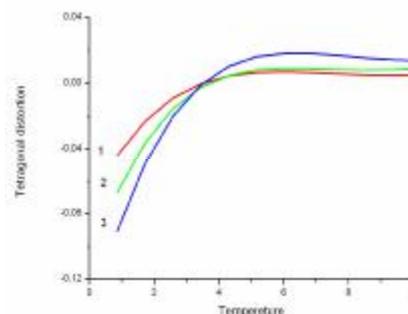
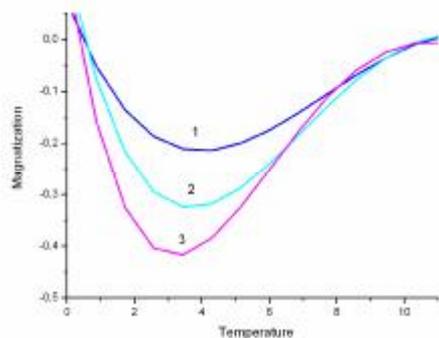
Рассмотрим влияние электрон-решеточного взаимодействия на деформацию решетки и изменение постоянной решетки с температурой. Зависимости орбитальной намагниченности и величины тетрагонального искажения от температуры с учетом ангармонизма колебаний решетки изображены на рисунке. Взаимодействие электронов при рассмотрении решеточных степеней свободы приводит к увеличению расстояния между электронами, т. е. росту постоянной решетки.

Так смещение прямо пропорционально константе электрон-фононного взаимодействия $\langle u \rangle = gn/k$ в системах с сильными электронными корреляциями, когда кулоновское взаимодейст-

вие превышает ширину зоны, в пренебрежении ангармонизмом колебаний. С ростом величины электрон-решеточного взаимодействия наблюдается изменение величин постоянной решетки вдоль соответствующих осей. При орбитальном упорядочении в результате взаимодействия электронов с решеткой индуцируется тетрагональное искажение, которое на порядок меньше величины среднего смещения $\langle u \rangle$. Изменение наклона зависимости $d\langle u \rangle/dT$ наблюдается в области пере-

хода из ферромагнитного упорядочения орбиталей в парафазу. Орбитальная намагниченность на узле растет вследствие роста обменного и электрон-фононного взаимодействий.

Итак, вычислены температурные зависимости орбитальной намагниченности и параметра тетрагонального искажения для ряда констант электрон-фононного взаимодействия. Найдена корреляция между намагниченностью и параметрами решетки.



Зависимость намагниченности от температуры (а) и зависимость тетрагонального искажения от температуры (б) при параметрах $J = 2$; $k = 5$; $b = 0,2$; $H = 0,1$; $E = 0$; $g = 0,25$; $g = 0,5$; $g = 0,75$

A. I. Moskvina, A. M. Harkov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

INFLUENCE INHOMOGENEOUS DISTRIBUTION OF ELECTRON DENSITY IN t_{2g} -ORBITAL ON ELASTIC CHARACTERISTICS OF CRYSTALS

Orbital magnetization and elastic characteristics was calculated on the simple cubic lattice by Monte-Carlo method. Constant lattice and tetragonal distortion parameters as a function of temperature for value of the electron-phonon interaction are determined. Change in the modulus of orbital moment on site lattice was found as a function of values of interaction between electronic and elastic subsystems.

© Москвин А. И., Харьков А. М., 2009

УДК 621.002.68; 621:658.567; 621.021.8; 621.004.8

Е. В. Путинцева

ОАО «Красноярский машиностроительный завод», Россия, Красноярск

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ

Производство новых видов высококачественного топлива, за счет газификации угля уникальным прямоточным способом – это именно те технологии, которые способны сделать уголь, как источник энергии, непревзойденным в экономическом и экологическом аспектах.

На грани 1970–1980 гг. прошлого столетия мировой энергетический кризис приобрел перманентный характер, что связано с окончанием эры «дешевой нефти». К 2000 г. было израсходовано

87 % мировых запасов нефти; 73 % мировых запасов природного газа; 2 % мировых запасов угля.

Это касается энергетических ресурсов, доступных для современных технологий их извлече-

ния. Одновременно началась интенсивная разработка технологий, позволяющих использовать альтернативные источники энергии: солнечную энергию, энергию морских приливов, ветра и т. п. Однако по оценкам экспертов, на ближайшие 30...40 лет, основным энергетическим ресурсом остается уголь.

Стратегия энергетической безопасности России требует увеличения доли угля в энергетическом балансе страны. Колебания цен на традиционные источники энергии (нефть и газ) вызывают неустойчивость экономики. Для изменения существующей ситуации в стране необходимо осуществить переход от простой добычи угля к переработке его на месте по энергосберегающим технологиям в востребованную высоколиквидную продукцию – экологически безопасное высококалорийное угольное топливо, энергетический газ, синтез-газ, синтетические моторные и реактивные топлива, электроэнергию, химические продукты, удобрения, стройматериалы.

Поэтому перед бизнесом и государством остро стоит множество новых задач по совершенствованию промышленной и инвестиционной политики, разработке новых программ для совместных действий, в том числе направленных на энергосбережение, повышение эффективности в промышленности и энергетике.

Производство новых видов высококачественного топлива, за счет газификации угля уникальным прямоточным способом – это именно те технологии, которые способны сделать уголь как источник энергии, непревзойденным в экономическом и экологическом аспектах. Для России, имеющей свыше 20 % мировых запасов угля, подобные технологии имеют стратегическое значение. Это позволит использовать низкокачественные угли, отходы угледобычи, углеобогащения для вовлечения в экономику еще больше ресурсных запасов, получить дефицитные продукты на месте без затрат на обогащение углей, повысить эффективность «отдачи» с каждой тонны угля по сравнению с его прямым сжиганием, уменьшить объемы вредных выбросов в атмосферу и затраты на их очистку.

ОАО «Красмаш» совместно с ЗАО «Компаш-ТЭК», ФГУП «КБХМ им. А. М. Исаева», ООО НТЦ «АЛВИГО-М», ООО НПП «Росток», с учетом использования прогрессивных конструктивных решений в ракетной отрасли, создали принципиально новый тип прямоточного газогенератора, который по своим технико-экономическим показателям превосходит существующие в России и за рубежом. В качестве исходного сырья для газификации используется искусственное композиционное жидкое топливо (ИКЖТ), конверсия которого составляет около 100 % го-

ручей части топлива. Получаемый энергетический газ, синтез-газ, моторные и реактивные топлива по стоимости не превышают традиционные котельные и моторные топлива, производимые из нефти.

Технологии и комплекс оборудования по конструктивно-технологическим решениям и технико-экономическим показателям не имеют аналогов в России и за рубежом и обладают следующими конкурентными преимуществами:

1) комплекс оборудования (не имеющий аналогов в России и за рубежом) разработан в блочно-модульном исполнении, что позволяет формировать технологический процесс с учетом потребности в конечном продукте, добавляя отдельные линии (модули) для увеличения производства востребованного товара;

2) линия по подготовке и приготовлению ИКЖТ (не имеющая аналогов в России и за рубежом) может использоваться самостоятельно, выпуская конкурентоспособную продукцию – ИКЖТ – для перевода газомазутных котельных и ТЭС на угольное топливо, а также для обеспечения исходным топливом прямоточного газогенератора;

3) прямоточный газогенератор (не имеющий аналогов в России и за рубежом) может быть использован самостоятельно, совместно с линией по подготовке и приготовлению ИКЖТ, для производства энергетического газа с целью замены в котлоагрегатах котельных и ТЭС природного газа, мазута, рядового угля, а также для газификации поселков и выработки автономной электроэнергии;

4) низкий удельный расход электроэнергии на приготовление 1 т ИКЖТ до 20...25 кВт·ч/т;

5) минимальная удельная материалоемкость прямоточного газогенератора составляет 0,25 кг/м³ генераторного газа, что на порядок меньше лучших зарубежных газогенераторов;

6) себестоимость выпускаемых моторных и реактивных топлив примерно равна или ниже себестоимости топлив, производимых из нефти;

7) получаемые моторные топлива отличаются от традиционных экологической чистотой, отсутствием серы, ароматики и по качеству соответствуют евростандарту Е-4, Е-5;

8) в получаемом синтетическом реактивном топливе, в отличие от реактивных топлив, производимых из парафинистых нефтей, запасы которых ограничены, имеется возможность регулирования соотношения парафинов и изопарафинов с целью дальнейшего повышения качества, необходимого для совершенствования летательных аппаратов и создания аппаратов будущего.

Выбранное главное направление проекта ОАО «Красмаш» – глубокая переработка сырьевых ре-

сурсов со значительным увеличением производства качественной высокотехнологичной продукции полностью согласуется с идеями, оглашенными Президентом Российской Федерации Д. А. Медведе-

вым 5 ноября 2008 г. в его Послании Федеральному собранию Российской Федерации, о возможностях технологического прорыва России в период мирового экономического кризиса.

E. V. Putintseva

JSC «Krasnoyarsk Machine-Building Plant», Russia, Krasnoyarsk

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF RAW MATERIAL PROCESSING OF SIBERIA

Manufacture of new high-quality fuel types by means of coal gasification are those technologies which are capable to make this coal a source of economic and harmless energy.

© Путинцева Е. В., 2009

УДК 620.1.05

П. Е. Сиротин, Н. Н. Автономов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ДЕТАЛЯХ КОНСТРУКЦИИ МЕТОДОМ ВДАВЛИВАНИЯ

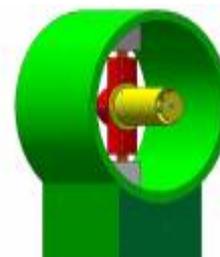
Представлена конструкция механизма распора, предназначенного для внутренней поддержки испытываемой трубчатой оболочки при вдавливании индентора в наружную поверхность.

Метод твердости является незаменимым при оценке механических свойств металлов в процессе эксплуатации; для металлов, из которых трудно изготовить образцы резанием; при оценке свойств поверхностного слоя; при аварийных исследованиях и разработке новых сплавов на лабораторных плавках, когда не представляется возможным вырезать образцы; при стопроцентном контроле качества металла изделий и т. д. Вследствие простоты, дешевизны и возможности определения механических свойств непосредственно на изделиях без их повреждения этот метод имеет большое значение.

В качестве образцов для измерения механических свойств материалов методом вдавливания индентора используют, как специально изготовленные образцы, так и изделия, в частности трубчатые оболочки ракетной техники. Была разработана трехмерная модель механизма распора

(см. рисунок), предназначенного для внутренней поддержки испытываемой трубчатой оболочки при вдавливании индентора в наружную поверхность, для анализа напряженно-деформированного состояния и подготовки чертежей для изготовления приспособления.

Перспективность конструкции заключается в ее легкой перенастройке для любого диаметра трубчатой оболочки, изменяя лишь размер башмака. В дальнейшем конструкцию можно усовершенствовать заменой одного из башмаков на головку с гидравлическим приводом. Это позволит проводить измерения механических свойств материала непосредственно изнутри оболочки.



Механизм распора

P. E. Sirotin, N. N. Avtonomov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS ON THE CONSTRUCTION DETAILS BY THE INDENTATION

We present to your attention a spacing mechanism construction designed for the internal support of the tested tube envelope during the indentation of an indenter into the outer surface.

© Сиротин П. Е., Автономов Н. Н., 2009

УДК 621.793.7

А. Н. Смирнов, Ю. Д. Шориков, В. А. Лукин, Н. А. Амельченко
Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ВЛИЯНИЕ ГАЗО- И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПАКТНОГО ПОТОКА

Проведена оценка влияния расхода плазмообразующего газа и мощности на давление в прикатодной зоне электрической дуги коаксиального плазмотрона и определена геометрия входной части прикатодной области конструкции.

Широкое применение покрытий разного функционального назначения является одним из приоритетных направлений современного машиностроения, авиационной промышленности и ракетостроения (распоряжение правительства РФ от 11.12.2007 № 1764-Р). Основные требования для такого рода покрытий: их высокая плотность и адгезионная прочность, однородность структуры и стабильность эксплуатационных характеристик при использовании в экстремальных условиях.

В настоящее время применение плазменных покрытий при создании конструкций летательных аппаратов (ЛА) ограничено по причине неоднородности и слоистости структуры, низкой адгезионной прочности и высокой пористости. Тем не менее, исследованиями и практикой доказана надежность напыленных покрытий, обеспечивающих тепловую защиту конструкций ЛА, экранирование блоков управления и коммуникации. Перспективным считается применение износостойких и твердых покрытий, что является предметом дальнейших исследований.

Как известно, основной источник нагрева порошковых материалов при напылении – это плазменная струя, которая формируется в плазменном устройстве – плазмотроне и характеризуется значительной неоднородностью в поперечном сечении. Для повышения однородности нагрева и ускорения частиц порошка, а также с целью получения компактного потока применяются разные способы формирования с использованием экранов, электрических и магнитных полей, а также дополнительных газовых потоков [1].

В последнее время применяется технология нанесения покрытий высокоскоростным методом (HVOF-метод) [2]. Основным недостатком данного метода является большой расход горючей смеси (кислород – до 1 000 л/мин., керосин – 25 л/ч и аргон – 30 л/мин.).

Высокая компактность двухфазного плазменного потока получена в устройстве [3]. В основу формирования компактного потока в устройстве положено введение порошковых материалов в прикатодную область электрической дуги. Преимущества такой схемы очевидны: во-первых,

смещение потоков плазмы и газопорошковой смеси происходит вблизи катода, в области интенсивного тепловыделения; во-вторых, увеличивается время пребывания частиц в высокотемпературной зоне струи, что обеспечивает максимальный прогрев наносимых частиц; в-третьих, появляется возможность максимально использовать энергию струи для повышения энтальпии частиц, а следовательно, увеличить КПД процесса.

В качестве основных варьируемых элементов конструкции, составляющих устройство ввода порошковых материалов в прикатодную область (рис. 1), выбраны угол конической поверхности конца катода $5 - \alpha$, угол внутренней поверхности экрана $8 - \beta$, угол внешней поверхности экрана γ , угол внутренней поверхности изолирующего элемента $3 - \delta$. Длина цилиндрической части сопла анода $2 (L)$ и его диаметр (d) практически не изменялись.

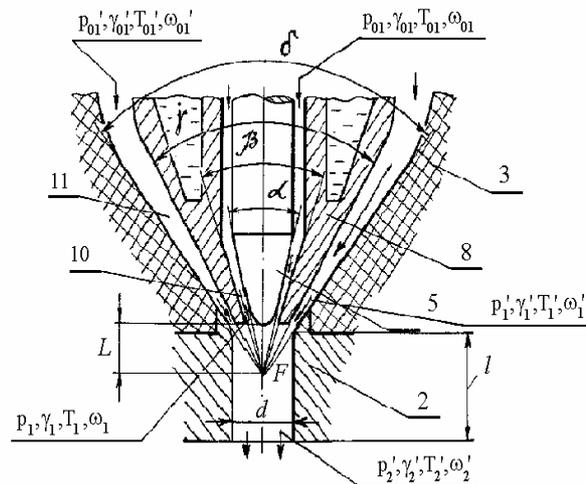


Рис. 1. Схема устройства ввода порошковых материалов плазмотрона

Во время проведения экспериментов при различном сочетании значений углов α , β , γ и δ газоэлектрические параметры работы плазмотрона оставались постоянными. В качестве напыляемого материала использовали порошок оксида алюминия (электрокорунд) с дисперсностью M28.

Нанесение покрытий производилось неподвижным плазмотроном при фиксировании времени процесса ($t = 10$ с). Дистанция напыления составляла 125 мм. Напыленные фигуры – «горки» – отделялись от подложки и использовались для обмеров и расчетов.

Кроме того, проведены исследования по оценке давления в прикатодной зоне при истечении только плазмообразующего газа (рис. 2), а также при горении электрической дуги различной мощности. Это позволило установить функциональные зависимости по расходу транспортирующего газа и газодинамических характеристик плазменной струи, что в значительной степени позволило повысить компактность двухфазного потока.

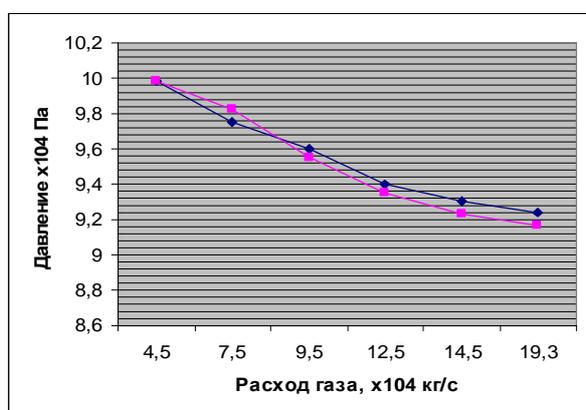


Рис. 2. Зависимость давления в прикатодной зоне от расхода плазмообразующего газа

Для сравнения преимуществ того или иного сочетания элементов конструкции были выбраны следующие параметры: плотность заполнения струи распыляемым материалом, которая характеризуется коэффициентом сосредоточенности k , и плотность напыленного покрытия ρ_n . Плотность покрытия определяли методом гидростатического взвешивания. Стабильность работы плазмотрона оценивали визуально и по показаниям приборов, контролирующих электрические и расходные параметры процесса.

Таким образом, на основании проведенных исследований определена конструкция входной части прикатодной зоны плазменного распылителя, установлены зависимости по сочетанию оптимальных расходов плазмообразующего и транспортирующего газа.

Библиографический список

1. Клубникин, В. С. Плазменные устройства для нанесения покрытий / В. С. Клубникин // Известия Сиб. отд. наук ; Серия технических наук. Вып. 3. 1983. № 13. С. 82–92.
2. Калита, В. И. Физика, химия и механика формирования покрытий, упрочненных наноразмерными фазами / В. И. Калита // ФизХОМ. 2005. № 4. С. 46–57.
3. А. с. №1616499, МКИ H05B 7/22. Электродуговой плазмотрон для нанесения покрытий / В. Н. Саунин, Г.Д. Коваленко, Н. А. Амельченко и др. ; Заявл. 4398596/24–07 ; опубл. 20.03.88.

A. N. Smirnov, Y. D. Shorikov, W. A. Lukin, N. A. Amelchenko

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

GEOMETRY OF ENTRANCE PART OF NEAR-CATHODE ZONE OF CONSTRUCTION WAS DEFINED

The estimation of influence of expense of plasma-generic gas and capacity on pressure in near-cathode zone of coaxial plasmatron electric curre has been executed.

© Смирнов А. Н., Шориков Ю. Д., Лукин В. А., Амельченко Н. А., 2009

УДК 621.38

И. В. Трифанов, А. М. Бакин, Л. И. Оборина, Б. Н. Исмаилов, И. В. Стерехов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ВАФЕЛЬНОГО ТИПА ПУТЕМ
АППРОКСИМАЦИИ СВОЙСТВ ПО ЕДИНИЧНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ**

Предложен метод расчета характеристик вафельных фильтров с отражающими элементами кубической формы. К достоинствам метода относится относительная простота уравнений, достигаемая путем использования симметрии расположения элементов. Метод позволяет рассчитать основные параметры фильтров вафельного типа по характеристикам единичных отражающих элементов.

В настоящее время область применения радиоэлектронных средств СВЧ-диапазона расширяется, комплексы радиосистем становятся все более сложными. Уровень требований к параметрам частотно-селективных и распределительных волноводных устройств существенно возрос. Моделирование характеристик устройств является приоритетным направлением, так как позволяет существенно уменьшить объем экспериментальных работ.

Рассмотрим простейший фильтр вафельного типа [1]. Решение будем искать в виде комбинации решений для системы единичных шпенок с учетом коэффициента связи между ними.

В первом случае поперечная компонента поля в первой зоне (перед шпенком) может быть представлена следующим образом [2]:

$$E = (e^{-i\gamma_{a1}z} + R e^{i\gamma_{a1}z}) \cdot \varphi_{n1} + \sum_{n=2}^{\infty} V_n \cdot e^{i\gamma_{an}z} \cdot \varphi_{an}$$

$$-z \times H = Y_{a1} \cdot (e^{-i\gamma_{a1}z} - R e^{i\gamma_{a1}z}) \cdot q_{a1} -$$

$$- \sum_{n=2}^{\infty} Y_{an} \cdot V_n \cdot e^{i\gamma_{an}z} \cdot q_{an}$$

Во второй зоне (между гребешками) аналогично запишем:

$$E = \sum_{n=1}^{\infty} (G_m \cdot e^{-i\gamma_{bm}z} + F_m \cdot e^{i\gamma_{bm}z}) \cdot \varphi_{bm};$$

$$-z \times H = \sum_{m=1}^{\infty} Y_{bm} \cdot (G_m \cdot e^{-i\gamma_{bm}z} - F_m \cdot e^{i\gamma_{bm}z}) \cdot \varphi_{bm}$$

В третьей зоне разложение будет иметь следующий вид:

$$E = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n \cdot e^{-i\gamma_{cn} \cdot (z-L)} \cdot \varphi_{cn};$$

$$-z \times H = \sum_{n=1}^{\infty} Y_{cn} \cdot Q_n \cdot e^{-i\gamma_{cn} \cdot (z-L)} \cdot \varphi_{cn}$$

Задав условия на граничных поверхностях, получим следующее решение:

$$E(0) = (1+R) \varphi_{a1} + \sum_{n=2}^{\infty} V_n \cdot \varphi_{an} =$$

$$= \sum_{m=1}^{\infty} (G_m + F_m) \cdot \varphi_{bm}$$

$$-z \times H(0) = Y_{a1} \cdot (1 - R) \cdot \varphi_{a1} - \sum_{n=2}^{\infty} Y_{an} \cdot V_n \cdot \varphi_{an} =$$

$$= \sum_{m=1}^{\infty} Y_{bm} \cdot (G_m - F_m) \cdot \varphi_{bm}$$

$$E(L) = \sum_{m=1}^{\infty} (G_m \cdot e^{-i\gamma_{bm}L} + F_m \cdot e^{i\gamma_{bm}L}) \cdot \varphi_{bm} = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n \cdot \varphi_{cn};$$

$$-z \times H(0) = \sum_{n=1}^{\infty} Y_{bm} \cdot (G_m \cdot e^{-i\gamma_{bm}L} - F_m \cdot e^{i\gamma_{bm}L}) \cdot \varphi_{bm} =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} Q_n \cdot \varphi_{cn}$$

где $q_{an}, \varphi_{bn}, \gamma_{cn}$ – собственные функции в областях 1, 2 и 3; Y_{an}, Y_{bn}, Y_{cn} – соответствующие проводимости.

Так как собственные волны ортонормированы, то коэффициенты разложения могут быть выражены через поле на границе между зонами:

$$G_m + F_m = \int_{A1} q_{bm} \cdot E(0) ds,$$

где $A1$ – поверхность раздела.

Воспользовавшись симметрией задачи [3], получим электродинамические характеристики одиночного отражателя, а затем коэффициент связи между парами подобных элементов.

Коэффициент связи запишем следующим об-

$$\text{разом: } k = \pm \frac{f_{p2}^2 - f_{p1}^2}{f_{p2}^2 + f_{p1}^2}.$$

Численное решение для коэффициента связи выполнено с использованием компьютерного моделирования, далее – декомпозиция системы до отдельных элементов.

Полученная зависимость позволяет рассчитывать полосу пропускания и КСВ для фильтров вафельного типа с произвольным количеством элементов кубической формы.

Библиографический список

1. Мануилов, М. Б. Собственные волны многогребневых волноводов / М. Б. Мануилов, К. В. Кобрин // Электромагнитные волны и электронные системы. 2005. № 6.
2. Митра, Р. Аналитические методы теории волноводов / Р. Митра, С. Ли. М.: Мир, 1974.
3. Лебедев, И. В. Техника и приборы СВЧ: в 2 т. Т. 1. Техника сверхвысоких частот / И. В. Лебедев. М.: Высш. шк., 1970.

I. V. Trifanov, A. M. Bakin, L. I. Oborina, B. N. Ismailov, I. V. Sterehov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

SIMULATION OF WAFER-TYPE FILTERS BY APPROXIMATING THE PROPERTIES OF SINGLE ELEMENTS

In this paper we propose a method for calculating of the wafer filters characteristics with reflecting elements of the cubic form. The advantage of the method is the relative simplicity of equations, which is achieved through the use of symmetry in the arrangement of elements. The method allows calculating of the basic parameters of the wafer-type filters using the characteristics of individual reflecting elements.

© Трифанов И. В., Бакин А. М., Оборина Л. И., Исмаилов Б. Н., Стерехов И. В., 2009

УДК 621.38

И. В. Трифанов, Б. И. Исмаилов, Л. И. Оборина, И. В. Стерехов, А. С. Самойло

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОДОВ КВЧ-ДИАПАЗОНА

Предоставлена дилатометрическая оценка температурного коэффициента линейного расширения волноводов КВЧ-диапазона.

Для обеспечения требуемых рабочих характеристик полосовых фильтров, в диапазоне рабочих температур необходимо использовать материалы с малым температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР 1...2,1/°С), например, сплав 32НКД [1].

После изготовления волноводов сечением 5,2 × 2,6 и 3,6 × 1,8 мм из сплава 32НКД методом многостороннего деформирования исследовались ТКЛР и их линейное расширение. Использовался индуктивный дилатометр DIL-402С фирмы Netzsch, с программным обеспечением Windows™, включающий все необходимое для выполнения измерений и расчета экспериментальных данных.

Калибровку дилатометра осуществляли корундовым стандартом фирмы Netzsch. Изме-

ряемые образцы имели размер $l = 25^{±0,05}$ мм, толщину стенки 1 мм. Измерения ТКЛР проводили со скоростью 5 К/мин в интервале температур 30...160 °С в атмосфере инертного газа для исключения окисления образцов при нагревании.

Известно, что температурный коэффициент линейного расширения зависит от ряда факторов, например от пластической деформации. Влияние пластической деформации на коэффициент температурного расширения описывается выражением

$$\alpha = \alpha_0(1 + A\varepsilon),$$

где α_0 – температурный коэффициент линейного расширения недеформированного металла; ε – степень деформации металла; A – коэффициент, учитывающий физические характеристики деформируемого металла:

$$A \approx \chi_T E \gamma / 3,$$

где E – модуль упругости; γ – параметр Грюнайзена; χ_T – коэффициент изотермической сжимаемости.

Учитывая, что значения A для ряда металлов находятся в пределах 1,3...2,3, остаточная деформация способна существенно увеличивать тепловой коэффициент линейного расширения после изготовления волноводов.

Относительное линейное расширение $dL/L_0 = (60...80)10^{-6}$ изменялось несущественно в диапазоне 0...100 °С для волновода сечением $5,2 \times 2,6$ мм, при этом α принимал значения в зависимости от температуры (табл. 1).

Изменения α в сторону отрицательных значений, а затем в сторону положительных значений связано с пластической деформацией и релаксацией дефектов кристаллической решетки в диапазоне 100...140 °С, α изменялся более быстро в сторону увеличения, достигая $1,75 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ при $t > 100$ °С.

Для волновода малого сечения $3,6 \times 1,8$ мм значения α представлены в табл. 2.

Увеличение значения α для волновода сечением $3,6 \times 1,8$ мм связано с большей деформацией $3,6 \times 1,8$ мм ($\delta_z = 880$ МПа), чем для волновода сечением $5,2 \times 2,6$ мм ($\delta_z = 400$ МПа) при обжатии $\Delta = 0,12$ мм во время изготовления многосторонним деформирование.

Анализ выполненных исследований показывает, что при условии обеспечения $\alpha = (1...2)10^{-6}1/^{\circ}\text{C}$ для волноводов КВЧ-диапазона целесообразно использовать рабочий диапазон температуры 30...100 °С, с деформацией при изготовлении не более 400 МПа.

Библиографический список

1. Трифанов, И. В., Евтушенко В. В. Технологическое обеспечение качества при изготовлении линий передачи энергии антенно-фидерных устройств / И. В. Трифанов, В. В. Евтушенко ; Краснояр. гос. аграрный ун-т. Красноярск, 2006 с.

Таблица 1

T, °C	30	40	60	80	100	140
$\alpha \cdot 10^{-6}1/^{\circ}\text{C}$	-0,4	-0,75	-0,5	0,5	0,7	1,75

Таблица 2

T, °C	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$\alpha \cdot 10^{-6}1/^{\circ}\text{C}$	1,2	1,25	0,2	0,8	1,2	1,5	1,6	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8

I. V. Trifanov, B. I. Ismailov, L. I. Oborina, I. V. Sterehov, A. S. Samoylo

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

DILATOMETRIC DEFINITION OF EHF-BAND WAVEGUIDES CHARACTERISTICS

The results of dilatometric evaluating of the temperature coefficient of linear expansion of waveguides EHF-band are presented.

© Трифанов И. В., Исмаилов Б. И., Оборина Л. И., Стерхов И. В., Самойло А. С., 2009

Д. М. Турилов, И. А. Ларкина

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АБРАЗИВНО-ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ
В SOLIDWORKS***

Абразивно-экструзионная обработка (АЭО) заключается в продавливании полимерной основы с абразивными зернами через обрабатываемый канал. Непостоянство процесса обработки создает сложность в определении оптимальных режимов резания. Использование модуля гидродинамического анализа SolidWorks Flow Simulation в среде программного комплекса SolidWorks позволяет моделировать течение рабочей среды при АЭО и получать данные, необходимые для расчетов и исследования процесса.

Абразивно-экструзионная обработка происходит за счет контакта потока абразивных зерен с обрабатываемым твердым телом. Главным движением резания при этом является перемещение абразивных зерен, внедренных в вязкоупругую связку с полимерной основой, внутри обрабатываемого канала. Скорость резания и продольная подача при АЭО определяются динамическими характеристиками потока среды, т. е. ее вязкостью. Глубина резания зависит от степени закреплённости абразивного зерна в среде, т. е. упругих свойств среды. Вязкоупругие свойства среды взаимосвязаны и зависят как от состава среды, так и от режимов течения.

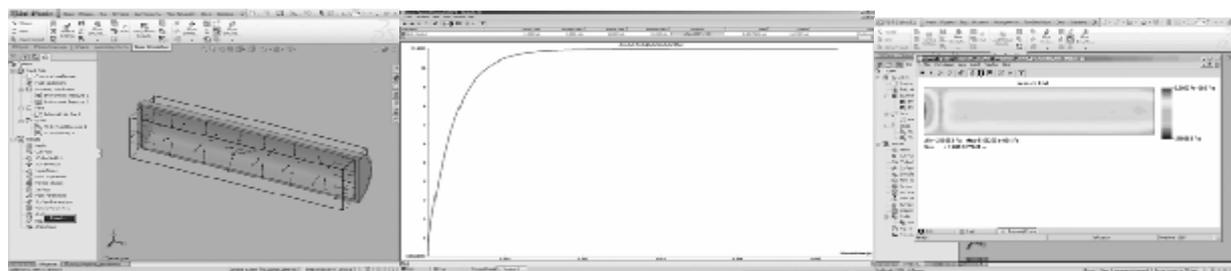
Очевидно, что основным объектом исследования при моделировании процесса АЭО является поток рабочей среды. Поскольку движение рабочей среды происходит по законам гидродинамики, расходно-напорные характеристики потока можно рассчитывать при помощи системы дифференциальных уравнений в частных производных из динамики жидкостей. Такой расчет позволяет получать приближенные характеристики распределения скорости и давления потока, однако математическое моделирование процесса АЭО сопряжено со значительными трудностями. Эти трудности связаны, прежде всего, с неньютоновским характером рабочей среды, ее изменяемым поведением. В связи с этим, актуальность приобретают поиски подходов, позволяющих упростить и унифицировать алгоритмическую процедуру численного решения.

SolidWorks Flow Simulation (COSMOSFloWorks) является модулем гидродинамического анализа в среде программного комплекса SolidWorks и предназначена для моделирования трехмерных течений жидкости, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики. Модуль предоставляет возможность получать результаты расчета сразу как для массива решений (графики), так и точные значения параметров, зависящие от входных величин, позволяет производить моделирование каналов различной конфигурации (в том числе и сложных), обладает удобным графическим интерфейсом. Пример моделирования течения рабочей среды в канале круглого сечения представлен на рисунке.

Расчетная модель потока рабочей среды АЭО в COSMOSFloWorks основана на изменении динамической вязкости неньютоновской жидкости и опирается на степенной реологический закон состояния. Данный закон хорошо описывает кривые течения большого количества различных жидкостей в достаточно широких диапазонах изменения напряжений сдвига (τ) и для случая неньютоновской жидкости имеет вид

$$\tau = k (\dot{\gamma})^n, \quad (1)$$

где k – мера консистенции жидкости (чем меньше текучесть, тем больше k); $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига; n – показатель степени, часто называемый индексом течения (характеризует степень отклонения кривой течения неньютоновской среды от «кривой течения» ньютоновской жидкости).



Пример моделирования течения рабочей среды в канале круглого сечения в модуле COSMOSFloWorks

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные, научно-педагогические кадры инновационной России».

Степенной закон (1) можно преобразовать следующим образом:

$$\tau = k \left(\frac{d\omega_z(x)}{d(x)} \right)^{n-1} \mu_a \left(\frac{d\omega_z(x)}{d(x)} \right) \quad (2)$$

где $\mu_a \left(\frac{d\omega_z(x)}{d(x)} \right)$ – кажущаяся квазиньютоновская вязкость, которую для случая одноосного сдвигового течения можно выразить соотношением

$$\mu_a = \frac{\tau}{\frac{d\omega_z(x)}{d(x)}} = k \left(\frac{d\omega_z(x)}{d(x)} \right)^{n-1}. \quad (3)$$

Если за направление движения потока принять ось z , то скорость сдвига будет равна

$$\frac{d\omega_z(x)}{d(x)}, \quad (4)$$

где ω_z – скорость течения вдоль оси z ; x – поперечная координата, направленная перпендикулярно к оси z .

Используя выражение (4) формулу (3) можно привести к виду

$$\mu_a = k \left(\frac{d\omega_z(x)}{d(x)} \right)^{n-1}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что расчет динамических характеристик работы среды в COSMOSFloWorks производится на основе распределения скорости потока по длине обрабатываемого канала и находится в зависимости от величины динамической вязкости.

Моделирование течения рабочей среды в канале может быть выполнено вместе со специальными насадками, направляющими устройствами, что делает данный метод расчетного моделирования особенно эффективным при исследованиях реологических свойств процесса. Результаты экспериментов расчетного моделирования с большой точностью совпадают с экспериментально полученными в лаборатории СибГАУ графиками распределений, что доказывает правильность выбора средства моделирования.

D. M. Turilov, I. A. Larkina

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

ABRASIVE-FLOW PROCESS MODELLING IN SOLIDWORKS

Abrasive-flow process (AFP) is carried out with cutting process that occurs when polymer base with abrasive seeds are flowing inside working canal. It is complexity to set optimal machining conditions because processing is not consistent. The Hydrodynamic analyzer module SolidWorks Flow Simulation usage makes it possible to create working media flowing models for data calculations and research.

© Турилов Д. М., Ларкина И. А., 2009

УДК 621.757

В. Д. Утенков, К. И. Лалетин, М. В. Утенков, Т. А. Тумакова, А. В. Казаков

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЬБОВОГО КРЕПЕЖА НА КАЧЕСТВО ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматриваются вопросы связи качества изготовления деталей резьбового крепежа с точностью обеспечения заданного усилия затяжки соединения при его контроле по величине крутящего момента на ключе. Определено влияние точностных параметров крепежа на величину погрешности контролируемого крутящего момента на ключе.

Надежность и долговечность машин и механизмов во многом определяется качеством сборки. Сборка резьбовых соединений является самой распространенной сборочной операцией (до 50 %), а ее качество определяет качество изделия в целом.

Основным показателем качества сборки является равномерность и стабильность затяжки соединений, контролируемая по величине крутящего момента. При расчете необходимого момента

M_z для создания заданного усилия затяжки Q_z первостепенное значение имеет правильное значение величины коэффициента трения в резьбе $f_{тр}$, который зависит от площади контакта витков резьбы болта и гайки, удельного давления на витках и зазора в соединении, зависящих от точности изготовления резьбовых деталей.

Для определения влияния параметров резьбовых соединений на точность усилия затяжки был

проведен анализ качества изготовления резьбовых деталей М10, сопрягаемых по посадке Н6/г6, который показал, что зазор по среднему диаметру резьбового соединения изменяется от $S_{\min} = 0,08$ мм до $S_{\max} = 0,3$ мм; рабочая высота профиля резьбы изменяется от $H_{\min} = 0,375$ мм до $H_{\max} = 0,535$ мм; изменение внутреннего диаметра резьбы болта составляет $\Delta d_1 = 0,175$ мм.

Изменение рабочей высоты профиля приводит к изменению площади контакта, что приводит к изменению удельного давления на витке резьбы в пределах ± 32 %; разброс величины внутреннего диаметра болта приводит к ошибке расчетного значения усилия затяжки в пределах $\pm 6,5$ %

без учета погрешности конкретного метода и способа контроля. Такое изменение внутреннего диаметра болта ведет к погрешности усилия затяжки резьбового соединения даже при прямом контроле величины деформации тела болта в пределах ± 10 %.

Таким образом, для обеспечения высокой точности и равномерности затяжки ответственных резьбовых соединений с контролем по величине крутящего момента на ключе резьбозавертывающего инструмента необходимо знать качество изготовления резьбового крепежа, что позволит учесть его отклонения при расчете заданного усилия затяжки.

V. D. Utenkov, K. I. Laletin, M. V. Utenkov, T. A. Tumakova, A. V. Kazakov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

INFLUENCE OF ACCURACY OF MANUFACTURING OF CARVING FIXTURE ON QUALITY OF A TIGHTENING OF SCREW CONNECTIONS

The questions presented in the work are ones about communication of manufacturing quality of details of carving fixture with accuracy of maintenance of the set effort of an tightening at its control over size of the twisting moment on a key. Influence of precision parameters of fixture on size of an error of the controllable twisting moment on a key is determined at assembly of units of flying devices.

© Утенков В. Д., Лалетин К. И., Утенков М. В., Тумакова Т. А., Казаков А. В., 2009

УДК 621.88.088

В. Д. Утенков, Д. П. Попов, М. В. Утенков

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И РАВНОМЕРНОСТИ ЗАТЯЖКИ ГРУППОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматриваются вопросы повышения равномерности затяжки групповых резьбовых соединений в условиях автоматизированной сборки. Приведены результаты испытаний резьбозавертывающего оборудования с предельными муфтами крутящего момента на ключе и с системой активного контроля усилия затяжки по величине момента затяжки и определены его технологические возможности.

Надежность и работоспособность резьбовых соединений в конструкциях машин определяется качеством их затяжки, которая характеризуется следующими показателями: величиной предварительной затяжки; точностью достижения этой величины при сборке на каждом одиночном соединении; равномерностью затяжки групповых резьбовых соединений; стабильностью затяжки в процессе эксплуатации. Если первый и четвертый показатели зависят от правильности принятия конструкторского решения из условий прочности, плотности соединений и выбора материалов резьбовых деталей, то второй и третий показатели обеспечиваются технологически, выбором средств и методом контроля усилия затяжки.

В условиях автоматизированного производства, при сборке резьбовых соединений, наиболее широкое применение нашло резьбозавертывающее оборудование с контролем усилия затяжки по величине момента, развиваемого на ключе и ограничиваемого различными типами муфт, более точными из которых являются пневмоинструменты, оснащенные предельными муфтами (коэффициент относительной неравномерности по моменту $\gamma_M = 0,08 \dots 0,15$ и усилию $\gamma_Q = 0,12 \dots 0,25$ затяжки) [1; 2]. Наиболее эффективным методом повышения равномерности затяжки групповых резьбовых соединений является применение оборудования с системами активного контроля мо-

мента [2], для чего была предложена конструкция пневмогайковерта с системой активного контроля крутящего момента на ключе.

Для определения технологических возможностей предложенного резьбозавертывающего оборудования были проведены сравнительные испытания по точности достижения и равномерности усилия затяжки с пневмогайковертом (как наиболее точным), оснащенным предельной муфтой. Испытывались одиночные гайковерты и многошпиндельные установки, смонтированные на их основе. Испытания проводились по стандартной методике, а обработка полученных данных осуществлялась с использованием методов математической статистики [3].

При проведении испытаний были получены следующие данные: для устройств с предельной муфтой величина контролируемого момента затяжки при испытаниях одношпиндельного гайковерта была стабильна в пределах $\pm 9\%$, что сопровождается неравномерностью усилия затяжки в пределах $\pm 13,5\%$ ($\gamma_M = 0,09$; $\gamma_Q = 0,14$); для многошпиндельной установки были получены $\gamma_M = 0,121$ и $\gamma_Q = 0,215$, что соответствует в процентах изменению неравномерности, по сравнению с одношпиндельной установкой, момента на $\pm 17\%$, а усилия затяжки на $\pm 27\%$; неравномерность затяжки соединений гайковертом с системой активного контроля составила по моменту $\pm 3\%$ и по усилию $\pm 4,5\%$ ($\gamma_M = 0,029$; $\gamma_Q = 0,045$); для многошпиндельной установки с системой активного контроля были получены $\gamma_M = 0,069$ и $\gamma_Q = 0,125$, что в процентном соотношении составляет по моменту $\pm 7,5\%$, а по усилию $\pm 11,6\%$; центры группирования распределений величин моментов и усилий затяжки во всех случаях проведения испытаний для устройств с предельными муфтами сдвинуты в сторону уменьшения заданной величины контролируемого параметра, что можно объяснить принципом работы таких механизмов; результаты испытания гайковерта с пре-

дельной муфтой хорошо согласуются с данными научно-технической литературы [1].

Таким образом, анализируя полученные результаты испытаний, можно сделать следующие выводы: в условиях автоматизированного сборочного производства ответственных групповых резьбовых соединений, при использовании резьбозавертывающего оборудования с предельными муфтами крутящего момента, невозможно достичь заданного качества их затяжки без применения дополнительных мер по контролю усилия затяжки и их дотяжки до заданной величины; наиболее эффективным путем повышения качества сборки ответственных групповых резьбовых соединений является применение сборочного оборудования с системами активного контроля усилия затяжки, что позволяет снизить неравномерность их затяжки почти в три раза по сравнению с наиболее точным оборудованием, применяемым на сборочных линиях; независимо от применяемого оборудования, метода контроля усилия затяжки и его точности невозможно достичь полной равномерности затяжки групповых резьбовых соединений без учета их конструктивных особенностей и условий сборки [3; 4].

Библиографический список

1. Новиков, М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. М. : Машиностроение, 1980.
2. Ланщиков, А. В. Технология и оборудование автоматизированной сборки резьбовых соединений / А. В. Ланщиков. В. Б. Моисеев. Пенза : Пенз. гос. ун-т, 1999.
3. Утенков, В. Д. Влияние технологических факторов на точность и равномерность усилия затяжки ответственных резьбовых соединений в условиях автоматизированной сборки : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Д. Утенков. М. : МАМИ, 1984.
4. Иосилевич, Г. Б. Затяжка и стопорение резьбовых соединений : справ. / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Ю. В. Шарловский. М. : Машиностроение, 1985.

V. D. Utenkov, D. P. Popov, M. V. Utenkov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

ACCURACY AND UNIFORMITY INCREASE OF THE TIGHTENING OF CLUSTERED SCREW JOINT

The article is concerned with the questions of uniformity increase of the tightening of group carving connections in conditions of the automated assembly. The test results of the thread calipers equipment with limiting clutch of the twisting moment on a key and with the active control system of tightening force on the size of the tightening moment are presented and technological opportunities are determined.

© Утенков В. Д., Попов Д. П., Утенков М. В., 2009

УДК 669.056.9

А. В. Чумакова, А. В. Доброва, Л. С. Мачалин, Н. А. Амельченко, С. В. Михайлов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Рассмотрена возможность упрочнения поверхностного слоя инструментальных материалов с применением высококонцентрированных источников нагрева. Проведены исследования по оценке эксплуатационных характеристик упрочненной поверхности.

Одним из направлений критических технологий в производстве авиационной и космической техники является широкое использование электронных, фотонных и ионно-плазменных источников энергии для формирования поверхностного слоя деталей с заранее заданными свойствами, что может обеспечить многократное повышение надежности деталей машин, инструмента и других изделий [1].

Особую значимость при этом приобретают методы модифицирования свойств рабочих поверхностей изготавливаемых изделий. Среди известных, широко применяемых на практике методов поверхностного упрочнения, следует выделить закалку сплавов из твердого и жидкого состояния с применением различных источников нагрева, в том числе, лазерного и электронного лучей, химико-термическую обработку, нанесение защитных покрытий разного функционального назначения, наплавку и др. [2].

Однако применение этих методов становится малоэффективным при упрочнении деталей, работающих в условиях воздействия высоких удельных нагрузок, повышенных температур, радиационных и электромагнитных излучений, коррозионных и агрессивных сред. Кроме того, выявлено, что для покрытий, формируемых с применением газотермических методов, характерен ряд недостатков, в частности, низкая прочность самого слоя и его адгезия к основе, высокая пористость, недостаточная коррозия, износостойкость и др.

Более высокой твердостью, износостойкостью, прочностью, электросопротивлением, коррозионностойкостью и магнитной проницаемостью обладают материалы с аморфной структурой, физико-механические свойства которых существенно отличаются от своих аналогов с кристаллическим строением. Практикой показано [3], что переход из кристаллического строения в аморфную структуру в деталях из металлических сплавов возможен при интенсивном локальном нагреве поверхности и последующем быстром ее охлаждении со скоростью не ниже $10^5 \dots 10^8$ К/с.

Для кратковременного воздействия на поверхность детали часто используют лазерный луч с плотностью мощности излучения $100 \dots 200$ МВт/м.

При осуществлении процесса локального расплавления поверхности место взаимодействия излучения с металлом должно быть защищено от окружающего воздуха потоком нейтрального газа. В противном случае не исключается нарушение стехиометрии в поверхностном слое и образование карбидных соединений, что существенно снижает перспективность применения данного метода.

В настоящей работе рассматривалась возможность поверхностной обработки с целью повышения износостойкости инструментальных и легированных сталей (Р6М5, 9ХФ, 40Х13, 5Х15М1Ф и др.) с применением электронно-лучевого источника нагрева. Предварительные эксперименты проведены с целью отработки технологических режимов поверхностного упрочнения и определения необходимого оборудования. Для реализации процесса использовалась установка электронно-лучевой сварки ЭЛУ-5. Процесс обработки поверхности осуществляется в вакуумной камере при давлении 10^{-5} Па, что исключает возможность протекания окислительных реакций.

Исследованиями установлено, что основными технологическими режимами при обработке являются: ускоряющее напряжение $U_{\text{уск}}$, ток луча I , удельная мощность q в точке взаимодействия потока электронов и материала, форма зоны нагрева, длительность воздействия и скорость последовательного перемещения луча относительно обрабатываемой поверхности изделия. На основании экспериментов проведена отработка технологических режимов, получены положительные результаты.

В процессе обработки с помощью специального устройства осуществлялось сканирование электронного луча диаметром 1 мм по поверхности, согласно разработанной схеме, что позволило увеличить зону обработки до 20 мм. С целью расширения технических возможностей процесса предполагается в дальнейшем осуществлять перемещение обрабатываемых деталей относительно источника нагрева по заданной программе. При этом не исключается возможность обеспечения одновременного вращения детали, что потребует доработки технологической оснастки.

Исследования экспериментальных образцов, изготовленных из стали 5Х15М1Ф, показали, что упрочнение электронным лучом способствует увеличению твердости поверхности до 52...54 HRC. Глубина упрочненного слоя при этом составляет 0,25...0,30 мм. Износостойкость обработанной поверхности увеличилась в 2 раза. Исследования микроструктуры подтверждают фазовые изменения, происходящие в упрочненном слое.

Предполагается, что увеличение интенсивности охлаждения зоны локального нагрева может способствовать уменьшению данного параметра и, следовательно, в этом случае не исключается возможность образования аморфной структуры в поверхностном слое.

На основании выполненных предварительных экспериментов можно отметить полученный положительный эффект и перспективность

данного метода для повышения износостойкости, ресурса и надежности деталей машин и других изделий. Влияние поверхностного упрочнения на повышение износостойкости режущего инструмента является предметом дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Селиванов, С. Г. Закономерности технологического перевооружения авиационного производства / С. Г. Селиванов, Ю. Л. Пустовгаров и др. // Полет. 2006. № 12. С. 15–26.

2. Кравцов, В. И. Металлосберегающие высокоэффективные технологические процессы в машиностроении / В. И. Кравцов. Фрунзе, 1987.

3. Золотухин, И. В. Физические свойства аморфных металлических материалов / И. В. Золотухин. М.: Металлургия, 1986.

A. V. Chumakova, A. V. Dobrova, L. S. Machalin, N. A. Amelchenko, S. V. Mihailov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

INCREASING OF WEAR RESISTANCE OF MACHINE COMPONENTS SURFACE

On the tapis is a capacity of tool material surface hardening with the application of highly concentrated heating source. There was a performed research on the merit rating of hardened surface.

© Чумакова А. В., Доброва А. В., Мачалин Л. С., Амельченко Н. А., Михайлов С. В., 2009

УДК 621

Т. С. Шишкина, В. Г. Смелов, Н. Д. Проничев, О. С. Сурков

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королева, Россия, Самара

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассматривается использование интегрированных САПР для создания сложной технологической оснастки при организации сквозного производства. Проводится анализ эффективности разработанной методики в реальном производстве и даны рекомендации для более эффективного применения.

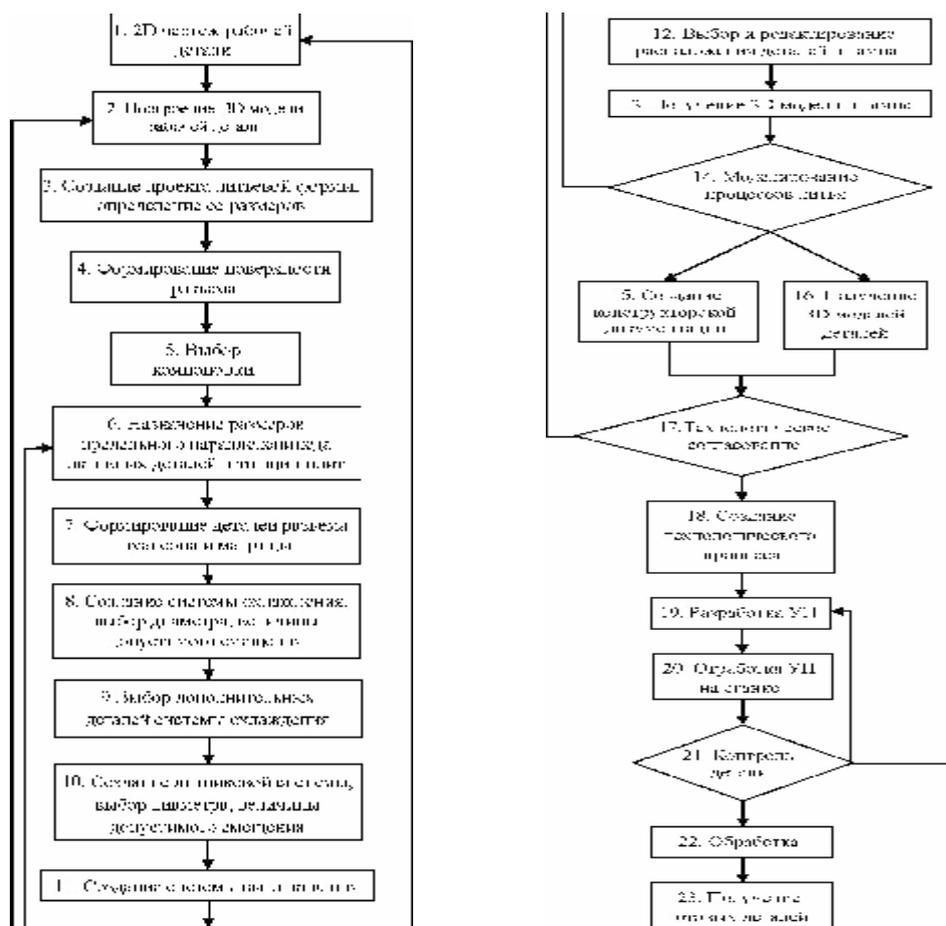
В центре САМ-технологий была разработана методика создания литейной формообразующей оснастки (см. рисунок).

Обоснованием выбора программного продукта стала необходимость обеспечения информационной интеграции специалистов, участвующих в проектно-конструкторских и технологических работах, а также наличие в системе модуля проектирования литейной оснастки. Таким образом, для создания литейного штампа по разработанной методике была выбрана программа Simatрон – CAD/CAM-система, построенная на концепции From Data to Steel («От данных до металла») и

наиболее приемлимая для всех специалистов, участвующих в данном процессе.

В качестве исходных данных был создан чертеж рабочей детали. Согласно методике, сначала была получена объемная модель детали в 3D-модуле.

Согласно п. 3 разработанной методики (см. рисунок) был создан проект литейной формы: определены габаритные размеры, выбрана компоновочная деталь на две рабочие детали, расположенные по окружности, при этом были учтены характеристики литейной машины, для которой разрабатывался штамп (размеры рабочей области, мощность подачи расплава).



Методика создания литейной формообразующей оснастки

Согласно п. 5 разработанной методики, был выбран формопакет, при этом использовалась программа установок плит формопакета: назначен тип компоновки плит, заданы предельный параллелепипед активных деталей, толщины плит. Предельный параллелепипед активных деталей был выбран, исходя из габаритов ранее выбранной компоновочной детали. Программа установки плит формопакета автоматически выбирает из каталога все компоновочные детали штампа, соответствующих размеров. Если конструктор не устраивает выбор автоматического компоновщика, он может скорректировать его работу как до окончания формирования штампа, так и после. Так же затруднения возникают в том случае, когда в каталоге отсутствуют детали плит необходимых габаритов, тогда после завершения операции компоновки, конструктор может выбрать нестандартную деталь, самостоятельно задать размеры и сохранить эту деталь в каталоге. Создание библиотек материалов и деталей должно производиться на этапе подготовки рабочего места специалиста, чтобы обеспечить наибольшую автоматизацию.

Далее, согласно п. 8 разработанной методики, была спроектирована система охлаждения: в

формообразующей плите неподвижной стороны создан эскиз системы охлаждения, задан максимальный диаметр объектов охлаждения, величина смещения, из каталога деталей выбраны дополнительные детали охлаждения.

На данном этапе конструктор должен предусмотреть, каким инструментом и в какой последовательности будут обрабатываться каналы охлаждения.

Согласно пп. 10 и 11 разработанной методики, были созданы литниковая система и детали системы выталкивания. На этом этапе также были учтены характеристики литейной машины: устройство автоматов впрыска расплава и разъема штампа.

После того как была получена 3D-модель штампа, следуя пп. 14–17 разработанной методики, было проведено компьютерное моделирование процессов литья для выявления конструкторских ошибок и совершенствования конструкции. После внесения исправлений из объемной модели штампа получены конструкторская документация и 3D-модели деталей штампа. На основании этих данных было проведено технологическое согласование, что позволило повысить технологичность конструкции. При этом важно заметить, что

программа Cimatron позволяет редактировать проект на любой стадии, что значительно облегчает этапы согласования и доводки.

С учетом всех внесенных изменений, согласно разработанной методике, был создан технологический процесс и разработаны управляющие программы обработки на станке с ЧПУ в САМ-модуле системы Cimatron. Управляющие программы были отработаны на станках с ЧПУ, в результате чего были получены детали. По результатам контроля размеров деталей были скоррек-

тированы данные, полученные на этапе конструкторского проектирования, и управляющие программы. Далее, с учетом всех внесенных изменений, произведена обработка на станках с ЧПУ и изготовлены детали штампа. При этом была обеспечена информационная интеграция специалистов, участвующих в проектно-конструкторских и технологических работах.

Использование данной методики позволяет сократить время создания литейной формы с трех месяцев до одного.

T. S. Shishkina, V. G. Smelov, N. D. Pronichev, O. S. Surkov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev, Russia, Samara

FORMING TOOL DESIGN WITH USING OF INTEGRATED INFORMATION SYSTEMS

The paper describes the use of integrated CAD system for creating complex of Technology for snap-through-manufacturing organizations. The analysis of the effectiveness of the developed procedure in the actual production is shown and recommendations for more effective application are given.

© Шишкина Т. С., Смелов В. Г., Проничев Н. Д., Сурков О. С., 2009

УДК 544

М. С. Эльберг, В. П. Жереб

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СТЕКОЛ В СИСТЕМЕ PbO–GeO₂

Изучены условия и кинетика кристаллизации стекол в системе PbO–GeO₂ при нагревании и в изотермических условиях. Исследована термическая устойчивость и определена последовательность фазовых превращений трех германатных стекол, содержащих 30, 50 и 60 мол. % PbO, рассчитана энергия активации. Показано, что условия получения стекла влияют на процесс его кристаллизации. Процесс кристаллизации стекла в интервале температуры 450...650 °С можно рассматривать как перспективный способ получения керамических материалов в этой системе.

Кристаллизация стекол различных составов в системе PbO–GeO₂ изучалась многими исследователями. Однако в этих работах мало внимания уделялось кристаллизации метастабильных фаз и формированию промежуточных состояний, а также их связи с диаграммой метастабильного равновесия в этой системе [1].

В работе использованы дифференциально-термический (ДТА) и рентгенофазовый (РФА) анализы. Образцы стекол получены закалкой расплава, образованного плавлением диоксида германия и оксида свинца квалификации ос.ч. в платиновых тиглях. ДТА стекла с содержанием 70 мол. % оксида германия проводили при нагревании с последующим охлаждением со скоростями обоих процессов 2, 3,5; 5, 10, 15 град./мин для пластинок и капель отдельно. Для стекол другого

состава скорости нагревания и охлаждения были 3, 5, 10, 15 град./мин.

При нагревании стекла состава 70GeO₂–30PbO, сформированного в пластинки, наблюдаются два эндотермических эффекта при 745 и 850 °С, которые полностью согласуются с диаграммой стабильного равновесия Е. И. Сперанской и относятся к эвтектической реакции с участием PbGe₄O₉ и PbGeO₃ и перитектическому распаду PbGe₄O₉. Для пластинки стекла при скорости процесса 2 град./мин наблюдается 1 тепловой эффект при $T = 563$ °С. Далее при увеличении скорости процесса до 3,5 град./мин фиксируются 2 эффекта при $T = 562$ °С и $T = 569$ °С. При дальнейшем увеличении скорости процесса до 5 и 10 град./мин проявляются эффекты при $T = 565$ и 583 °С, и $T = 576$; 589 ; 603 °С соответственно.

При увеличении скорости процесса до 15 град./мин уменьшается число эффектов до двух при $T = 595$ и 603 °С.

Для капли стекла при скорости процесса 2 град./мин наблюдается один тепловой эффект при $T = 553$ °С. При дальнейшем увеличении скорости процесса до 5 и 10 град./мин показаны эффекты при $T = 553$; 572 и 581 °С, и $T = 563$, 569 , 585 °С. При увеличении скорости процесса до 15 град./мин уменьшаются число эффектов до двух при $T = 583$ и 614 °С. При кристаллизации стекла этого состава происходит последовательное фазообразование соединений $PbGeO_3$ и $PbGe_4O_9$, которое завершается около 600 °С. Последующие эндотермические превращения относятся к эвтектической реакции с участием указанных соединений и перитектическому распаду $PbGe_4O_9$ соответственно.

Энергия активации кристаллизации стекла рассчитана для пластинок и капель из графической зависимости логарифма скорости нагрева от обратной температуры кристаллизации. Кажущаяся энергия активации кристаллизации для пластинки стекла составляет 261 кДж/моль, а для капли – 134 кДж/моль, то есть способ получения влияет на процесс кристаллизации стекла.

ДТА показал, что для стекла состава $50GeO_2-50PbO$ при увеличении скорости процесса до 5, 10 и 15 град./мин сохраняется такая же последовательность эффектов, меняется только их величина и температура. Кристаллизация полученного расплава при охлаждении от температуры 1100 °С происходит при 620 °С с большим переохлаждением и сопровождается образованием метаста-

бильной фазы того же состава. Энергия активации данного процесса составляет 325 кДж/моль.

Нагревание стекла состава $40GeO_2-60PbO$ сопровождается одновременной экзотермической кристаллизацией фаз $Pb_5Ge_3O_{11}$ и $PbGeO_3$, с последующим плавлением получившихся кристаллов в соответствие с фазовой диаграммой стабильного равновесия. Определено, что энергия активации процесса кристаллизации для данного стекла составляет 532 кДж/моль.

Для всех стекол наблюдается небольшой эндоэффект, который соответствует предкристаллизационному процессу размягчения стекла, зарождению центров кристаллизации, образованию нанокристаллов и их росту с последующим переходом в экзотермический процесс фазового превращения стекла – его кристаллизации.

Выполненное исследование показало, что стекло состава $40GeO_2-60PbO$ кристаллизуется с образованием фаз $Pb_5Ge_3O_{11}$ и $PbGeO_3$, стекло состава $50GeO_2-50PbO$ – с образованием фазы $PbGeO_3$, а стекло состава $70GeO_2-30PbO$ – с образованием фаз $PbGe_4O_9$ и $PbGeO_3$.

В условиях изотермической кристаллизации стекла, получены образцы керамики, обладающие твердостью, близкой к твердости циркониевой керамики заводского производства.

Библиографический список

1. Жереб, В. П. Фазовые отношения в метастабильном равновесии в системе $PbO-GeO_2$ / В. П. Жереб, В. И. Кирко, Л. С. Тарасова и др. // Неорганическая химия. 2008. № 2. Т. 53. С. 356–361.

M. S. Elberg, V. P. Zhereb

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

CRYSTALLIZATION OF GLASSES IN SYSTEM $PbO-GeO_2$

Conditions and kinetics crystallization of glasses in system $PbO-GeO_2$ are studied at heating and in isothermal conditions. Thermal stability is investigated and the sequence of phase transformations of three germanium glasses a containing 30, 50 and 60 pier is certain. % PbO , energy of activation is calculated. It is shown, that conditions of reception of glass influence process of its crystallization. Process of crystallization of glass in an interval of temperature $450-650$ °C can be considered as a perspective way of reception of ceramic materials in this system.

© Эльберг М. С., Жереб В. П., 2009

К ВОПРОСУ О КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ ЗАСАЛЕННОГО СЛОЯ

Отражены перспективы применения метода комбинированного электроалмазного шлифования в аэрокосмической области, а также проблема образования засаленного слоя на поверхности алмазных шлифовальных кругов. Затронуты основные аспекты кристаллического строения засаленного слоя и пути определения его структуры.

В аэрокосмической отрасли шлифование, как способ окончательной обработки деталей, является одной из основных и ответственных технологических операций для получения высоких качественных показателей обработанной поверхности, что ведет к повышению эксплуатационных характеристик и увеличению ресурса готовых изделий, работающих в жестких условиях.

Одним из перспективных способов обработки, по данным многочисленных источников, можно считать метод комбинированного электроалмазного шлифования алмазными кругами на металлической связке, обладающего рядом преимуществ, в сравнении с обычным шлифованием, и позволяющим обрабатывать современные сверхтвердые и труднообрабатываемые материалы.

Главной из причин, влияющих на режущую способность шлифовальных кругов и снижающих работоспособность, является их засаливание. Установлено, что круг теряет режущие свойства не из-за изнашивания алмазных зерен, а непосредственно ввиду засаливания режущей поверхности круга [1; 2]. В работе [2] отмечается, что алмазные круги на металлических связках при шлифовании, особенно без СОЖ, интенсивно засаливаются и практически за несколько минут теряют свою работоспособность. Об этом же свидетельствуют результаты, приведенные в работе [3].

Сделана попытка, объяснить механизмы засаливания с помощью рентгеноструктурных исследований. Для установления фазовых превращений при электроалмазном шлифовании проведено рентгеноструктурное исследование твердых сплавов Т15К6. В результате установлено, что поверхность круга до и после шлифования имеет одну и ту же структуру. Все линии на рентгенограммах индицируют гексагональную структуру для карбида вольфрама (WC), ГЦК – структуру для карбида титана (TiC) и ГПУ – структуру для кобальта (Co). Никаких других линий, свидетельствующих о наличии какой-либо новой фазы, на рентгенограммах не прослеживается [3]. В ре-

зультате аналогичного анализа рентгенограмм твердых сплавов ВК6, ВК8, ВК15 после электроалмазного шлифования при различных режимах обработки, установлено наличие только фаз карбида вольфрама WC и β -Co.

Очевидно, что при шлифовании этих сплавов в шламе и засаленном слое должны присутствовать как элементы твердого сплава, так и элементы шлифовального круга, которые и проявляются на рентгенограммах в виде рефлексов. В определенной мере, это подтверждается в работе [2], где приводятся рентгенограммы поверхности круга АС6 125/100 М2-01 – 100 % до шлифования и после шлифования твердых сплавов Т15К6 (WC – 79 %, TiC – 15 %, Co – 6 %) и сплава ВК8 (WC – 92 %, Co – 8 %). В связку М2-01 входят Cu, Al, Zn. Длина волны рентгеновского излучения Co (K_{α}): $\lambda = 1,7902 \text{ \AA}$.

Анализируя рентгенограммы можно сделать следующие выводы:

1) засаленный слой имеет кристаллическую структуру, следовательно, возможно определить кристаллическую решетку соединений и межплоскостные расстояния в решетках соответствующих типов, для которых имеются рефлексы на рентгенограммах;

2) появились рефлексы от новых соединений W_2C , TiO_2 , WO_3 , WSi – при шлифовании сплава Т15К6 и W_2C , WSi_2 , CoO, $CuAl_2$ – при шлифовании сплава ВК8.

В соответствии со справочником [4] определяется кристаллическая структура полученных соединений. Кубическую структуру имеют C (алмаз), Si, Ni, Al, CoO, TiC; гексагональную структуру: C (графит), WC, W_2C , β - Al_2O_3 , $NaNO_3$, Ni_3C , Zn; тетрагональную: TiO_2 , WO_3 , SnO_2 , WSi_2 , $CuAl_2$. После расшифровки кристаллической структуры определено количество атомов в элементарной ячейке, координационные числа и химические связи. Если точность определения координат атомов достаточно высока, то можно предсказать распределение валентных электронов в кристалле и тип связи.

Структуры многих металлов и их сплавов имеют кубические, гексагональные, тетрагональные и ромбические структуры, поэтому анализ их рентгенограмм и расчет параметров элементарной ячейки не представляет трудностей, если каждой линии (рефлексу) приписан правильный индекс Миллера (hkl), то ошибка полученных результатов не превышает 1 %.

Рефлексы на рентгенограммах не могут появиться (погаснуть) по двум причинам: либо из-за каких-либо нарушений в структуре решетки, либо в связи с конкретным типом решетки. Отсутствие рефлексов по второй причине называется систематическим погасанием. Например, для ОЦК структуры погасание состоит в том, что атомы, находящиеся в центрах кубических ячеек на половине расстояния между соседними плоскостями (100), рассеивают рентгеновские лучи точно в противофазе по сравнению с атомами, расположенными в плоскостях (200), в вершинах кубической ячейки. Во всем кристалле число атомов, находящихся в таких кристаллографических условиях (в вершинах и центрах ячеек) одинаково. Поэтому рефлексы, отвечающие плоскостям (100), гаснут. В то же время, рефлексы, отвечающие плоскостям (200), усиливаются. Для ОЦК структур появление рефлексов на рентгенограмме будет только тогда, когда сумма индексов (hkl) равна четному числу (т. е. $h + k + l = 2n$). Аналогично, для ГЦК структур появление рефлексов

возможно только тогда, когда все индексы являются либо четными, либо нечетными.

Таким образом, установлено, что засаленный слой имеет кристаллическое строение и оно связано с образованием новых типов связей на уровне кристаллических решеток, как обрабатываемого материала, так и металлической составляющей связки круга. Следовательно, строение и механизмы возникновения промежуточного слоя на рабочей поверхности шлифовального круга сводятся к определению структуры данных соединений по соответствующим плоскостям, проявляющихся на рентгенограммах.

Библиографический список

1. Янюшкин, А. С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов / А. С. Янюшкин. М. : Машиностроение. 2003.
2. Янюшкин, А. С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании / А. С. Янюшкин, В. С. Шоркин. М. : Машиностроение, 2004.
3. Попов, С. А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С. А. Попов, Н. П. Малевский, Л. М. Терещенко. М. : Машиностроение, 1977.
4. Маркин, А. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / А. И. Маркин. М. : Гос. издат. физ.-мат. лит-ры, 1961.

A. S. Yanushkin, P. V. Arhipov

Bratsk State University, Russia, Bratsk

TO THE QUESTION ABOUT THE CRYSTAL STRUCTURE OF THE GREASED LAYER

The article is concerned with a prospect of the application of joint electro-diamond grinding in space area, and also a problem of formation of the greased in a surface of diamond grinding wheel. The basic aspects of a crystal structure of the greased layer and a way of definition of its structure are mentioned.

© Янюшкин А. С., Архипов П. В., 2009

УДК 621.791.793

Ю. О. Филиппов, А. Е. Еремин, А. С. Лосев, Е. Н. Еремин

Омский государственный технический университет, Россия, Омск

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ
ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ЛИТОГО МЕТАЛЛА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ**

Изучена жаропрочность сплава X10H68K5B5Ю5M4T3 в зависимости от модифицирования его карбонитридом титана. Показано, что при модифицировании улучшается морфология и топография упрочняющей γ' -фазы, снижается диффузионная проницаемость границ зерен, что повышает структурную стабильности и длительную прочность сплава.

Жаропрочные никелевые сплавы типа ЖС широко применяются для изготовления литых деталей ответственного назначения, используемых в авиа- и ракетостроении.

Основным процессом производства заготовок из жаропрочных сплавов является литье по выплавляемым моделям в вакуумных индукционных печах. Низкие литейно-технологические свойства жаропрочных сплавов затрудняют получение отливок с высокими эксплуатационными свойствами.

Поэтому разработка новых технологий изготовления деталей из жаропрочных сплавов является актуальной задачей.

В связи с этим были проведены исследования по отработке технологии фасонного электрошлакового литья (ФЭЛ). В комплект оборудования и оснастки, необходимых для осуществления ФЭЛ, входили: установка (печь) электрошлакового литья с источником питания, тигель (плавильная емкость), печь для подогрева форм и устройство заливки металла в форму, обеспечивающее регулирование скорости заливки и разделение металла и шлака. Для исследований был выбран сплав X10H68K5B5Ю5M4T3.

В последние годы для повышения качества литого металла изделий из таких сплавов применяют модифицирование тугоплавкими частицами [1; 2]. В работе в качестве модификатора использовали наночастицы карбонитрида титана и титана [3; 4]. Введение модификатора проводили с помощью брикета-таблетки. Все подготовительные операции, а также изготовление форм осуществляли в соответствии с действующими технологическими процессами изготовления соответствующих деталей.

Сплав X10H68K5B5Ю5M4T3 относится к группе литейных сложнoleгированных многокомпонентных жаропрочных сплавов. Основной упрочняющей фазой является γ' -фаза, представляющая собой интерметаллид $(\text{Ni}, \text{Co})_3(\text{Al}, \text{Ti})$. Поэтому свойства литого сплава определяются его химическим и фазовым составом. Проведенный химический анализ показывает, что по ос-

новным легирующим элементам состав сплава при ФЭЛ изменяется незначительно и укладывается в требования технических условий.

Наилучшее сочетание структуры и свойств сплава X10H68K5B5Ю5M4T3 получено при введении модификатора в количестве 0,025 % при 1,680 °С, выдержке модифицированного сплава не менее 3 мин и разливке при 1600...1620 °С. Результаты испытаний образцов (см. таблицу) показали, что изменение прочности модифицированного сплава имеет тенденцию к большей стабильности показателя и незначительному увеличению абсолютной величины.

Пластичность сплава при 20 °С повышается почти в 2 раза. При повышенных температурах испытаний прочность модифицированного сплава также несколько выше, чем у немодифицированного, а пластичность выше примерно в среднем в 1,6 раза. Это можно объяснить тем, что при температуре 800 °С количество упрочняющей γ' -фазы в этом сплаве при модифицировании увеличивается незначительно, и повышение прочности происходит в результате изменения морфологии карбидов. Анализ макро- и микроструктуры сплава X10H68K5B5Ю5M4T3 показал, что размер макрозерна в модифицированном сплаве составил 1,0...3,5 мм, а в немодифицированном 3...5 мм.

Средний размер карбидов компактной формы в модифицированном сплаве 4–8 мкм, а максимальный до 30 мкм, в то время как у немодифицированного сплава до 100 мкм (в продольном направлении). Очевидно, это и оказывает основное влияние на длительную прочность.

Таким образом, влияние наночастиц карбонитрида титана при модифицировании расплава заключается в стабилизации упрочняющей γ' -фазы, улучшении морфологии карбидов, упрочнении твердого раствора (γ' -фазы) и повышении структурной стабильности литого металла. При этом значительно повышается длительная прочность жаропрочных сплавов, что свидетельствует об увеличении стабильности структуры в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Фаткулин, О. Х. Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов дисперсными частицами тугоплавких соединений / О. Х. Фаткулин, А. А. Офицеров // Литейное производство. 1993. № 4. С. 13–14.

2. Бабаскин, Ю. З. Влияние добавок нитрида циркония на структуру и свойства сплава ЖС6К / Ю. З. Бабаскин, Л. Н. Лариков, С. Я. Шипицин, О. А. Шматко // Жаропрочные и жаростойкие

сплавы на никелевой основе. М. : Наука, 1984. С. 184–187.

3. Сабуров, В. П. Упрочняющее модифицирование стали и сплавов / В. П. Сабуров // Литейное производство. 1998. № 9. С. 7–8.

4. Еремин, Е. Н. Закономерности комплексного модифицирования литого электрошлакового металла / Е. Н. Еремин // Анализ и синтез механических систем. Омск : ОмГТУ, 1999. С. 76–78.

Механические свойства сплава X10N68K5B5Ю5M4T3, полученного ФЭЛ

Состояние металла	Температура испытания, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	Ψ , %
С модифицированием	20	874	1122	13,3	11,7
Без модифицирования	20	823	994	2,3	5,8
С модифицированием	800	827	988	2,9	6,0
Без модифицирования	800	801	916	1,6	3,1
ТУ на сплав	20	–	≥ 1000	$\geq 2,5$	$\geq 6,5$
	800	–	≥ 920	$\geq 2,0$	≥ 5

Y. O. Filippov, A. E. Eremin, A. S. Losev, E. N. Eremin

Omsk State Technical University, Russia, Omsk

APPLICATION OF NANOPARTICLES MODIFYING OF REFRACTORY COMPOUNDS FOR THE QUALITY IMPROVING OF THE CAST METAL OF HIGH-TEMPERATURE METAL PRODUCTS

Refractory resistance of alloy Kh10N68K5V5Y5M4T3 depending on its modifying with titanium carbonitride is investigated. It is specially noted that morphology and topography of g' -phase is improved, diffusion penetration of grain boundaries is reduced what increases structural stability and continuous toughness of alloy.

© Филиппов Ю. О., Еремин А. Е., Лосев А. С., Еремин Е. Н., 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Уважаемые участники конференции	3
Своими делами в космосе он прославил Сибирь и Россию	4
От завода-вуза к исследовательскому университету	6
Ракетная летопись Красмаша	10

Секция

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТЫ»

Автономов Н. Н., Пучнин М. С. Моделирование установки для проведения испытаний элементов конструкции летательных аппаратов методом неразрушающего контроля	13
Анкудинов А. В., Легалов А. И., Ледяев Д. Н., Тестоедов Н. А. Анализ и инструментальное обеспечение вариантного проектирования космических аппаратов	14
Ахатов Р. Х., Однокурцев К. А. Формализованный выбор конструктивной компоновки сборочной оснастки для изделий самолетостроения	16
Бобарика И. О. Проектирование экраноплана схемы «утка» с учетом интерференции его несущих поверхностей	17
Гаврин Д. А. Кометы в исследованиях Ф. А. Бредихина	19
Горностаев А. И., Капустин А. Н., Зубавичус В. А., Колесников С. М. Применение магистрально-модульного принципа при построении бортовой аппаратуры бортового комплекса управления космических аппаратов	20
Гришеленок Д. А., Капустин А. Н., Цветкова О. И. Применение встроенной системы контроля в бортовой аппаратуре космического аппарата	22
Долганов Е. С., Горностаев А. И. Моделирование экранированного гибкого печатного кабеля в системе TALGAT	23
Евтифьев М. Д. Определение технического уровня развития баллистических ракет морского базирования для начальных этапов проектирования	25
Казанцев З. А., Лопатин А. В., Нестеров В. А. Колебания трехслойной пластины со свободными краями	27
Коваленко Г. Д., Спирин А. М. Летательный аппарат с роторным двигателем – альтернатива наземным транспортным средствам	28
Кольчев А. В., Керножицкий В. А. Тепловая защита гиперзвуковых летательных аппаратов с использованием явления термоэлектронной эмиссии	29
Кривель С. М. Исследования вращающихся в набегающем потоке плохообтекаемых тел	31
Кривель С. М., Акулов О. В. Математическое моделирование аэродинамических процессов в полете экраноплана над негладкой подстилающей поверхностью	32
Кузнецов Г. А. Применение и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов	34
Лопатин А. В., Авакумов Р. В. Устойчивость ортотропной пластины с двумя свободными краями, нагруженной изгибающим моментом в плоскости	35
Лопатин А. В., Терещенко Д. М. Симметричные колебания трехслойных пластин с композитными несущими слоями и ортотропным наполнителем	36
Лопатин А. В., Черная Т. С. Устойчивость при изгибе ортотропной пластины с двумя закрепленными сторонами и двумя свободными	38
Рубинов А. О. Отделение от летательного аппарата длинной штанги	39
Рутковская М. А., Малюгин А. С. Проектирование беспилотного летательного аппарата	40
Скопцов Р. Ю. Проектирование низкочастотной кабельной сети полезной нагрузки космического аппарата	41
Фаворский В. С. Применение критерия Неймана к исследованию гистерезиса сверхзвуковых струйных взаимодействий	43
Шестаков И. Я., Веретнова Т. А., Ремизов И. А., Зиборова Н. А. Энергосберегающий способ электроконтактной резки металла	44
Яхненко М. С., Пыхалов А. А. Исследование динамики работы трубопровода напорной трассы гидросистемы современного истребителя	46

Секция
**«КРУПНОГАБАРИТНЫЕ ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ»**

Баслык К. П., Бей Н. А., Вечтомов В. А., Зимин В. Н., Коган Б. Л., Крылов А. В., Мешковский В. Е., Смердов А. А., Чурилин С. А. Особенности реализации раскрывающейся бортовой многолучевой антенны	51
Бельков А. В., Пономарев С. В., Величко А. И. Вопросы моделирования надувного рефлектора	52
Булынин Ю. Л. Анализ выполнения требований Межагентского координационного комитета по предупреждению образования космического мусора	54
Герасимов А. В., Жуков А. П., Кульков С. Н., Пономарев С. В., Христенко Ю. Ф., Халиманович В. И. Моделирование деформационно-прочностных свойств углепластиковых стержневых элементов конструкций	55
Двирный В. В., Вашкевич В. П. Совершенствование контроля качества непроклея	56
Евдокимов А. С., Пономарев С. В., Буянов Ю. И., Романенко А. В., Усманов Д. Б., Шипилов Г. В. Связанный механический и электродинамический расчет трансформируемых космических рефлекторов	57
Кислицкий М. И., Черепанов В. А., Голованова В. В. Создание унифицированного модульного малого космического разгонного блока «Тор» на основе серийного ракетного двигателя твердого топлива	59
Копчегашев А. А., Двирный В. В. Совершенствование сборки каркасов солнечных батарей спутников связи, навигации и геодезии	60
Кочура С. Г., Носенков А. А. О техническом уровне процесса электрических испытаний автоматических космических аппаратов	62
Крылов А. В. Моделирование процесса раскрытия многозвенных солнечных батарей при проведении наземных испытаний	64
Кудрявин Л. А., Беляев О. Ф., Заваруев В. А., Котович О. С., Подшивалов С. Ф. Расчет двумерной деформации металлического трикотажа с помощью нелинейной теории упругости	65
Куренков В. И., Лохматкин В. В. Влияние показателей надежности бортовых систем на показатели выходного эффекта космических аппаратов	66
Леканов А. В., Гурылев А. Б., Черепанов Д. А., Сильченко П. Н., Новиков Е. С. Некоторые возможности управления на этапе проектирования функционально-эксплуатационными показателями зубчатых передач приводов исполнительной автоматики космических аппаратов	67
Пономарев С. В., Жуков А. П., Павлов М. С. Обоснование механического метода определения напряженного состояния элементов трансформируемых рефлекторов	69
Рассолов О. Г., Гончаров К. А., Антонов В. А., Алексеев В. А. Сотовая панель с тепловыми трубами и теплоаккумулирующим материалом	70
Рутковская М. А., Тарасенко А. В. Моделирование телескопической композитной спицы большой космической антенны	71
Сливинский В. И., Вербицкая Н. А., Гайдачук В. Е., Карпикова О. А. Создание энергосберегающих технологий изготовления изделий из полимерных композиционных материалов с повышенными механическими характеристиками	72
Смердов А. А. Возможности управления характеристиками демпфирования композитных элементов крупногабаритных космических ферменных конструкций	74
Смирнов В. А., Максимов И. А., Кочура С. Г., Надирадзе А. Б., Шапошников В. В. Учет индикатрисы распыления материалов при оценках эрозионно-загрязняющего воздействия плазмы стационарных плазменных двигателей на элементы конструкции космических аппаратов	76
Тестоедов Н. А., Долгов Л. В., Двирный В. В., Халиманович В. И., Двирный Г. В. Концепция крупногабаритных трансформируемых конструкций для космических аппаратов	78
Тестоедов Н. А., Халиманович В. И., Михнев М. М., Гусев В. Ю., Сильченко П. Н., Кудрявцев И. В. Обеспечение конструкторских решений при проектировании паяных волноводно-распределительных систем космических аппаратов	80
Тестоедов Н. А., Халиманович В. И., Михнев М. М., Гусев В. Ю., Сильченко П. Н., Кудрявцев И. В., Иванов В. И. Обеспечение технологии изготовления паяных волноводно-распределительных систем космических аппаратов	82

Тестоедов Н. А., Косенко В. Е., Двирный В. В., Туркенич Р. П., Бартенев В. А., Матроницкий Д. А., Двирный Г. В., Овечкин Г. И., Долгов Л. В., Голованова В. В. Принцип построения трансформируемых конструкций спутников связи, навигации и геодезии	83
Травянку Е. Р., Смирнов В. В. Автоматизация наземной экспериментальной обработки блоков подачи рабочего тела систем коррекции и ориентации созданием комплекса контрольно-проверочной аппаратуры	85
Туркенич Р. П., Двирный В. В., Машуков А. В. Прогнозирование информационного обеспечения процессов создания космических аппаратов в условиях неопределенности	86
Халиманович В. И., Шальков В. В., Пономарев С. В., Бутов В. Г., Бухтык М. С., Солоненко В. А., Ящук А. А. Вопросы моделирования зонтичного трансформируемого рефлектора	88
Черепанов Д. А., Порпылев В. Г. Проблемы обеспечения надежности приводов раскрытия	89
Черник А. В., Смирнов Н. А. Плоские механические системы на основе <i>l</i> -координатных устройств	90
Чурилин С. А. Определение динамических характеристик раскрывающихся ферменных антенн с учетом результатов их частотных испытаний	92
Шатров А. К., Михалкин В. М., Двирный Г. В. Построение математической модели размеростабильных рефлекторов КА-диапазона по определению величины температурных деформаций	93
Шендалев Д. О. Проектирование формообразующей структуры раскрываемой антенны	96

Секция

«ДВИГАТЕЛИ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ»

Аглямов Р. Ф., Литвинов Е. С., Целищев О. В. Внутрикамерные процессы в ракетном двигателе твердого топлива многократного включения	101
Виноградов В. А., Валов В. И. Особенности подготовки и проведения огневых и холодных испытаний жидкостных ракетных двигателей на Химическом заводе – филиале ОАО «Красмаш»	102
Даниленко Н. В. Природа и физика магнитных бурь	104
Даниленко Н. В., Валисевич С. Л. Выбег ротора газотурбинного двигателя в поле вращения Земли	106
Зуев А. А., Жук И. Д., Смирнов П. Н. Теплоотдача в боковом пазухе турбомашин сжатия	107
Кайчук Л. Н., Пекарский А. В., Краев М. В. Особенности разработки современных криогенных жидкостных ракетных двигателей	109
Кишкин А. А., Смирнов П. Н., Пшенко С. И. К постановке задачи исследования дисковых насосов трения	110
Краев М. В. Гидродинамический анализ обтекания лопасти рабочего колеса гидромашин	111
Краев М. В. Расчет и оптимизация проточной части центробежного высокооборотного насоса	112
Краев М. В., Поветкин П. В. Оценка работоспособности центробежных насосов	115
Краев В. М., Янышев Д. С. К вопросу о расчете турбулентных течений с переменным расходом в каналах энергетической установки летательного аппарата и оптимизации процессов, с ними связанных	116
Краева Е. М. Особенности гидравлики рабочего колеса гидромашин космических аппаратов	118
Краева Е. М., Краева Г. Ф. Визуализация потока при течении в поле центробежных сил	119
Кубриков М. В., Журавлев В. Ю. Программное обеспечение по реализации математической модели процесса выворачивания металлических диафрагм-разделителей топливных баков	120
Лапшина В. А., Чертыковцев П. А. Сравнительный анализ характеристик систем охлаждения лазерного бортового комплекса	122
Логанов А. А. Разработка активного насоса двухфазной системы терморегулирования космического аппарата	123
Мелкозеров М. Г., Делков А. В., Жуйков Д. А. Проблемы и перспективы расчета двухфазных закрученных потоков в камере центробежного фазоразделителя	125

Спесивых В. А., Терентьев В. В. Выбор конструктивной схемы перспективного двигателя внутреннего сгорания для беспилотного летательного аппарата	126
Целищев Д. В., Пермьяков Г. С. Современные рулевые приводы ракетных двигателей	128
Черненко Е. В., Горошко В. С. Рабочий процесс в межлопаточном канале в неравномерном поле ротора переносной скорости	129
Черненко Д. В., Черненко В. В., Сазонов А. В. Моделирование атмосферных параметров в замкнутом объеме	131

Секция
«СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, КОСМИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ И СВЯЗЬ»

Богомолов Н. П., Сидоров В. Г. Алгоритмы многомодельной фильтрации радиолокационной информации с применением искусственных нейронных сетей при сопровождении маневрирующих целей	135
Будников А. С. Компьютерная модель оценки точности определения координат объекта с использованием системы ГЛОНАСС	136
Волков Д. А., Гринберг Г. М., Гурков Д. Б., Струговец Г. М. Организация лабораторного практикума «Изучение назначения, конструкции и принципа работы турбинного датчика расхода»	138
Глушков В. П., Левицкий А. А., Маринушкин П. С. Микромеханическая система ориентации и стабилизации беспилотного летательного аппарата	139
Горяшин Н. Н. Silicon carbide semiconductors application in soft switching converter topologies	141
Дерябин А. Л., Кузовников А. В. Сигнальные методы помехозащиты	142
Есюнин В. В. Результаты испытания АСВТМИ на стенде 1.08БКУ. Анализ методики проведения испытаний	144
Жук А. П., Орел Д. В. Повышение структурной скрытности спутниковых радионавигационных систем с кодовым разделением каналов	145
Иванова Г. А. Малогабаритные интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации	146
Карпенко А. В., Базилевский А. Б. Методика нахождения емкости фотопреобразователя по переходным процессам	148
Кругликов С. Ю., Колпаков И. Е., Соловьев П. Е., Куликов Е. С. Анализатор достоверности цифрового потока	149
Кураков В. А. Космическая система мониторинга наземных источников излучения	150
Ляшенко С. Г., Базилевский А. Б. Работа оптимизированной никель-водородной аккумуляторной батареи космического аппарата	152
Назаров С. Н. Применение стохастических моделей поллинга для оценки характеристик беспроводных сетей передачи информации	153
Орел Д. В., Жук А. П. Исследование корреляционных характеристик расширяющих последовательностей сигналов с кодовым разделением каналов систем спутниковой радионавигации	154
Петунин В. И. Синтез астатического регулятора переходных режимов газотурбинного двигателя	156
Петунин В. И., Валиева Г. С. Синтез адаптивного регулятора температуры газа газотурбинного двигателя	158
Русина А. А. Навигационные спутники в наведении противокорабельных крылатых ракет	159
Свинных Е. В. Реализация модели управления транспортным потоком с использованием GPS NAVSTAR в математическом пакете MATLAB	161
Сидоров А. С., Мизрах Е. А. Экспериментальное исследование характеристик имитатора солнечных батарей с каскадным включением непрерывного и импульсного усилителей мощности	162
Скрыпник О. Н. Повышение точности навигационного обеспечения при взаимодействии воздушных судов в системе управления воздушным движением	164

Соломатова А. А. Анализ коммутационных процессов МДП-ключей резонансных преобразователей напряжения	166
Старцев В. С. Способы измерения характеристик термоэлектрических элементов	167
Тихоненко Д. В. Дифференциальный рентгеновский датчик стыка	169
Ушаков Н. У. О моменте от вращающихся масс воздушного судна	171

Секция
«ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ»

Анишин А. В., Кашкин В. Б., Рублева Т. В. Вариации общего содержания озона в Южном полушарии	177
Воробьева М. В., Охоткина Е. А. Анализ погодных условий по данным спутника NOAA-18 за весенний период 2007 года	178
Додышева А. А., Охоткина Е. А., Сухинин А. И. Оценка состояния сельскохозяйственных полей на территории Красноярского края по спутниковым данным за май 2008 года	179
Дубровская О. А., Климова Е. Г., Сухинин А. И. Моделирование распространения газовых эмиссий от крупных лесных пожаров в Сибири	180
Кашкин В. Б., Носова Е. И., Рублева Т. В. Зональный и меридиональный перенос озона весной в стратосфере	182
Колчигин Н. Н., Музалевский К. В. Метод дискретных источников для расчета токов на поверхности вибратора в скважине	183
Миронов В. Л., Савин И. В., Роджер Де Ру. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости тундровой почвы при замерзании воды в почвенных капиллярах	185
Миронов В. Л., Фомин С. В., Косолапова Л. Г., Анисимова А. Ю. Область применения диэлектрической модели Шмагге для влажных почв	187
Сухинин А. И. Аэрокосмический мониторинг катастрофических пожаров в лесах Восточной Сибири	189
Трофимова Н. В., Сухинин А. И., Швецов Е. Г., Иванов А. Среднесуточная динамика дымовых эмиссий на примере единичного пожара 2006 года	191
Швецов Е. Г. Оценка энергетических параметров лесных пожаров по данным спутниковой съемки	192
Эпов М. И., Миронов В. Л., Музалевский К. В. Метод определения расстояния до водонефтяного контакта с помощью сверхширокополосных импульсов	194
Перфильев С. Е., Черкашин А. К. Подходы и принципы картографирования агроландшафтов юга Центральной Сибири	196

Секция
«МЕХАНИЗМЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ»

Акматов А. К., Фролов И. О., Орозов Р. Н. Устройство сопряжения компьютера с устройством слежения концентратора солнечной энергии	201
Асанов А. А., Акматов А. К., Орозов Р. Н. Повышение эффективности плоских концентраторов солнечной энергии параболоидной формы программным управлением	203
Елисеев С. В., Белокобыльский С. В. Обобщенные пружины в виброзащитных системах. Возможности упрощения расчетных схем	205
Елисеев Д. Б., Иптышев А. А., Колегова М. М. Способы обеспечения требуемой точности прямозубых зубчатых цилиндрических мелкомодульных передач, формообразуемых накатыванием	207
Елисеев С. В., Резник Ю. Н. Технология построения виброзащитных систем. Мехатронные подходы	208

Еремьянц В. Э., Асанова А. А. Колебания пластины, защемленной по двум противоположным краям, при центральном поперечном ударе	210
Ермошенко Ю. В., Фомина И. В., Сорин В. В. Виды дополнительных связей в структурах виброзащитных систем	212
Леканов А. В., Черепанов Д. А., Груздев Д. Е., Сильченко П. Н. Создание приводов повышенной нагрузочной способности для устройств исполнительной автоматики космических аппаратов	212
Логунов А. С., Ермошенко Ю. В., Гордеева А. А. Связи интегрального типа в колебательных структурах.....	214
Насников Д. Н., Трофимов А. Н., Пашута Е. А. Формы и особенности динамического взаимодействия звеньев в виброзащитных системах с расширенным набором типовых элементов.....	216
Пирогов А. Е. Трехмерное твердотельное моделирование и кинематический анализ компенсационного механизма.....	217
Пономарев С. И., Ереско С. П. Разработка технологических процессов получения узлов металлокерамических турбин	218
Упырь Р. Ю. Рычажные связи в задачах динамики механических колебательных систем как форма определения взаимного расположения элементов в пространстве.....	219
Упырь Р. Ю., Сигаичев Н. П. Дополнительные связи в схемах приборной виброзащиты.....	221
Усов В. П., Бронов С. А. Оптимальное двухканальное частотное управление индукторным двигателем двойного питания с минимизацией электрических потерь в обмотках	222
Фадеев А. А., Шестаков И. Я. О возможном механизме нагрева воды и водных растворов при воздействии переменного электрического поля.....	224
Фролов И. О., Мусабаев А. С. Особенности поверхностного упрочнения деталей колесных и гусеничных машин	225
Хамитов Р. Н. Активная комбинированная виброзащита амортизируемого объекта с электромагнитным гасителем колебаний	227
Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С. Система управления импульсного электродинамического клапана для кратковременной коммутации объемов пневматического виброзащитного устройства.....	228
Хоменко А. П., Логунов А. С. Пневматические элементы в задачах виброзащиты транспортных средств	230
Шилько В. К., Слепченко И. В., Легостаев В. Г. Условия создания «подвижной жесткой заделки» ленточной пилы в двухсторонних роликовых направляющих опорах	231
Мордасов В. И., Сазонникова Н. А., Гребнев Д. Н., Шулепова О. В., Пичкурова О. С. Повышение эффективности обнаружения при лазерном зондировании поверхности.....	233

Секция
«ИСПЫТАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»

Батуров Н. В., Филиппов Ю. А. Совершенствование технологии криогенных испытаний узлов летательных аппаратов	237
Безруких С. С., Седлов Н. П., Головенкин Е. Н., Купцов А. А. Проблемы проведения термовакуумных и термобалансных испытаний космических аппаратов негерметичного исполнения системы терморегулирования на базе тепловых труб	238
Клюев Е. А., Фурманов В. В., Школьный В. Н. О результатах проведения автономных испытаний блоков управления бортового комплекса управления с использованием лабораторного отработочного комплекса	240
Печаткин А. В., Ануфрик М. С., Зеленцова О. А. Автоматизация испытаний жгутовых соединений для аэрокосмического оборудования.....	241
Свистунов А. В., Ситников А. А. Вихревая система климатических испытаний ракетно-космической техники.....	242
Цирельман Н. М., Мустафин Р. Р. Моделирование процессов тепломассообмена при гидрогашении ракетного двигателя твердого топлива	243

Секция
«ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ»

Антипин М. И., Гусев И. Н. Рациональное решение задачи проектирования малого экраноплана типа А.....	247
Булатова Г. Р., Латыпов Д. М. Движение газа по криволинейным поверхностям.....	248
Гарипов А. А., Тук Д. Е., Сергеева И. А. Математическая модель фильтрации топлива.....	249
Гудков С. А., Кудрявцев И. А. Вихретоковый анализатор гранулометрического состава дисперсных сред.....	250
Зангиров Э. И., Свистунов А. В. Эффект Джоуля–Томсона и его применение в авиационной технике	252
Игошин А. М., Борсоев В. А. Применение оперативного обновления бортовых баз данных на воздушных судах.....	254
Карасев В. П., Морозов Н. В. Титлов А. С. Паротурбинная регенерация тепла маслосистемы смазки двигателя вертолета радиолокационного надзора.....	256
Карлов Н. В. Разработка схемы коммутации сервера баз данных с бортовыми системами сбора информации.....	258
Коева А. А. Диагностика устройств гидроавтоматики	259
Комаренко В. В., Игошин А. М. Исследование спутникового канала передачи бортовых баз данных «борт–земля»	261
Корнилин Д. В., Кудрявцев И. А., Логвинов Л. М. Оптический тракт датчика встроенного контроля гидросистем летательных аппаратов на основе многоэлементного фотоприемника.....	263
Краснопеев В. Б. Учет восстановления надежности в эксплуатации на примере расчета надежности радиодальномера СД-75	264
Куприков Н. М. Формирование облика сверхлегкого летательного аппарата бегалет «Арктика-1» для высокоширотной эксплуатации	265
Линев А. В., Игошин А. М. Исследование канала передачи бортовых баз данных «борт–земля» в метровом диапазоне	268
Мусонов В. М., Вишнев А. Н. Радиодальномерный канал системы посадки с кодированием шумоподобным фазоманипулированным сигналом	270
Никушкин Н. В., Чирков П. Р., Чукова Т. О. Оценка динамической устойчивости адаптивной панели крыла экраноплана.....	271
Попенко А. В. Повышение точности и достоверности пилотажно-навигационной информации для безопасности посадки воздушных судов.....	274
Попенко А. В., Зандер Ф. В., Мисюрова Я. В. Факторы снижения точности вычисления координат спутниковых навигационных систем.....	276
Потудинский А. А. Применение АМР-датчиков в малогабаритном магнитометре.....	277
Прейс А. А., Фурманова Е. А. Анализ методик расчета надежности функциональных систем самолетов гражданской авиации.....	278
Прима Е. Ю., Игошин А. М. Исследование канала передачи бортовых баз данных «борт–земля» в декаметровом диапазоне.....	280
Прядко С. П. Снижение нагрузки на рулях управления за счет аэродинамической компенсации при помощи автоматической системы управления	282
Тюпкин М. В., Ли К. В. Система передачи полетной информации	283
Целищев Д. В., Латыпов Д. М. Электрогидравлический следящий привод со струйно-кавитационным регулированием.....	285
Лаптев Н. И., Мордасов В. И., Сторож А. Д., Гребнев Н. Е., Сазонников Н. А. Лазерно-вибрационный стенд для выявления дефектов в многослойных оболочках	286

Секция
«ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»

Анпилогов В. Н. Эксплуатация стратегических ракетных комплексов как фактор воздействия на окружающую среду.....	291
Антипьев А. И., Безруких С. С., Головенкин Е. Н., Мелкомуков А. А., Цайтлер А. В. Проблематика слежения негативного воздействия механических нагрузок на космический аппарат в течение его транспортирования	293

Баранов М. Е. Загрязнение почвы углеводородным сырьем и ее биологическая активность	294
Белоусова О. Г., Егоров А. В., Мелкомуков А. А., Кузин А. Ю. Упрощение конструктивного исполнения и крепления на каркасе солнечных батарей имитаторов фотопреобразователей.....	296
Бондаренко П. В., Головенкин Е. Н., Ефремов А. М., Максимова У. И. Оптимизация наземно-технологического оборудования заправки компонентами ракетного топлива блока хранения и подачи двигательной установки космического аппарата разработки ОАО «Информационные спутниковые системы»	297
Гафурова О. Э., Ефремов А. М., Холодков И. В., Забродов Е. Я., Максимова У. И. Система заправки ксеноном. Взаимодействие ксенона с конструкционными материалами	298
Ермаков Л. С., Метелица Д. В., Овчинников Д. А., Цайтлер А. В., Хафизов С. К. Кассета для транспортирования каркасов солнечных батарей	299
Карцан И. Н., Тяпкин В. Н., Жукова Е. С. Резервная система навигации	300
Приходько А. И., Подшивалов С. Ф., Мелкомуков А. А., Михальченко Н. В. Комплекс измерения натяжения сетеполотна крупногабаритных трансформируемых антенн	302
Филиппов В. А. Эксплуатация ракетно-космической техники	303

Секция
**«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ»**

Андреев А. С., Снежко А. А. Влияние состава электролита на структуру и свойства оксидных покрытий, сформированных на титановых сплавах микродуговым оксидированием.....	307
Бабкина Л. А., Шестаков И. Я., Квасов А. С. О результатах численного моделирования двумерных электростатических полей при электрохимическом полировании.....	308
Бакин А. М., Жереб В. П. Моделирование природы мезоморфизма в жидкостях	310
Батуров Н. В., Филиппов Ю. А. Особенности технологии криогенных испытаний узлов летательных аппаратов	312
Белявский М. Л. Повышение производительности механической обработки ответственных деталей аэрокосмических аппаратов	313
Беседин С. В., Сысоев А. С., Сысоев С. К. Изменение характера течения наполненных абразивом смесей при экструзионном хонинговании.....	315
Бобин К. Н., Курлаев Н. В. Сравнение структуры сплава Д16АТ после статического и высокоскоростного пластического деформирования	316
Бондарев И. А., Тарасов Г. Ф. Взаимодействие контактирующих материалов при трении и износе	318
Бондаренко М. В. Прибор для определения чистоты поверхности подложек методом конденсации	319
Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Лелеков А. Т. Слежение за стыком при дуговой сварке.....	320
Герюков А. Ш., Богданов В. В., Назаров С. В. Исследования гибридной технологии бесконтактного акустического контроля	322
Зверинцева Л. В., Сысоев А. В., Сысоев С. К. Пути решения проблемы уменьшения шероховатости в трубопроводах.....	323
Зыбанов С. В., Смелов В. Г., Проничев Н. Д., Сурков О. С. Повышение эффективности технологической подготовки производства на основе сквозного использования информационных технологий	324
Иванов А. В., Мачалин Л. С., Чумакова А. В., Амельченко Н. А. Автоматизация технологической подготовки производства изделий авиационно-аэрокосмической техники	326
Ключников С. И., Барахтенко Е. А. Прогнозирование остаточных деформаций крупногабаритных тонкостенных деталей после фрезерования	327
Краев В. В. О влиянии технологической наследственности при изготовлении деталей сложной формы	329
Краев В. В. О стабилизации технологии изготовления деталей насосных агрегатов	330

Крушенко Г. Г. Модифицирование алюминиевыми гранулами алюминиевых деформируемых сплавов при литье слитков.....	331
Кульков А. А., Ручкин Л. В. Сравнение методов обнаружения движения объектов при разработке устройства дистанционного контроля технологического процесса	332
Левко В. А., Ларкина И. А., Шашков С. Ю. Особенности перемещения абразивного инструмента при абразивно-экструзионной обработке	333
Левко В. А., Нуждова Е. О., Харин Д. О. Конструктивные особенности устройств, формирующих характер потока рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке	335
Литвинов И. А., Тарасов Г. Ф. Утилизация отходов машиностроительных производств	336
Литвинчук А. Ю., Филиппов Ю. А. Технология изготовления трубопроводов сложной геометрии.....	338
Малько Л. С., Стерехова Д. И., Сутягин А. В. Структура равенства для определения средней высоты профиля шероховатости винтовой поверхности при обработке радиальным фасонным резцом	339
Малько Л. С., Сутягин А. В. Определение составляющей h_1 средней высоты профиля шероховатости, обусловленной геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента	341
Михайлов М. М., Лапин А. Н. Радиационная стойкость термостабилизирующих покрытий космического аппарата на основе титаната бария.....	342
Москвин А. И, Харьков А. М. Влияние неоднородного распределения электронной плотности по t_{2g} -орбиталям на упругие свойства кристаллов	344
Путинцева Е. В. Инновационные технологии глубокой переработки сырьевых ресурсов Сибири.....	345
Сиротин П. Е., Автономов Н. Н. Определение механических свойств материалов на деталях конструкции методом вдавливания	347
Смирнов А. Н., Шориков Ю. Д., Лукин В. А., Амельченко Н. А. Влияние газо- и электрических параметров на условия формирования компактного потока	348
Трифанов И. В., Бакин А. М., Оборина Л. И., Исмаилов Б. Н., Стерехов И. В. Моделирование фильтров вафельного типа путем аппроксимации свойств по единичным элементам	350
Трифанов И. В., Исмаилов Б. И., Оборина Л. И., Стерехов И. В., Самойло А. С. Дилатометрическое определение характеристик волноводов КВЧ-диапазона	351
Турилов Д. М., Ларкина И. А. Моделирование процессов абразивно-экструзионной обработки в SOLIDWORKS	353
Утенков В. Д., Лалетин К. И., Утенков М. В., Тумакова Т. А., Казаков А. В. Влияние точности изготовления резьбового крепежа на качество затяжки резьбовых соединений	354
Утенков В. Д., Попов Д. П., Утенков М. В. Повышение точности и равномерности затяжки групповых резьбовых соединений	355
Чумакова А. В., Доброва А. В., Мачалин Л. С., Амельченко Н. А., Михайлов С. В. Повышение износостойкости поверхностного слоя деталей машин	357
Шишкина Т. С., Смелов В. Г., Проничев Н. Д., Сурков О. С. Проектирование формообразующей оснастки с использованием интегрированных информационных систем	358
Эльберг М. С., Жереб В. П. Кристаллизация стекол в системе PbO-GeO ₂	360
Янюшкин А. С., Архипов П. В. К вопросу о кристаллическом строении засаленного слоя	362
Филиппов Ю. О., Еремин А. Е., Лосев А. С., Еремин Е. Н. Применение модифицирования наночастицами тугоплавких соединений для повышения качества литого металла изделий из жаропрочных сплавов	364

CONTENTS

Section

«PROJECTING AND PRODUCTION OF AIRCRAFTS, SPACE RESEARCH WORKS AND PROJECTS»

Avtonomov N. N., Puchnin M. S. Modelling the non-destructive testing machine for aircraft constructional elements trials	13
Ankudinov A. V., Legalov A. I., Ledyayev D. N., Testoedov N. A. Analysis and toolkit of variant design of space vehicles	14
Ahatov R. H., Odnokurtsev K. A. The formalized selection of assembly equipment design arrangement in aircraft construction	16
Bobarika I. O. Designing wings-in ground effect craft of the «duck» scheme with the account of the interference of its bearing surfaces.....	17
Gavrin D. A. Comets in F. A. Bredihin's research	19
Gornostaev A. I., Kapustin A. N., Zubavichus V. A., Kolesnikov S. M. Application of mainline-modular principle during the construction of onboard equipment of spacecraft onboard control system	20
Grishelyonok D. A., Kapustin A. N., Tsvetkova O. I. Application of a built-in control system in satellite-borne equipment	22
Dolganov E. S., Gornostaev A. I. Simulation of shielded flexible printed cable in TALGAT system	23
Evtifiev M. D. Definition of the technological development level of sea launched ballistic missiles for further use at the designing initial stages	25
Kazancev Z. A., Lopatin A. V., Nesterov V. A. Vibration of sandwich three-layers plates with free edges	27
Kovalenko G. D., Spirin A. M. Flying machine with rotor propelling device as an alternative to land-based vehicle	28
Kolychev A. V., Kernozhitsky V. A. Thermal protection of hypersonic flying machines with use of the phenomenon of thermionic issue	29
Krivel' S. M. Research of bluff bodies revolving in a ram airflow.....	31
Krivel' S. M., Akulov O. V. Mathematical modelling the aerodynamic processes in a ram wing surface effect vehicle in flight over the rough underlying surface	32
Kuznetsov G. A. Application and perspectives of unmanned air vehicle development.....	34
Lopatin A. V., Avakumov R. V. Ortotropic plate buckling with two free edges loaded with pure in-plane bending moment	35
Lopatin A. V., Tereschenko D. M. Symmetric fluctuations of three-layer plates with composit carrying layers and ortotropic filler	36
Lopatin A. V., Chernaya T. S. Stability at bend ortotropic plate with two fixed and two free parties	38
Roubinov A. O. Department of aircraft with a long bar.....	39
Rutkovskaya M. A., Malugin A. S. Modeling the unmanned aircraft.....	40
Skopsov R. Yu. Designing of the low-frequency cable network of useful loading of the space vehicle.....	41
Favorskiy V. S. Application of Neumanns criterion to investigate hysteresis of supersonic jet interaction.....	43
Shestakov I. Ya., Veretnova T. A., Remizov I. A., Ziborova N. A. The energy-efficient method of the electrocontact metal cutting.....	44
Yahnenko M. S., Pyhalov A. A. Investigation of dynamics modern airfighter hydraulic system tube working.....	46

«LARGE TRANSFORMING CONSTRUCTIONS OF SPACECRAFTS»

Baslyk K. P., Bey N. A., Vechtomov V. A., Zimin V. N., Kogan B. L., Krylov A. V., Meshkovsky V. E., Smerdov A. A., Churilin S. A. Implementation features of deployable multibeam aerospace antenna	51
Belkov A. V., Ponomarev S. V., Velichko A. I. Questions of modelling the inflatable reflector	52
Bulynin Yu. L. Analysis of meeting requirements of the interagency coordinate on space debris prevention	54
Gerasimov A. V., Zhukov A. P., Kulkov S. N., Ponomarev S. V., Hristenko Yu. F., Halimanovich V. I. The simulation of stress-strain properties of the carbon-filled rod structure elements	55
Dvirnyj V. V., Vashkevich V. P. Quality assurance perfection of non-glued items	56
Evdokimov A. S., Ponomarev S. V., Buyanov Yu. I., Romanenko A. V., Usmanov D. B., Shipilov G. V. The connected mechanic and electrodynamic analysis of transformed space reflectors.....	57
Kislitsky M. I., Cherepanov V. A., Golovanova V. V. Constructing a standardized modularized small upper stage «Tor» on the basis of solid-grain rocket engine.....	59
Kopchegashev A. A., Dvirnyi V. V. Improving solar battery skeleton assemblage of communication, navigation and geodesy satellites	60
Kochura S. G., Nosenkov A. A. About technological level of automatic spacecraft electrical tests process	62
Krylov A. V. Simulation of deployment multijoint solar array at ground tests.....	64
Kudryavin L. A., Belyaev O. F., Zavaruev V. A., Kotovich O. S., Podshivalov S. F. Calculating the metal knit 2-D distortion by nonlinear elasticity theory	65
Kurenkov V. I., Lokhmatkin V. V. The effect of onboard system reliability index upon spacecraft output effect	66
Lekanov A. V., Gurylev A. B., Cherepanov D. A., Silchenko P. N., Novikov E. S. Some control opportunities of functional-operational parameters of drive tooth gearings of spacecraft executive automatics at a design stage	67
Ponomarev S. V., Zhukov A. P., Pavlov M. S. Substantiation of a mechanical method to define an intense condition of transformed reflector elements.....	69
Rassolov O. G., Goncharov K. A., Antonov V. A., Alekseev V. A. Honeycomb supplied with heat transfer tube and heat-retaining material	70
Rutkovskaya M. A., Tarasenko A. V. Modeling the telescopic composite spoke of the big space antenna	71
Slivinsky V. I., Verbitskaya N. A., Gajdachuk V. E., Karpikova O. A. Creation of energy-saving technologies of forming articles made of polymeric composite materials with the raised mechanical characteristics	72
Smerdov A. A. Possibilities of damping characteristics control for composite elements of large-size space truss structures	74
Smirnov V. A., Maksimov I. A., Kochura S. G., Nadiradze A. B., Shaposhnikov V. V. Indicatrix account of materials dispersion at the estimations of erosion-contaminating plasma influence of the stationary plasma thrusters on the space craft structure elements	76
Testoedov N. A., Dolgov L. V., Dvirnyi V. V., Khalimanovich V. I., Dvirnyi G. V. Conception of the large - sized transformed structures for the spacecraft	78
Testoedov N. A., Khalimanovich V. I., Mihnev M. M., Gusev V. Yu., Silchenko P. N., Kudryavcev I. V. Providing the engineering solutions at designing of soldered waveguide distributive systems of space communication satellites	80
Testoedov N. A., Khalimanovich V. I., Mihnev M. M., Gusev V. Yu., Silchenko P. N., Kudryavcev I. V., Ivanov V. I. Providing the technology of production of soldered waveguide distributive systems of space communication satellites	82

Testoedov N. A., Kosenko V. E., Dvirnyi V. V., Turkenich R. P., Bartenev V. A., Matronitskiy D. A., Dvirnyi G. V., Ovechkin G. I., Dolgov L. V., Golovanova V. V. Principle of construction of transformed designs communication, navigation and a geodesy satellites.....	83
Travyanko E. R., Smirnov V. V. Automation of ground experimental improvement of working medium submission blocks of correction and orientation systems by creating the control-verifying equipment complex	85
Turkenich R. P., Dvirnyi V. V., Mashukov A. V. Forecasting the dataware of space vehicle designing processes under the uncertainty conditions	86
Khalimanovich V. I., Shal'kov V. V., Ponomarev S. V., Butov V. G., Buhtyak M. S., Solonenko V. A., Yaschuk A. A. Issues of modelling the umbrella transformed reflector	88
Cherepanov D. A., Porpylev B. G. Issue of actuator reliability assurance deployment	89
Chernick A. V., Smirnov N. A. Flat mechanical system based on <i>l</i> -coordinate devices	90
Churilin S. A. Finding the dynamic characteristics of self-deployable frame antennae using the results of its frequency tests	92
Shatrov A. K., Mikhalkin V. M., Dvirnyi G. V. Constructing mathematical model of size-stable reflectors defining the value of temperature deformations.....	93
Shendalev D. O. Designing the shape-generating structure of unfurlable antenna.....	96

Section

«ENGINES, POWER SYSTEMS AND TEMPERATURE CONTROL SYSTEMS AT SPACECRAFTS»

Aglyamov R. F., Litvinov E. S., Tselischev O. V. Solid-propellant rocket.....	101
Vinogradov V. A., Valov V. I. Features of preparation and carrying out fire and cold tests of liquid rocket engines on the chemical plant – branch of ISC «Krasnoyarsk machine-building factory»	102
Danilenko N. V. Nature and physics of magnetic storms	104
Danilenko N. V., Valisevich S. L. Rotor rundown of the gas turbine engine in the field of Earth rotation	106
Zuev A. A., Zhuk I. D., Smirnov P. N. Heat in the lateral bosom of compression turbomachines.....	107
Kajchuk L. N., Pecarski A. V., Kraev M. V. Features of modern cryogenic liquid rocket engine development.....	109
Kishkin A. A., Smirnov P. N., Pshenko S. I. To the statement of the problem of disk pump investigation	110
Kraev M. V. The hydrodynamical analysis of the blade flow in the open-type impellers of the hydromachine	111
Kraev M. V. Calculation and optimization of the wheelspace of centrifugal high revolution speed pump	112
Kraev M. V., Povetkin P. V. Estimation of centrifugal pumps serviceability	115
Kraev V. M., Yanyshv D. S. To the analysis and optimization of turbulent flow in power plant channels with time-dependent mass flow.....	116
Kraeva E. M. Hydraulic features of the hydromachine impeller of space vehicles	118
Kraeva E. M., Kraeva G. F. Visualization of the stream at flow in the field of centrifugal forces	119
Kubrikov M. V., Zhuralev V. Yu. The software on realisation of mathematical model of reversing process of fuel tanks separators	120
Lapshina V. A., Chertykovcev P. A. Comparative analysis of laser cooling systems	122
Loganov A. A. Development of the space vehicle two-phase thermal control system active pump.....	123
Melkozerov M. G., Delcov A. V., Zhujkov D. A. Calculation problems and prospects of the diphas twirled streams in the chamber of centrifugal phase separator	125

Spesiviykh V. A., Terentyev V. V. Choosing a designing scheme for a perspective explosion engine to UAV	126
Tselischev D. V., Permyakov G. S. Modern helmsmen of a rocket engine drive	128
Chernenko E. V., Goroshko V. S. Working process in the intershovel channel under non-uniform field of the rotor portable speed.....	129
Chernenko D. V., Chernenko V. V., Sazonov A. V. Environmental condition simulation in a closed space	131

Section
**«CONTROL SYSTEMS, SPACE NAVIGATION
AND COMMUNICATION SYSTEMS»**

Bogomolov N. P., Sidorov V. G. Algorithms of the multimodelling filtration of the radar-tracking information with application of artificial neural networks at support of the maneuvering purposes	135
Budnikov A. S. Computer model to estimate the accuracy of object coordinate definition by GLONASS application	136
Volkov D. A., Grinberg G. M., Gurkov D. B., Strugovets A. G. Case study organization «studying the purposes, construction and operation principle of a turbine flow sensor»	138
Glushkov V. P., Levitsky A. A., Marinushkin P. S. Micromechanical orientation and stabilization system for unmanned aerial vehicle	139
Goryashin N. N. Silicon carbide semiconductors application in soft switching converter topologies	141
Deryabin A. L., Kuzovnikov A. V. Hindrance protection signal methods	142
Esunin V. V. Results of apparatus test of gathering and delivering telemetric information on 1.08BKV test bench. Analysis of the test carrying out methodology	144
Zhuk A. P., Oryol D. V. Increase of structural secrecy of satellite radio navigating systems with code division multiple access.....	145
Ivanova G. A. Compact integrated inertial-satellite navigation systems	146
Karpenko A. V., Bazilevsky A. B. Technique to find photoconverter capacity on transients	148
Kruglikov S. Yu., Kolpakov I. E., Solovjov P. E., Kulikov E. S. Analyzer of digital flow reliability	149
Kurakov V. A. The space system for ground-based sources monitoring.....	150
Lyashenko S. G., Bazilevsky A. B. The operation of the spacecraft optimized nickel-hydrogen accumulator	
Nazarov S. N. Polling stochastic model application for the estimation of wireless network characteristics of information transfer	153
Oryol D. V., Zhuk A. P. Research of correlation characteristics of spreading codes for signals with code division multiple access of satellite radio navigation systems	154
Petunin V. I. Synthesis of an astatic regulator of transitive modes in the gas turbine engine	156
Petunin V. I., Valieva G. S. Synthesis of the adaptive regulator of gas temperature in gas turbine engine.....	158
Rusina A. A. Navigation satellites in cruise of missiles guidance	159
Svininyh E. V. Management model realization by the transport stream with use GPS NAVSTAR in mathematical package MATLAB	161
Sidorov A. S., Mizrakh E. A. Experimental investigation of the characteristics of photovoltaic array simulator based on the structure with cascade connection of continuous and pulse power amplifiers	162
Skrypnik O. N. Increase of accuracy of navigational maintenance for aircraft interacting in an air traffic control system.....	164
Solomatova A. A. Analysis of mosfets switching processes in resonant converters.....	166
Starcev V. S. Measuring methods of thermo-electric module parameters	167
Tichonenko D. V. Differential X-ray joint transmitter	169
Ushakov N. U. To rotating mass moment of an aircraft.....	171

Section
 «SPACE SOUNDING OF THE EARTH»

Anishin A. V., Kashkin V. B., Rubleva T. V. Variations of the total ozone content in southern hemisphere.....	177
Vorobyeva M. V., Okhotkina E. A. The analysis of weather conditions according to data from satellite NOAA-18 for the spring period of 2007	178
Dodysheva A. A., Okhotkina E. A., Sukhinin A. I. Estimation of agricultural fields state in territory of Krasnoyarsk region under the satellite data in may, 2008.....	179
Dubrovskaya O. A., Klimova E. G., Sukhinin A. I. Siberian wildfire emission propagation modeling.....	180
Kashkin V. B., Nosova E. I., Rubleva T. V. Zonal and meridional ozone transfer in stratosphere in spring.....	182
Kolchigin N. N., Muzalevsky K. V. Auxiliary source method for calculating current on the insulated antennas.....	183
Mironov V. L., Savin I. V., DeRoo Roger. Temperature dependence of permittivity of tundra soil with water freezing in the soil capillary	185
Mironov V. L., Anisimova A. Yu., Fomin S. V., Kosolapova L. G. Domain of applicability studies for Schmutge's dielectric model for moist soils	187
Sukhinin A. I. Aerospace monitoring of catastrophic wildfires in east Siberia	189
Trofimov N. V., Sukhinin A. I., Shvetsov E. G., Ivanov A. V. Daily average dynamics of smoke emission on an example of singular fire in 2006	191
Shvetsov E. G. Estimation of forest fire energy parameters using satellite data.....	192
Epov M. I., Mironov V. L., Muzalevsky K. V. Method to detect the water-oil contact in oil-saturated reservoir by uwb pulses	194
Perfil'ev S. E., Cherkashin A. K. Approaches and principles of mapping agrarian landscapes of the south of the Central Siberia.....	196

Section
 «GEAR MECHANISMS AT SPECIAL SYSTEMS»

Akmatov A. K., Frolov I. O., Orozov R. N. The device of interface of a computer with the device of tracking of the concentrator of a solar energy.....	201
Asanov A. A., Akmatov A. K., Orozov R. N. Way of increase of efficiency of flat concentrators of a solar energy of the paraboloidal form by program control.....	203
Eliseev S. V., Belokobylsky S. V. The generalized springs in vibroprotections systems. Possibilities of settlement schemes simplification.....	205
Eliseev D. B., Iptyshev A. A., Kolegova M. M. Supplying the required accuracy of spur serrated helical moving members formed by rolling.....	207
Eliseev S. V., Reznik Yu. N. Technology of vibroprotection system construction. Mechatronics approaches	208
Eremiants V. E., Asanova A. A. Oscillating plates fastened to two opposite edges.....	210
Ermoshenko Yu. V., Fomina I. V., Sorin V. V. Types of additional ties in structures of vibroprotection systems	212
Lekanov A. V., Cherepanov D. A., Gruzdev D. E., Silchenko P. N. Designing drives of increased load capacity for the spacecraft executive automatics	212
Logunov A. S., Ermoshenko Yu. V., Gordeeva A. A. Integrated type connections in oscillatory structures.....	214
Nasnikov D. N., Trofimov A. N., Pashuta E. A. Dynamic interaction forms and features of links in vibroprotection systems with the expanded set of typical elements.....	216
Pirogov A. E. 3d-modeling and kinematics analysis of compensating mechanism	217

Ponomarev S. I., Eresko S. P. Development of manufacturing method for metal-ceramic turbin aggregates	218
Upyr' R. Yu. Lever ties in problems of dynamics of mechanical oscillatory systems as the form of definition of the relative elements positioning in space	219
Upyr' R. Yu., Sigachov N. P. Additional ties in instrument vibroprotection schemes	221
Usov V. P., Bronov S. A. Optimum two-channel frequency management of the induction motor of a double feed with minimization of electric losses in windings	222
Fadeev A. A., Shestakov I. Ya. About possible mechanism of the heating of water and water solution under ac field influence.....	224
Frolov I. O., Musabaev A. S. Features of superfical hardening of details wheel and tracklaying vehicles	225
Khamitov R. N. Active combined vibration protection of amortized object with electromagnetic fluctuation attenuator	227
Khamitov R. N., Averjanov G. S. Control system of the pulse electrodynamic valve for short-term switching of volumes of the pneumatic vibration protection device	228
Khomenko A. P., Logunov A. S. Pneumatic elements in problems of vibroprotection vehicles	230
Shilko V. K., Slepchenko I. V., Legostaev V. G. Creation conditions «mobile rigid fastenings» of the tape saw in bilateral roller directing support	231
Mordasov V. I., Sazonnikova N. A., Pichkurova O. S., Grebnev D. N., Shulepova O. V. The detecting efficiency improvement by laser surface sounding.....	233

Section
«TESTING OF AIRCRAFTS AND SPACECRAFTS»

Baturov N. V., Filippov Yu. A. Perfection of cryogenic test technology of flying machine nodes.....	237
Bezrukih S. S., Sedlov N. P., Golovenkin E. N., Kuptsov A. A. Problems of carrying out thermovacuum and thermobalancing tests of space vehicles of partial-pressure system of thermoregulation on the basis of thermal pipes.....	238
Klyuev E. A., Furmanov V. V., Shkolny V. N. About results of carrying out standalone tests of control blocks of the onboard control complex using laboratory working off complex	240
Pechatkin A. V., Anufrik M. S., Zelentsova O. A. Test automation of cordlike junctions for space equipment	241
Svistunov A. V., Sitnikov A. A. Vortical system of climatic tests of space-rocket equipment	242
Cirelman N. M., Mustafin R. R. Modeling heat-mass exchange processes at hydroclearing of solid-propellant rocket engine	243

Section
«EXPLOITATION AND RELIABILITY OF AIRCRAFTS»

Antipin M. I., Gusev I. N. The rational decision of the problem of designing A-type small W.I.C.-craft	247
Bulatova G. R., Latypov D. M. Gaz movement on curvilinear surfaces	248
Garipov A. A., Touk D. E., Sergeeva I. A. Mathematical model for fuel filtration	249
Gudkov S. A., Kudryavcev I. A. Eddy-current analyzer of dispersive medium particle-size distribution	251
Zangirov E. I., Svistunov A. V. Joule-Tomson effect and its application in aircraft	252
Igoshin A. M., Borsoev V. A. Operative onboard database updating application for aircraft.....	254
Karasev V. P., Morozov N. V., Titlov A. S. Steam turbine heat regeneration of the oil system of greasing the helicopter engine of radar-tracking supervision.....	256

Karlov N. V. Developing commutation circuit between onboard database server and onboard systems of information collecting.....	258
Koyeva A. A. Diagnostics of hydroautomatics devices.....	259
Komarenko V. V., Igoshin A. M. Research of «onboard–earth» data base satellite link	261
Kornilin D. V., Kudryavcev I. A., Logvinov L. M. Optical path sensor built-in monitoring hydraulic aircraft based on multiple-element photodetectors.....	263
Krasnopeev V. B. The calculation of reliability restore during exploitations in terms of calculation reliability of radio range gauge SD-75.....	264
Kuprikov N. M. Image formation of superlight aircraft begalet «ARCTIC-1» for high latitude exploitation	265
Linev A. V., Igoshin A. M. Research of data base transferring via vhf data link «onboard–earth»	268
Musonov V. M., Vishnev A. N. Landing system radio range-finder channel with encoded noise-similar phase-keyed signal.....	270
Nikushkin N. V., Chirkov P. R., Chukova T. O Estimation of dynamic stability of wing adaptive panel of air-craft-in-ground-effect	271
Popenko A. V. Improved accuracy and reliability of piloting and navigation information for safe landing aircraft	274
Popenko A. V., Zander F. V., Misurova Y. V. Factors of coordinate calculation accuracy decrease of satellite navigating systems	276
Potudinsky A. A. Application of AMR-sensors in compact magnetometer	277
Prejs A. A., Furmanova E. A. The analysis of aircraft functional system reliability calculation techniques in state aviation	278
Prima E. Yu., Igoshin A. M. Research of data base transferring via hf data link «onboard–earth»	280
Priadko S. P. Load reducing at flight control surface by means of aerodynamic balance with help of automatic control system.....	282
Tyupkin M. V., Li K. V. Flight data transmission system	283
Tselischev D. V., Latypov D. M. State and development problems of the jet hydraulic control-surface actuators	285
Laptev N. I., Mordasov V. I., Storozh A. D., Grebnev N. E., Sazonnikova N. F. Laser vibrating installation for large-sized shells defects detecting.....	286

Section
«EXPLOITATION OF SPACE-ROCKET»

Anpilgov V. N. Exploitation of strategical rocket complex as the influence factor on surrounding environment.....	291
Antipiev A. I., Bezrukih S. S., Golovenkin E. N., Melkomukov A. A., Tsaitler A. V. Range of problems of negative influence reduction of mechanical load to a satellite during its transportation.....	293
Baranov M. E. Soil pollution by hydrocarbonic raw materials and its biological activity	294
Belousova O. G., Egorov A. V., Melkomukov A. A., Kuzin A. Yu. Simplification of the design and fastening on the solar cell carrier of photoconverters' imitators	296
Bondarenko P. V., Golovenkin E. N., Efremov A. M., Maksimova U. I. Ground support equipment optimization of fueling with propellants of storage and propulsion installation supply of spacecraft, developed by JSC «ISS».....	297
Gafurova O. E., Efremov A. M., Kholodkov I. V., Zabrodov E. Ya., Maksimova U. I. Xenon refuelling system. Interaction of xenon and constructional materials	298
Ermakov L. S., Metelitsa D. V., Ovchinnikov D. A., Tsaitler A. V., Khafizov S. K. Transport holder for solar array panel's frames	299
Kartsan I. N., Tyapkin V. N., Zhukova E. S. Reserve navigation system	300
Prihod'ko A. I., Podshivalov S. F., Melkomukov A. A., Mihalchenko N. V. Complex of tension measurement antenna-curtains large dimension transformed antennas	302
Filippov V. A. Rocket-space technology maintenance.....	303

Section
 «PERSPECTIVE MATERIALS AND TECHNOLOGIES
 IN AEROSPACE INDUSTRY»

Andreev A. S., Snezhko A. A. The influence of electrolyte composition on the structure and properties of oxide coatings formed on titanium alloys by microarc oxidation.....	307
Babkina L. A., Shestakov I. Y., Kvasov A. S. Numerical modeling of two-dimensional electrostatic fields at electrochemical polishing	308
Bakin A. M., Zhereb V. P. Modelling of mesomorphism nature in liquid	310
Baturov N. V., Filippov Y. A. Features of technology of cryogenic tests of nodes flying machines	312
Belyavskiy M. L. Efficiency improving of the tooling of essential parts of aerospace vehicles.....	313
Besedin S. V., Sysoev A. S., Sysoev S. K. Changing nature of the flow of abrasive filled flap and wheels mixtures with extrusion honing.....	315
Bobin K. N., Kurlyayev N. V. Comparison of D16AT alloy microstructures after static and high-speed plastic deformation	316
Bondarev I. A., Tarasov G. F. Interaction of contacting materials at the friction and deterioration	318
Bondarenko M. V. Design of the instrument for determining the purity substrate surface by condensation method	319
Braverman V. Ya., Belozertcev V. S., Lelekov A. T. Track interface in arc welding.....	320
Gerukov A. Sh., Bogdanov V. V., Nazarov S. V. Researches of hybrid technology of the contactless acoustic control	322
Zverintseva L. V., Sysoyev A. V., Sysoyev S. K. The ways of the problem solution of the roughness reduction in pipelines	323
Zybanov S. V., Smelov V. G., Pronichev N. D., Surkov O. S. Efficiency upgrading of work preparation on the basis of through use of the information technology.....	324
Ivanov A. V., Machalin L. S., Chumakova A. V., Amelchenko N. A. Process design automation of AST products.....	326
Kluchnikov S. I., Barakhtenko E. A. Forecasting of residual deformations after milling long-length thin-walled details.....	327
Krayev V. V. About influence of a technological heredity at manufacturing details of the complex form.....	329
Krayev V. V. About stabilization of manufacturing techniques of pump units details.....	330
Krushenko G. G. The refinement of aluminum wrought alloys by aluminum granules during the ingots casting	331
Kulkov A. A., Ruchkin L. V. Comparison of detection methods of object motion by working out of the remote control device of technological process	332
Levko V. A., Larkina I. A., Shashkov S. U. Particularities of the tool moving in abrasive extrusion-type machining process.....	333
Levko V. A., Nyzhdova E. O., Kharin D. O. Constructive particularities of devices, forming the character of the media flow for abrasive-flow machining process	335
Litvinov I. A., Tarasov G. F. Recycling of the waste of machine-building manufactures	336
Litvinchuk A. Yu., Filippov Yu. A. The pipelines-making technology of difficult geometry	338
Malko L. S., Sterekhova D. I., Sutyagin A. V. Equality structure for a definition of average profile height of a screw surface roughness at processing by a radial shaped cutter	339
Malko L. S., Sutyagin A. V. The definition of h_1 -component of average height of the profile roughness caused by geometry and moving kinematics of the working part of the tool	341
Mikhailov M. M., Lapin A. N. Radiation hardness of thermo stabilizing coatings of spacecrafts based on barium titanate	342
Moskvin A. I., Harkov A. M. Influence inhomogeneous distribution of electron density in t_{2g} -orbital on elastic characteristics of crystals	344
Putintseva E. V. Innovative technologies of raw material processing of Siberia	345
Sirotnin P. E., Avtonomov N. N. Determination of mechanical properties of materials on the construction details by the indentation	347

Smirnov A. N., Shorikov Y. D., Lukin W. A., Amelchenko N. A. Geometry of entrance part of near-cathode zone of construction was defined.....	348
Trifanov I. V., Bakin A. M., Oborina L. I., Ismailov B. N., Sterehov I. V. Simulation of wafer-type filters by approximating the properties of single elements	350
Trifanov I. V., Ismailov B. I., Oborina L. I., Sterehov I. V., Samoylo A. S. Dilatometric definition of EHF-band waveguides characteristics	351
Turilov D. M., Larkina I. A. Abrasive-flow process modelling in SolidWorks	353
Utenkov V. D., Laletin K. I., Utenkov M. V., Tumakova T. A., Kazakov A. V. Influence of accuracy of manufacturing of carving fixture on quality of a tightening of screw connections	354
Utenkov V. D., Popov D. P., Utenkov M. V. Accuracy and uniformity increase of the tightening of clustered screw joint	355
Chumakova A. V., Dobrova A. V., Machalin L. S., Amelchenko N. A., Mihailov S. V. Increasing of wear resistance of machine components surface	357
Shishkina T. S., Smelov V. G., Pronichev N. D., Surkov O. S. Forming tool design with using of integrated information systems.....	358
Elberg M. S., Zhereb V. P. Crystallization of glasses in system PbO-GeO ₂	360
Yanushkin A. S., Arhipov P. V. To the question about the crystal structure of the greased layer.....	362
Filippov Y. O., Eremin A. E., Losev A. S., Eremin E. N. Application of nanoparticles modifying of refractory compounds for the quality improving of the cast metal of high-temperature metal products.....	364

Научное издание

РЕШЕТНЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

*Материалы XIII Международной научной конференции,
посвященной 50-летию Сибирского государственного аэрокосмического
университета имени академика М. Ф. Решетнева,
50-летию ОАО «Информационные спутниковые системы»,
85-летию со дня рождения генерального конструктора
ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева
(10–12 ноября 2009, г. Красноярск)*

В 2-х частях. Часть 1

Редакторы:

*Т. А. Ермолаева, Т. Е. Ильющенко, К. С. Мирошникова
О. А. Плехова, А. И. Эберле*

Редактор английского текста

М. В. Савельева

Компьютерная верстка

М. А. Белоусовой

Подписано в печать 29.10.2009. Формат 70×108/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс New Roman Суг. Печать плоская.
Усл. печ. л. 48,2. Уч.-изд. л. 49,5. Тираж 300 экз.
Заказ 87/63. С 113/9.

Редакционно-издательский отдел Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Буймовой М. В.
660028, г. Красноярск, ул. Л. Кецховели, 75а-223.