



СОЗВЕЗДИЕ РОСКОСМОСА: ТРАЕКТОРИЯ НАУКИ

Материалы II Отраслевой научно-практической конференции
(4–6 октября 2023 г., Красноярск)

Красноярск 2023

Государственная корпорация по космической деятельности «РОСКОСМОС»
Правительство Красноярского края
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
АНО «Роскосмос Медиа»
Технологическая платформа «Национальная информационная спутниковая система»

СОЗВЕЗДИЕ РОСКОСМОСА: ТРАЕКТОРИЯ НАУКИ

*Материалы II Отраслевой научно-практической конференции
(4–6 октября 2023 г., Красноярск)*

Электронное издание

Красноярск 2023

© СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2023

УДК 629.78
ББК 39.6
С58

Редакционная коллегия:

Ю. Ю. ЛОГИНОВ, проректор по научной и инновационной деятельности,
доктор физико-математических наук, профессор (председатель);
С. А. КУЧЕРУК, ведущий специалист отдела корпоративных мероприятий
АНО «Роскосмос Медиа» (ответственный редактор);
С. Г. ЕЛИСЕЕВ, заместитель проректора по научной и инновационной деятельности,
кандидат технических наук, доцент;
Л. В. ЗВОНАРЕВА, начальник редакционно-издательского отдела

Под общей редакцией

первого проректора, кандидата технических наук, доцента В. А. КУРЕШОВА

Созвездие Роскосмоса: траектория науки [Электронный ресурс] : материалы
С58 II Отраслевой науч.-практ. конф. (4–6 октября 2023 г., Красноярск). – Электрон.
текстовые дан. (1 файл: 7,1 МБ). – Систем. требования : Internet Explorer;
Acrobat Reader 7.0 (или аналогичный продукт для чтения файлов формата .pdf) /
под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск,
2023. – Режим доступа: <https://www.sibsau.ru/conferencesitem/262/>. – Загл.
с экрана.

Сборник содержит материалы II Отраслевой научно-практической конференции, в кото-
рых представлены результаты исследований ученых и специалистов предприятий и органи-
заций аэрокосмической отрасли, преподавателей, научных сотрудников высших учебных
заведений Российской Федерации.

Сборник рассчитан на научных сотрудников, работников промышленности, преподава-
телей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

В статьях сохранен авторский стиль изложения.

Информация для пользователя: в программе просмотра навигация осуществляется с по-
мощью панели закладок слева; содержание в файле активное.

УДК 629.78
ББК 39.6

Подписано к использованию: 31.10.2023. Объем: 7,1 МБ. С 871/23.

Корректura, макет и компьютерная верстка *М. А. Светлаковой*.

Редакционно-издательский отдел СибГУ им. М. Ф. Решетнева.
660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
E-mail: rio@mail.sibsau.ru. Тел. (391) 291-90-96.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция

«КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕРВИСЫ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Гаипов К. Э., Слащев Н. А., Тауснев Д. А., Проскурин А. А., Генниатлин К. А.	
Программное обеспечение по моделированию спутниковых систем связи	9
Гарин Е. Н., Тяпкин В. Н. Научно-технический задел лаборатории «Системы навигации, управления и связи» Военного учебного центра Сибирского федерального университета	12
Горбановский Н. Г. Создание условий для обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации	15
Домненко А. А., Овчинникова П. Д., Токарева С. В. Запуск спутниковых сервисов на базе университетов	17
Мастеренко Д. А. Построение систем спутникового мониторинга транспорта с использованием штатных средств УКВ-связи	19
Тауснев Д. А., Гаипов К. Э. Разработка алгоритма оптимизации распределения трафика в телекоммуникационной сети	21
Черенков П. Г., Манойло А. В., Диордиев М. Н. Развитие цифровых сервисов спутниковой системы «Гонец»	23

Секция

«АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

Богатый А. В. Работы МАИ в области сверхнизкоорбитальных космических аппаратов	24
Карандашев А. А., Оленев В. Л. Эффективные распределения потоков данных в бортовых сетях	26
Космынин А. Н., Афонин А. А. Антенные системы для перспективных спутниковых систем	28
Ловцов А. С., Мосолов С. В., Гоза Д. А., Селиванов М. Ю. Перспективы развития двигательных установок космических аппаратов	31
Сазонов В. В., Самыловский И. А. MIDE – программная среда проектирования космических миссий – «Российский STK» разработки коллектива Факультета космических исследований МГУ	32

Секция

«ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ»

Акбулатов Э. Ш., Назаров В. П. Исследование и разработка передовых аддитивных технологий производства изделий ракетно-космической техники	34
---	----

Бакач В. А., Некрасова Т. Л. Результаты определения оптимальной конструкции для облучателя антенны	37
Голдобин С. М. Качество продукции единичного и мелкосерийного производства	39
Журавлев И. М., Дударьков Д. О., Лысенко И. Е. Резервированный резонансный преобразователь энергии с дискретно-импульсным управлением	41
Корянов В. В., Кухаренко А. С. Концепция применения надувных устройств для перспективных малых автоматических космических аппаратов с механическим управлением движением	43
Ли В. М., Тюпкин С. С., Филь Д. Ю., Лавров К. А. Разработка оборудования для технологии автоматизированной выкладки композиционного материала	45
Москвичев В. В. Оценка ресурса и надежности элементов конструкций спутниковых систем	48
Шалыгина Т. А., Тоньшина А. В., Дудник А. И., Савенков А. А. Упругий шарнир с увеличенным моментом силы	50

Секция

**«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»**

Богданова Е. А., Наседкин А. В. Освоение и внедрение перспективных технологий в АО «ОКБ «Факел»	52
Ворончихин В. Д. Перспективные эластомерсодержащие материалы для авиакосмической техники	54
Евдокимов С. Л. Математическое моделирование параметров потока в элементах турбонасосного агрегата с применением 1D- и 3D-моделирования	56
Карпов Е. В., Говердовский В. Н., Ларичкин А. Ю., Бровкина Ю. И., Прохоров А. Н. Полимерные композиты для систем виброизоляции бортового и наземного оборудования	58
Колобов М. А. Применение технологии электронно-лучевой обработки материалов при изготовлении деталей двигателей	60
Колозезный А. Э., Митин А. Ю., Эйхорн А. Н., Юранев О. А. Исследование возможности применения в ракетах-носителях криогенных топливных баков из полимерных композиционных материалов	63
Кочура С. Г., Максимов И. А., Надирадзе А. Б. Обеспечение стойкости высоковольтных солнечных батарей космических аппаратов к воздействию вторичных дуговых разрядов	64
Морозов С. Ю., Санников П. Г. Внедрение технологии производства импортозамещающего осевого режущего инструмента	66
Некравцев Е. Н., Сафонов К. С., Попов И. С., Самохвалов В. В. Полимерно-композиционные материалы в агрегатах и системах авиакосмической техники	68
Некрылов А. М., Ерасова П. В., Сухочев Г. А. Методы обеспечения технологичности и эксплуатационных показателей нагруженных деталей	70
Обверткин И. В., Пасечник К. А. Волокнистый полимерный наноконпозиционный материал для изготовления перспективных формо- и размеростабильных изделий аэрокосмической отрасли	72

Протопопов Г. А., Моргачев Е. О. Об опыте интеграции усилий научных и образовательных коллективов по совершенствованию нормативной базы и методов обеспечения радиационной стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов	75
Серегин Ю. Н., Мурыгин А. В., Курашкин С. О. Технология электронно-лучевой сварки для производства ракетно-космической техники	77
Тимофеев А. Н. Ключевые направления материаловедения – основа технологического развития	80
Шайдурова Г. И., Васильев И. Л., Шевяков Я. С., Ощепкова М. Ю., Кустов М. А. Импортозамещение и перспективы развития направления разработки и применения клеевых композиций отечественного производства	82

Секция

**«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЛЕКСЫ
ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ В ИНТЕРЕСАХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

Казаковцев Л. А., Масич И. С., Резова Н. Л., Шкаберина Г. Ш. Интеллектуальный анализ данных в технологии дополнительных испытаний электронных компонентов космического применения	86
Куликов В. Р. Техническое зрение для определения положения объектов в трехмерном пространстве	88
Курлыков П. С. Концепция роботизации сборочных операций космических аппаратов	90
Матвеев С. А., Леканов А. В., Надежин М. И. Интеллектуальные робототехнические комплексы для перспективных платформ космических аппаратов	92
Матвеев С. А., Яковенко Н. Г., Слободзян Н. С., Грагерт В. Д., Надежин М. И. Применение копирующих манипуляторов в перспективных космических аппаратах	94
Пономарев Д. Ю., Лацинник А. А. Перспективные направления применения космических робототехнических систем	96
Прокофьев А. Б., Ткаченко И. С., Антипов Д. В. Подходы к созданию серийного роботизированного производства малых космических аппаратов	98

Секция

**«ЕДИНАЯ ЦИФРОВАЯ СРЕДА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»**

Валухов С. Г., Галдин Д. Н., Кретинин А. В. Повышение эффективности центробежных насосов на основе методов компьютерной динамики жидкости и методов нейросетевого моделирования	101
Глуховской Е. С., Малюх А. Е. Разработка нейросетевой имитационной модели ЖРД и его агрегатов	103

Гусев П. Ю. Управление целостностью данных предприятия с использованием цифрового и имитационного моделирования	107
Еремин Н. В. Численное моделирование механического поведения упруготрансформируемых тонкостенных композитных конструкций космического назначения	109
Кременецкая М. Е. Разработка системы поддержки принятия решений при проектировании космических аппаратов	111
Куликов Р. С., Вишняков С. В., Малышев А. П., Орлова М. А., Бровко Т. А. «Поток» – распределённая платформа моделирования цифровых двойников системы ГЛОНАСС	114
Пикалов Я. Ю. Цифровые двойники для автоматизированного производства космических аппаратов	116

Секция

**«УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА И ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ
ДЛЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ»**

Берестов А. В., Охоткин К. Г., Дятлов Д. В., Подвербных О. Е., Рошкова Н. С. Система кадрового обеспечения новой индустриальной модели АО «РЕШЕТНЁВ»	119
Голдобин С. М. Мотивация персонала на повышение качества продукции	122
Данилин И. М., Лапко В. А., Кузнецов А. А., Бабий И. А., Вайсман А. О. Создание инновационного учебно-научного центра мониторинга лесных ресурсов Сибири на основе лазерной, микроволновой аэрокосмической съемки и спутникового геопозиционирования	123
Корянов В. В. Подготовка инженерных кадров в области динамики полёта, космической баллистики и управлении полётом космических аппаратов	125
Перлюк В. В. Использование технологий разработки и эксплуатации малых космических аппаратов в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению подготовки «Приборостроение»	127
Резник С. В. Опережающая подготовка специалистов в области ракетно-космической техники и творческая инициатива студентов	130
Смоленцев Е. В. Компетенции базовой кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета	132
Смолина Е. Ю., Аникина Ю. А. Опыт СибГУ им. М. Ф. Решетнева в реализации опережающей подготовки кадров для предприятий ОПК	134

Секция

**«СОЗВЕЗДИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ МИССИИ. ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ „CUBE-SAT“»**

Абрамова Е. Н., Резник С. В. Выбор параметров надувного тормозного устройства спутника CubeSat на основе численного моделирования аэродинамики и теплообмена	137
Кустов Н. Д. Реализация некоторых прикладных функций интегрированной космической сети с применением стека ReshuCube	140

Лукьянов М. М., Зуев Д. М. Построение формации наноспутников методом аэродинамического управления в рамках космической миссии ReshuCube-3	143
Ханов В. Х., Шахматов А. В., Зуев Д. М., Чекмарёв С. А. Стратегия развития семейства космических миссий ReshuCube	145
Шимова О. Е., Великанов Д. Д., Лукьянов М. М., Учватов В. В., Зуев Д. М. Результаты летной эксплуатации космического аппарата ReshuCube-1 за первый год работы на орбите	147

Круглый стол

**«СОЗДАНИЕ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА
В ОРГАНИЗАЦИЯХ ГОСПОРКОРАЦИИ „РОСКОСМОС“. МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ
КООПЕРАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ, УНИВЕРСИТЕТОВ, НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
И МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ»**

Красноперов П. М., Черемисин М. В. Акселератор ПАО «РКК «Энергия». Первые результаты	149
Кузьмичев А. С., Рыжаков М. В., Негодяев С. С. Образовательные программы физтех-школы аэрокосмических технологий и опыт совместных НИОКР с предприятиями ГК «Роскосмос»	151
Шишмарёва А. В. Резервы повышения эффективности реализации НИОКТР на основе опыта взаимодействия университета и организаций ракетно-космической отрасли	152

Секция
«КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕРВИСЫ
НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

УДК 004.42

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ
СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ***

К. Э. Гаипов¹, Н. А. Слащев, Д. А. Тауснев,
А. А. Проскурин, К. А. Генниатлин

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
¹E-mail: gaipovke@sibsau.ru

В данной работе рассматривается структура программного обеспечения, которое позволяет осуществить моделирование распределение информационных потоков в спутниковых системах связи.

Ключевые слова: спутниковые сети, оптимальное управление потоками, моделирование спутниковых сетей.

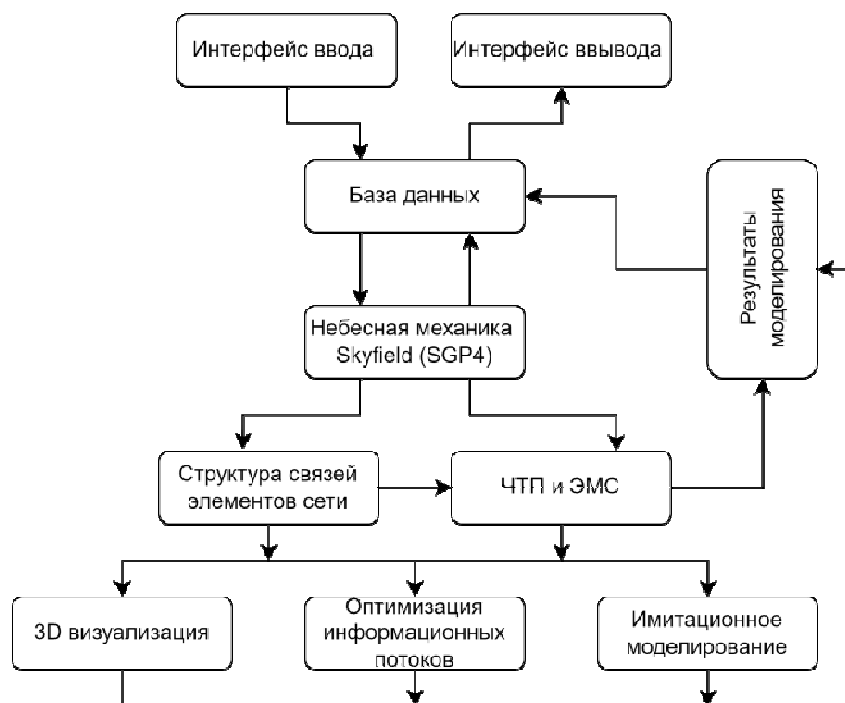
Спутниковые телекоммуникационные системы являются достаточно сложным объектом со множеством параметров, которые нужно учитывать при проектировании: параметры движения спутника по орбите, зоны радиопокрытий, частотное планирование и управление спектром, структура расположения наземных станций, параметры качества обслуживания (вероятность потерь и время задержки), – при этом каждый последующий параметр зависит от предыдущего. В настоящий момент работы в этих направлениях активно ведутся, лидером в этой области можно отметить продукт компании AGISystem Tool Kit [1], другим программным продуктом на базе сетевого симулятора NS3 является проект SNS [2], также следует отметить такой инструмент как Satellite Communications Toolbox [3], интегрированный в среду Matlab. В качестве отечественных программных продуктов следует отметить инструменты от ИКЦ Северная Корона и их САПР Альбатрос [4], а также программа AES описана в [5]. Актуальность такой разработки заключается в большой активности различных стран в создании своих низкоорбитальных спутниковых группировок, в том числе и в России.

Основными элементами разрабатываемого программного обеспечения, является модуль небесной механики, отвечающий за расчет положения космического аппарата относительно Земли. Модуль расчета бюджета радиолинии, модуль расчета зон радиопокрытия и электромагнитной совместимости, модуль расчета оптимального распределения информационных потоков. Модуль трехмерной визуализации, модуль генерации кода имитационной модели спутниковой сети, БД для сохранения результатов моделирования,

* Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М. Ф. Решетнева.

интерфейс ввода и отображения результатов моделирования и исходных данных. Структура взаимодействия блоков приведена на рисунке.

Исходными данными программы являются орбитальные положения спутников заданные Кеплеровскими элементами орбит или строками TLE, данные необходимые для расчета бюджета радиолинии, положение наземных станций абонентских и базовых, параметры информационного потока. После чего запускается симуляция работы сети, в рамках которой рассчитываются положение спутников и наземных станций друг относительно друга. За этот расчет отвечает библиотека Skyfield [6] и встроенная в нее модель орбитального предсказания SGP4. Далее определяются параметры, недостающие для расчета бюджета радиолинии и формирования частотно-территориального плана (ЧТП), такие как углы места и наклонная дальность, ключевыми моментами при расчете ЧТП является определение вида модуляции и помехоустойчивого кода, которые определяют скорость радиолинии, используемую как основной входной параметр для построения математической и имитационной модели. При расчете затухания радиолинии используется методика из [7] с учетом рекомендаций ITU-R серии Р.



Структура программного обеспечения

Особенностью программы является модуль, обеспечивающий расчет оптимальных характеристик спутниковой сети, к таким параметрам относятся вероятность потерь данных, время задержки в канале и маршруте, загрузка каналов связи, распределение частотного диапазона, чего нет ни в одной из существующих программных реализаций.

Разработанная математическая модель в зависимости от выбранных параметров расчета позволяет определить следующие параметры спутниковой сети: обеспечить поиск маршрутов по критерию минимума потерянных информационных пакетов, обеспечить поиск маршрутов по критерию минимальной суммарной задержки, обеспечить двухкритериальную оптимизацию по критерию минимума задержки и потерь, решить задачу параметрического синтеза распределяя частотный диапазон между абонентскими лучами в соответствии запросами абонентов, а также решить все эти задачи с учетом механизма приоритетного обслуживания информационных потоков.

Библиографические ссылки

1. Ansys Government Initiatives: официальный сайт. 2023. URL: <https://www.agi.com> (дата обращения: 05.09.2023).
2. Satellite Network Simulator 3: официальный сайт. 2023. URL: <https://satellite-ns3.com/> (дата обращения: 05.09.2023).
3. ЦИТМ Экспонента : сайт/ документация Satellite Communications Toolbox. Москва : 2023. URL: <https://docs.exponenta.ru/satcom/index.html> (дата обращения: 05.09.2023).
4. Информационный космический центр «Серверная корона» : сайт/ специализированное программное обеспечение. СПб., 2023. URL: <https://spacecenter.ru/Software.htm> (дата обращения: 05.09.2023).
5. Машбиц Л. М., Машбиц Л. М. Компьютерная картография и зоны спутниковой связи. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Горячая линия-Телеком, 2009. 236 с. ISBN 978-5-9912-0086-8.
6. Rhodes Mill : сайт/ Skyfield. 2023. URL: <https://rhodesmill.org/skyfield/> (дата обращения: 05.09.2023).
7. Расчет линий спутниковой связи – Основные понятия и формулы / под ред. С. Елеферов. Дубна : МСЭ, 2006.

© Гаипов К. Э., Слащев Н. А., Тауснев Д. А.,
Проскурин А. А., Генниатлин К. А., 2023

УДК 629.056.8

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАДЕЛ ЛАБОРАТОРИИ
«СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ»
ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА
СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Е. Н. Гарин, В. Н. Тяпкин*

Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79
*E-mail: tyapkin58@mail.ru

В работе показаны основные направления работы лаборатории «Системы навигации, управления и связи» военного учебного центра при ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Представлены результаты выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Ключевые слова: лаборатория, навигация и связь, программное обеспечение, опытный образец.

Лабораторией «Системы навигации, управления и связи» выполняются следующие работы по договорам с заказчиками в интересах МО РФ под военной приемкой:

1. «Создание комплекса технических средств обеспечения функционирования измерительной станции БИС-Н СЕТИ БИС НКУ».
2. «Разработка специального программного обеспечения контроля и управления сетью БИС НКУ для сектора управления средствами НКУ, контроля состояния технических средств и систем центра, контроля взаимодействия с внешними абонентами системы ГЛОНАСС, спецпотребителями и центрами управления КК системы ГЛОНАСС» вычислительного комплекса измерительной станции БИС-Н сети БИС НКУ».
3. «Разработка специального программного обеспечения информационно-вычислительного комплекса измерительной станции БИС-Н сети БИС НКУ».

На сегодняшний день изготовлено 12 опытных образцов КТС БИС-Н СЕТИ БИС НКУ, из них 11 поставлены на пункты эксплуатации космических войск (г. Воркута, г. Комсомольск-на-Амуре, г. Енисейск, г. Омск, г. Краснознаменск, г. Щелково, г. Улан-Удэ, г. Якутск, г. Орск, г. Барнаул, п.г.т. Тикси).

В состав опытных образцов комплексов технических средств БИС-Н, размещаемых на пунктах эксплуатации сети БИС НКУ, входят системы, обеспечивающие температурно-влажностный режим, автономное электроснабжение при перерывах внешнего электропитания, охранную и пожарную сигнализацию, система пожаротушения, система защиты людей от поражения электрическим током (рис. 1).

Кроме этого, лаборатория осуществляет выполнение проектов по заказу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках реализации постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств», ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы», проектах под-держанные РФФИ и РНФ.

В рамках инициативной работы совместно с ВУНЦ «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» проводятся исследования по использованию угломерной спутниковой радионавигационной аппаратуры на БПЛА вертолетного типа (рис. 2).



Рис. 1. Размещение комплексов технических средств в местах дислокации БИС-Н СЕТИ БИС НКУ

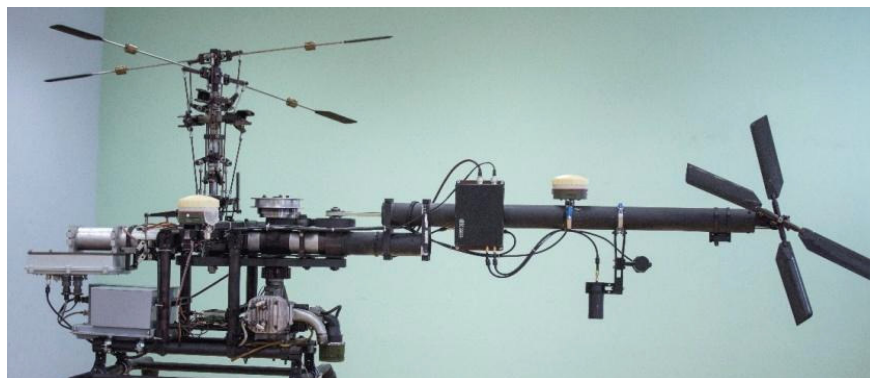


Рис. 2. Навигационный приемник МРК-101 на БПЛА вертолетного типа

Лаборатория занимается разработкой и размещением систем навигации на подвижных объектах военного и гражданского назначения (рис. 3).



Рис. 3. Навигационная угломерная аппаратура на ЗРК С-300

Основным **результатами, полученными при выполнении проектов**, являются:

1. Методы и средства определения навигационных параметров объектов ПВО в боевых условиях с использованием системы «ГЛОНАСС».
2. Методы топографической привязки средств радиолокации с помощью спутниковой радионавигационной системы «ГЛОНАСС».
3. Методы повышения точности и помехоустойчивости наземных приемников, работающих в системе «ГЛОНАСС».
4. Методы взаимной высокоточной навигации малых космических аппаратов.
5. Радионавигационные приемники на воздушных судах различных классов, а также БПЛА.
6. Методы и алгоритмы обработки радиолокационных сигналов.

© Гарин Е. Н., Тяпкин В. Н., 2023

УДК 338

СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Н. Г. Горбановский

Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»
Российская Федерация, 107996, г. Москва, ул. Щепкина, 42
E-mail: Gorbanovsky.NG@roscosmos.ru

Рассматривается необходимость срочного изменения стратегии технологического развития отрасли, диверсификации производства и импортозамещения ключевых разработок и технологий отечественными аналогами в условиях санкционного давления.

Ключевые слова: технологический суверенитет, научно-технический потенциал, космическая отрасль, санкции.

Начало 2022 года было ознаменовано новыми тяжелыми вызовами для Российской Федерации во всех высокотехнологичных отраслях экономики. Космическая отрасль одной из первых приняла на себя санкционный удар недружественных стран. Возникла необходимость срочного изменения стратегии технологического развития отрасли, диверсификации производства и импортозамещения ключевых разработок и технологий отечественными аналогами.

Российская Федерация неспроста является флагманом на мировой арене космических сверхдержав. Обладая колоссальным научно-техническим потенциалом важно не только сохранить и приумножить эти знания, но и правильно ими управлять.

С целью достижения поставленных целей Госкорпорацией «Роскосмос» совместно с организациями ракетно-космической отрасли была проведена большая отраслевая инвентаризация результатов государственных контрактов, в рамках которой было выявлено и оформлено более 30000 материальных и более 10000 нематериальных активов. Несмотря на то, что при проведении инвентаризации учитывались все выявленные объекты, основной упор все же делался на ключевые стратегические технологии и технические решения. Такая градация была обусловлена в первую очередь тем, что актив, в материальном своем выражении, имеет свойство изнашиваться и морально устаревать в достаточно короткий промежуток времени, в то время как интеллектуальные активы, созданные нашими разработчиками, в научном смысле очень гибкие, что позволяет их дорабатывать, используя в качестве научно-технического задела в новых работах, а некоторые и вовсе опередили свое время на десятилетия.

Отдельно необходимо отметить, что в нынешних реалиях обеспечивать технологические прорывы в аналоговом режиме попросту невозможно. Для этого необходима срочная цифровая трансформация среды, которая не только обеспечит быстрое и эффективное взаимодействие государственных заказчиков с промышленностью и научными организациями, но и исключит утечку (утрату) стратегически важных научных разработок.

Вместе с тем достижение технологического суверенитета в агрессивной среде мировой экономики и постоянного противодействия со стороны недружественных стран путем одного только наращивания «интеллектуальных мускул» представляется малоэффективным. Интеллектуальная собственность должна быть вовлечена в экономический оборот как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

С целью решения данной задачи Госкорпорацией «Роскосмос» было поручено организациям космической отрасли обеспечить проведение мероприятий, направленных на увеличение чистых активов до положительного значения, в том числе за счет выявления имущества и имущественных прав, принадлежащих самим организациям с последующей оценкой и постановкой их на баланс в качестве активов, а также на основании материалов проведенной отраслевой инвентаризации составить перечень коммерчески значимых технологий, в получении которых заинтересованы организации, для их последующего внесения в качестве имущественного вклада Российской Федерации. Полученные таким образом организациями Госкорпорации «Роскосмос» активы смогут быть беспрепятственно вовлечены в экономический оборот.

Указанные мероприятия направлены на упрощение работы с интеллектуальным капиталом космической отрасли и расширение возможностей всех участников рынка, что позволит привлечь дополнительные инвестиции в отрасль, сократить расходы и сроки создания продукции, существенно улучшив технические характеристики, а также позволит дать достойный ответ на современные вызовы, эффективно обеспечив достижение технологического суверенитета, сохранив статус Российской Федерации как ключевого игрока на мировой космической арене.

© Горбановский Н. Г., 2023

УДК 629.783

ЗАПУСК СПУТНИКОВЫХ СЕРВИСОВ НА БАЗЕ УНИВЕРСИТЕТОВ

А. А. Домненко, П. Д. Овчинникова, С. В. Токарева

ООО «Спутниковая связь»

Российская Федерация, 660028, г. Красноярск, ул. Телевизорная, 1

E-mail: info@satsvyaz.ru

В тезисах раскрываются требования пользователя к телеком-сервисам и предлагается объединить усилия высших учебных заведений, игроков рынка спутниковой связи и государственных структур для решения реальных отраслевых задач.

Ключевые слова: спутники, связь, бизнес, образование, государство.

Спутник – безальтернативное решение не только в труднодоступных регионах, где нет оптоволоконных и сотовых телеком-операторов, но и единственный способ удовлетворить растущие запросы потребителя услуг связи, которые выражаются в следующем:

- ежегодный рост трафика (в 2019 – 41 зеттабайт, в 2021 – 79 ЗБ, в 2023 – 120 ЗБ, в 2025 году прогнозируется 181 ЗБ) [1];

- потребность в глобальной мобильности, из-за чего связь должна быть повсеместно доступной. Это обуславливает возникновение и популяризацию беспилотных систем, а также развитие сервисов связи для железнодорожного [2], морского и авиатранспорта.

- рост скорости интернет-соединения. По данным Speedtest, средняя скорость интернет-соединения в Сингапуре составляет 254,65 Мбит/с, в то время как в России только 80,52 Мбит/с [3].

Несмотря на вышеперечисленные факторы, количество российских спутников увеличивается медленно. Так, в 2022 году США вывели на орбиту 87 космических аппаратов, Китай – 64, Россия – 21 КА [4]. Чтобы ускорить решение отраслевых задач, в том числе продиктованных пользователем, России необходимо развитие группировок малых и сверхмалых спутников совместными усилиями школьников, студентов инженерных вузов, бизнеса и государства.

Практика привлечения школьников и студентов к конструированию и запуску спутников уже есть и в мире, и в России в частности [5; 6]. Количество запусков спутников CubeSat неуклонно растёт: в 2021 году состоялось 326 запусков в мире, в августе 2022 – уже 3096 [7]. Однако CubeSat, разработанные студентами, не решают злободневных задач спутникового телекома, поскольку конструируются и запускаются в отрыве от потребностей пользователя, не с целью обеспечения услуг связи, ДЗЗ, телевидения и т. д. Бизнесу может быть выгодна ликвидация этого разрыва при условии, что государственные структуры возьмут на себя роль посредника между действующими игроками рынка (производителями спутникового оборудования и ракет, операторами связи, центрами микроэлектроники и т. д.) и образовательными организациями и будут координировать усилия для решения реальных задач, в числе которых сейчас находится разработка российского наземного спутникового оборудования, конструирование многолучевых спутниковых систем, поиск технологий шифрования сигнала для его защиты от искажения и перехвата и т. д.

Таким образом, при стратегии win-win бизнес получит решение остро стоящих задач и восполнит кадровый дефицит, государство ускорит реализацию нацпроектов «Наука и университеты» и «Цифровая экономика», а образовательные организации будут выпускать компетентных востребованных специалистов, готовых к борьбе на рынке труда.

Библиографические ссылки

1. Абдрахманова Г. И., Васильковский С. А., Вишневский К. О. и др. Тенденции развития интернета: от цифровых возможностей к цифровой реальности. Аналитический доклад. М. : Высшая школа экономики, 2022. 228 с. URL: <https://clck.ru/35mmbw> (дата обращения: 18.04.2023).
2. Comnews. Пассажиры МЦД во втором квартале пользовались публичным Wi-Fi чаще, чем в начале года. 02.08.2023. URL: <https://clck.ru/35mmcg> (дата обращения: 30.09.2023).
3. Ookla. Median Country Speeds August 2023. 19.09.2023. URL: <https://clck.ru/sGkwA> (дата обращения: 30.09.2023).
4. Bryce Tech. 2022 Orbital Launches Year in Review. 02.2023. URL: <https://clck.ru/35mmdz> (дата обращения: 30.09.2023).
5. Российская газета. Видео: Ракета-носитель «Союз-2.1б» с иранским спутником и 16 малыми аппаратами стартовала с Байконура. 09.08.2022. URL: <https://clck.ru/35mmef> (дата обращения: 30.09.2023).
6. ТАСС. Российские и китайские студенты собрали спутник для запуска с космодрома Восточный. 07.09.2023. URL: <https://clck.ru/35mmfh> (дата обращения: 30.09.2023).
7. РБК Тренды. Космос, доступный студентам: что могут спутники CubeSat и сколько стоят. 26.10.2022. URL: <https://clck.ru/343tnh> (дата обращения: 30.09.2023).

© Домненко А. А., Овчинникова П. Д., Токарева С. В., 2023

УДК 629.086

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАТНЫХ СРЕДСТВ УКВ-СВЯЗИ

Д. А. Мастеренко

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Российская Федерация, 127055, Москва, Вадковский пер., 1

E-mail: d.masterenko@stankin.ru

Описано применение аналоговых УКВ-радиостанций для передачи информации о местоположении и движении транспортных средств. Спутниковые навигационные приёмники используются как для получения навигационных параметров, так и для синхронизации связи.

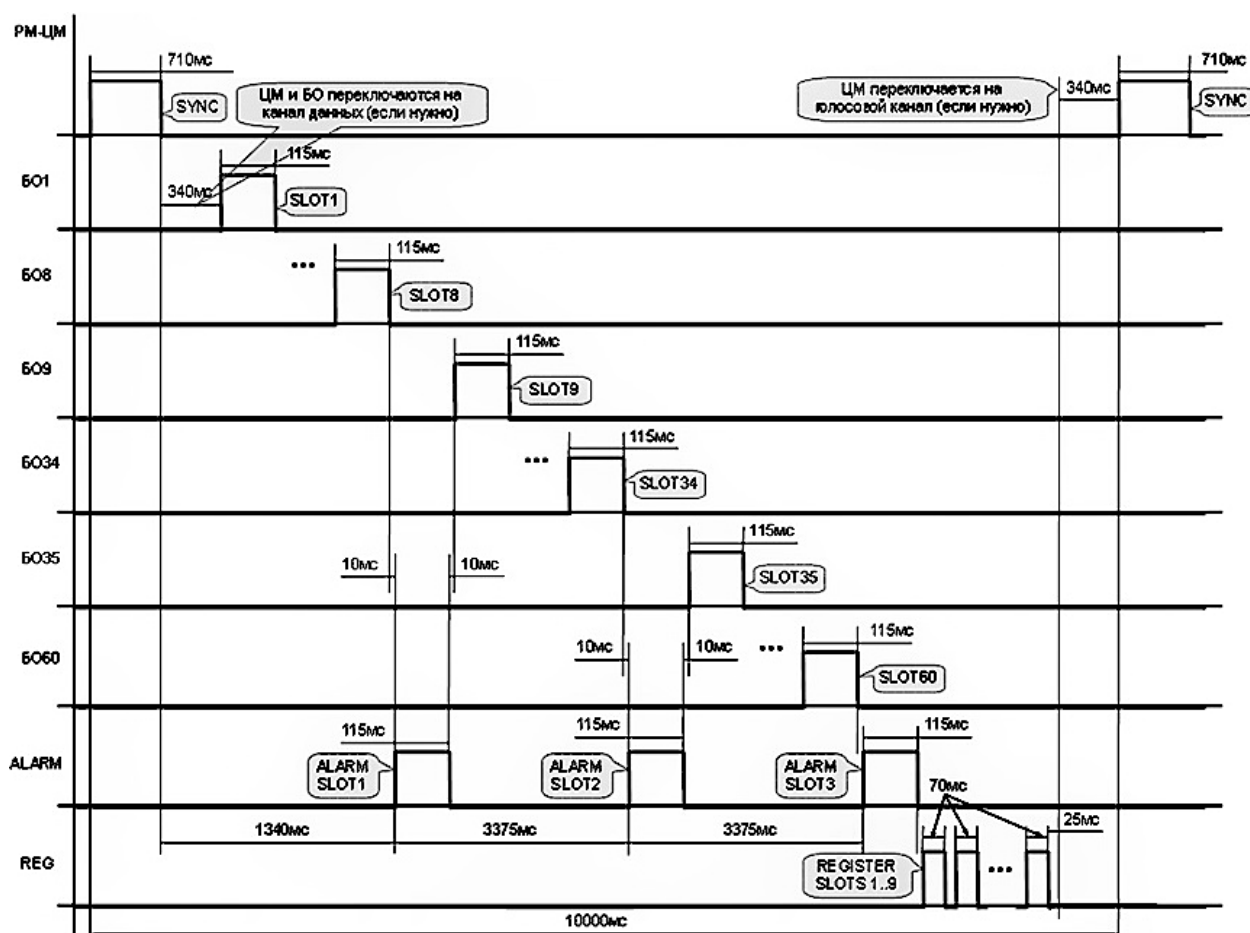
Ключевые слова: ГЛОНАСС, УКВ, мониторинг, навигационные параметры, синхронизация.

Системы мониторинга транспортных средств, основанные на использовании глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС), получили широкое распространение. В подобных системах транспортные средства оснащаются бортовым оборудованием (БО), определяющим навигационные параметры при помощи спутникового навигационного приёмника и передающим данные в центр мониторинга (ЦМ) по какому-либо каналу связи. В коммерческих системах обычно используются каналы мобильной связи GSM/3G/4G. При мониторинге служебного автотранспорта использование мобильной связи сопряжено с рядом сложностей, которые технически могут быть преодолены построением собственной ведомственной цифровой сети радиосвязи, но с организационной и финансовой точек зрения это также проблематично.

В качестве другого решения было предложено передавать данные через штатные аналоговые УКВ-радиостанции, которыми оснащены все служебные автомобили и по которым происходят переговоры экипажей и дежурного [1]. Чтобы передача данных не мешала голосовым переговорам, использована следующая особенность радиостанций (например, «Волна-201»): БО через системный разъём переключает радиостанцию на альтернативную частоту, передаёт данные в виде посылки с FFSK-модуляцией [2], а затем возвращает радиостанцию на основную частоту. Передача посылки занимает около 300 мс и не мешает голосовой связи.

Дальнейшее развитие описанная схема связи получила в опытно-конструкторской работе, в ходе которой разработаны способы двунаправленной и многоканальной связи по УКВ-каналу [3–5]. Обмен данными осуществляется кадрами длительностью по 10 с (см. рисунок). Каждый кадр начинается с синхропосылки (СП) от радиомодема ЦМ (РМ-ЦМ), в которой могут содержаться команды БО с определёнными адресами. Получив СП, каждая единица БО в очерёдности, соответствующей адресам, производит переключение радиостанции на канал данных и отправляет посылку, содержащую навигационную информацию и состояние датчиков. Предусмотрены временные слоты для внеочередной передачи тревожных сообщений, а также для автоматической регистрации БО, впервые попадающего в зону действия системы.

При наличии в сети УКВ-связи ретрансляторов СП от ЦМ может не доходить до БО. Кроме того, не все производители БО поддерживали двусторонний УКВ-канал. Чтобы и в таких условиях передача данных хотя бы от БО к ЦМ была возможна, СП РМ-ЦМ привязаны к времени UTC по сигналам ГНСС [5].



Временной кадр передачи навигационных данных

Таким образом, разработана схема связи, обеспечивающая двустороннюю связь и выполнение ведомственных требований: опрос не менее 6 БО в секунду, до 60 устройств в одном канале, доставка тревожных сообщений за время не более 10 секунд.

Библиографические ссылки

1. Мастеренко Д. А. Об особенностях организации связи с подвижными объектами в системах мониторинга автотранспорта // Современные технологии безопасности. 2007. № 2(21). С. 17–19.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М. : Вильямс, 2003. 1104 с.
3. Мастеренко Д. А., Морозов А. А., Сёмин И. М., Сердцев А. В. Способ связи при мониторинге и управлении подвижными объектами / Патент на изобретение RU 2470489, 20.12.2012.
4. Мастеренко Д. А., Морозов А. А., Сёмин И. М., Сердцев А. В. Способ связи при мониторинге и управлении подвижными объектами / Патент на изобретение RU 2470489, 27.12.2012.
5. Мастеренко Д. А., Морозов А. А., Сёмин И. М., Сердцев А. В. Способ многоканальной связи при мониторинге и управлении подвижными объектами / Патент на изобретение RU 2468531, 27.11.2012.

© Мастеренко Д. А., 2023

УДК 004.023

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Д. А. Тауснев, К. Э. Гаипов *

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
*E-mail: gaipovke@yandex.ru

*Одним из решений повышения качества функционирования сети является точное оп-
ределение оптимальных маршрутов передачи данных. В данной работе представлен но-
вый алгоритм, решающий данную задачу за короткое время. В отличие от известных
нам алгоритмов, данный алгоритм способен решать задачи большой размерности.*

Ключевые слова: оптимизация, распределение трафика, телекоммуникационные сети.

Управление информационными потоками является неотъемлемой частью любой теле-
коммуникационной сети, традиционно такую роль обеспечивают протоколы динамиче-
ской маршрутизации. Как правило, на такие протоколы возлагается ряд требований, они
должны максимально быстро находить маршруты передачи данных, а следовательно,
алгоритмически достаточно просты, к основным протоколам маршрутизации применяе-
мым в IP сетях можно отнести OSPF, IS-IS, в основе которых лежит алгоритм Дейкстры.
Данные протоколы обеспечивают поиск одного оптимального маршрута либо нескольких,
но с одинаковой метрикой, дальнейшее их усовершенствование и совместная работа
с протоколом RSVP и технологией MPLS привела к появлению технологии traffic
engineering [1], это позволило определять маршрут для MPLS учитывая не только полосу
пропускания каналов, но и их загруженность, но тем не менее, поиск осуществляется только
одного маршрута. В случае если необходимо организовать несколько маршрутов между
отправителем и получателем, необходимо предварительно определить требуемое число
туннелей и задать коэффициенты балансировки нагрузки между туннелями. Следующей
эволюцией в маршрутизации является применение таких технологий, как программно-
конфигурируемые сети (SDN – Software Defined Networking) и технология сегментной
маршрутизации [2], гибкость заложенных механизмов с централизованным управлением
позволяет создавать практически любые алгоритмы маршрутизации, но, как правило,
логика таких механизмов является коммерческой тайной производителя сетевого обо-
рудования и реализована в контроллере SDN, тем не менее, такой подход теоретически по-
зволяет максимально эффективно использовать ресурсы сети, применяя методы многопу-
тевой маршрутизации [3; 4]. Особенно актуальным является применение многопутевой
маршрутизации в беспроводных сетях, поскольку такие сети всегда работают в ограни-
ченном частотном диапазоне, и поэтому требуется его рациональное использование. Под-
ход к реализации алгоритма поиска оптимальной многопутевой маршрутизации по крите-
рию минимума потерь приведён ниже.

Пусть дана сеть с m абонентами и n промежуточными узлами. Известны следующие техни-
ческие характеристики сети: μ_{ij} – интенсивность обслуживания канала от узла C_i к узлу C_j
и N_{ij} – число мест в буфере соответствующего канала ($i \neq j, i, j = \overline{1, n}$). Известно количество
информации c_{ij} , которое необходимо передать от абонента A_i к абоненту A_j . Известная не-
которая функция вероятности потерь $p(x, \mu, N)$, где x – интенсивность загрузки канала.

Обычно в данной задаче за переменные берут x_{ijk} количество информации от абонента A_k , проходящей по каналу H_{ij} ($i \neq j, j = \overline{1, n}$). И сводят к задаче условной оптимизации с ограничениями вида

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \cdot \frac{1 - \frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}}{1 - \left(\frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}\right)^{N_{ij}+1}} \cdot \left(\frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}\right)^{N_{ij}} = \sum_{i=1}^n x_{ijk} - \sum_{i=1}^n x_{jik} - c_{kj} + \text{inp}_{jk} \quad \# \quad (1)$$

Наличие нелинейных ограничений значительно усложняет задачу оптимизации. На практике численные методы уже с трудом справляются с данной задачей при $n > 6$.

Иногда в качестве переменных можно брать x_{ijk} интенсивности потоков информации от абонента A_i к абоненту A_j по всевозможным маршрутам k . Но сложность задачи растёт как факториал от размера сети (на полносвязных графах), поэтому этот подход является ещё более непрактичным, чем первый. И всё же, преимуществом данного подхода является меньшее количество ограничений.

В первую очередь нами был разработан алгоритм вычисления целевой функции для второго случая. Преимуществом данного подхода является отсутствие нелинейных ограничений.

Во-вторых, нами был разработан алгоритм нахождения перспективных направлений спуска для каждой пары (A_i, A_j) . Таким образом, сложность задачи была снижена с $O((n+1)!)$ до $O(n^3)$:

$$x_{ij}^* = \min_k f'_{x_{ijk}} \quad \# \quad (2)$$

В-третьих, нами был реализован покоординатный спуск, согласно лучшим маршрутам из предыдущего алгоритма, обновляемым на каждом шаге.

Таким образом, был разработан алгоритм решения задачи оптимизации трафика в телекоммуникационной сети по критерию минимизации потерь. На малых задачах он работает не хуже известных алгоритмов. Численно проверено, что получаемые решения на больших задачах незначительно отличаются от оптимума. Более того, задачу для $n = 40$ узлов алгоритм решает примерно за 1,5 секунды, тогда как известными методами не удаётся решать задачи даже для $n = 10$ узлов за приемлемое время.

Библиографические ссылки

1. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. Технология и протоколы MPLS. СПб. : БХВ-Петербург, 2014. 304 с.: ил.
2. Shvedov A. V., Gadasin D. V., Alyoshintsev A. V. Segment routing in data transmission networks // T-Comm. 2022. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/segment-routing-in-data-transmission-networks> (дата обращения: 06.09.2023).
3. Шувалов В. П., Варакина И. Ю. Классификация методов многопутевой маршрутизации // T-Comm. 2014. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-metodov-mnogoputevoy-marshrutizatsii> (дата обращения: 06.09.2023).
4. Иванов В. И. Централизованный метод балансировки нагрузки в низкоорбитальной спутниковой системе // T-Comm. 2014. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsentralizovannyy-metod-balansirovki-nagruzki-v-nizkoorbitalnoy-sputnikovoy-sisteme> (дата обращения: 06.09.2023).

УДК 629

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ СЕРВИСОВ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ «ГОНЕЦ»

П. Г. Черенков – генеральный директор АО «СС «Гонец»

А. В. Манойло – заместитель генерального директора по эксплуатации АО «СС «Гонец»

М. Н. Диордиев – директор дирекции АО «СС «Гонец»

АО «Спутниковая система «Гонец»

Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Бауманская, 53/2

E-mail: info@gonets.ru

В презентации представлено перспективное оборудование, сферы использования и отраслевые решения с использованием каналов связи спутниковой системы «Гонец», а также новые программные разработки системы «Гонец».

Спутниковая система «Гонец» – это многофункциональная система персональной спутниковой связи. Штатная группировка системы состоит из 12 космических аппаратов, расположенных на низких орбитах (высота орбиты до 1 500 км) и обеспечивает пакетную передачу данных из любой точки Земли.

Спутниковое оборудование и каналы связи системы «Гонец» могут применяться для цифрового мониторинга подвижных и стационарных объектов рыбопромыслового флота, лесозаготовительной отрасли, добывающей промышленности, электросетевого хозяйства, автомобильного и железнодорожного транспорта. Система «Гонец» может использоваться для передачи данных в чрезвычайных ситуациях и для персональных коммуникаций. Рассматриваются также различные перспективные варианты применения системы.

АО «Спутниковая система «Гонец» совместно с партнерами постоянно работает над улучшением качества предоставляемых услуг и разрабатывает новое оборудование, более усовершенствованное по своему функционалу. Перспективное оборудование системы «Гонец» более компактное и удобное в установке и применении. Представлены перспективные образцы оборудования.

Новые программные разработки системы «Гонец» значительно упрощают процесс отправки или получения сообщений и передачи координат. Представлен интерфейс и базовый функционал перспективных разработок спутниковой системы «Гонец».

С помощью системы «Гонец» можно обеспечить спутниковыми каналами связи объекты различных отраслей вне зон обслуживания наземных сетей связи. Информация передается по защищенным каналам связи, что гарантирует ее конфиденциальность. Абонентское оборудование системы «Гонец» может легко интегрироваться в различные системы заказчика в зависимости от целей их применения.

Спутниковая система «Гонец» является единственной отечественной подвижной системой спутниковой связи, обеспечивающей возможность передачи данных с мобильных и стационарных объектов в глобальной зоне обслуживания.

© Черенков П. Г., Манойло А. В., Диордиев М. Н., 2023

Секция
«АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ
И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

УДК 629.7

**РАБОТЫ МАИ В ОБЛАСТИ СВЕРХНИЗКООРБИТАЛЬНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

А. В. Богатый

Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет) –
МАИ
Российская Федерация, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4
E-mail: ckt@mai.ru

Предложен подход к созданию космической системы со сверхнизкоорбитальными космическими аппаратами; имеющийся задел по «атмосферной» двигательной установке.

Использование преимуществ сверхнизких высот при доступных массогабаритных и энергетических возможностях низкоорбитального космического аппарата (КА), позволяет проектировать малые КА (МКА) дистанционного зондирования Земли с характеристиками по линейному разрешению сравнимыми с аналогичными характеристиками целевой аппаратуры полноразмерных КА, построенных в традиционном исполнении с применением современных технологий.

Основные достоинства многоспутниковых орбитальных группировок:

- получение качества космической информации, недоступного для одиночного КА;
- совместный одновременный просмотр одного явления в нескольких физических полях, синергический эффект;
- формирование синтезированной апертуры (оптической, радиолокационной);
- меньшие затраты на изготовление (в два-пять раз на килограмм веса);
- высокая живучесть орбитальной группировки за счет её структурной избыточности,
- возможность использования нерадиационностойких комплектующих общепромышленного назначения;
- отсутствие засорения околоземного пространства в случае выхода из строя в связи с быстрым сходом с орбиты.

В настоящее время сверхнизкие орбиты (СНО) масштаба 200 км не освоены. Это связано с тем, что на таких высотах остаточная атмосфера оказывает существенное воздействие на космический аппарат. На круговой орбите высотой 250 км время баллистического существования КА массой 100 кг и диаметром 1 м составит в среднем 7 суток, а на высоте 200 км в среднем всего 1,2 суток [1]. Поэтому для обеспечения срока активного существования КА на заданной орбите на уровне сроков активного существования МКА на орбитах 500 км (коммерческие) и более, необходимо иметь двигательную установку для компенсации торможения.

Требуемая двигательная установка может быть построена как по традиционной схеме, когда запас рабочего вещества хранится на борту КА и используется на протяжении полёта, так и по перспективной, когда рабочее вещество забирается из окружающей среды.

Во втором случае длительность существования КА на СНО будет определяться ресурсом конструкции, а не запасом рабочего вещества. В обоих случаях потребуется разработка высокоресурсного энергоэффективного электрореактивного двигателя (ЭРД).

В МАИ создан существенный задел как по высокоресурсным ЭРД, так и по двигателю, работающему на смеси атмосферных газов. На созданном специально для испытаний «атмосферных» ЭРД стенде продемонстрирована эффективная работа двигателя на смеси атмосферных газов соответствующей высотам полета 200–240 км [2; 3]. Экспериментально продемонстрирована стойкость конструктивных материалов двигателя на основе Ti и Mo под воздействием ионов и радикалов атмосферных газов. В АО «ЦАГИ» разработано устройство забора атмосферных газов и осуществлена экспериментальная продувка его макета [2; 3]. Теоретически и экспериментально показано, что в достижимо:

- торможение набегающего газа до тепловых скоростей;
- полная рекомбинация ионов;
- повышение концентрации молекул – в ~500 раз относительно окружающей среды.

Для создания КА с атмосферным двигателем необходимо решить не только ряд ключевых научно-практических задач, но детально проработать концепцию создания принципиально новой (с точки зрения эксплуатации) космической системы. В ходе создания концепции разработать требования к аппарату и его подсистемам; создать и провести лётные испытания КА-демонстратора, которые должны дать ответ на вопрос возможности и целесообразности применения как традиционной двигательной установки, так и «атмосферной».

Библиографические ссылки

1. Таблицы физических величин : справочник / под ред. акад. И. К. Кикоина. М. : Атомиздат, 1976. 1008 с.
2. Инженерный журнал: наука и инновации / С. В. Гордеев, С. В. Канев, А. В. Мельников, И. П. Назаренко, С. А. Хартов. 2022. № 5. Май. URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033> (дата обращения: 04.04.2023).
3. Гордеев С. В., Мельников А. В., Хартов С. А. Тепловые процессы в технике. 2022. Т. 14, № 10. С. 457–465.

© Богатый А. В., 2023

УДК 004.023

ЭФФЕКТИВНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ В БОРТОВЫХ СЕТЯХ

А. А. Карандашев¹, В. Л. Оленев²

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
Российская Федерация, 190000, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 67, лит. А

E-mail: ¹aleksandr.karandashev@guap.ru, ²Valentin.Olenov@guap.ru

В исследовании рассматривается однопутевая сетевая маршрутизация сетей с червячной коммутацией и её актуальность. Предлагается открытый эвристический метод построения конфигураций червячных маршрутов.

Ключевые слова: червячная коммутация, эвристика, однопутевая маршрутизация, бортовые сети, передача данных.

Важную роль в современных космических аппаратах играют бортовые сети. Именно при помощи бортовых сетей происходит обмен данными между всеми устройствами на борту, не смотря на высокую скорость обработки данных и даже условия космоса. В современном мире непрерывающейся гонки и технологического прогресса скорость обмена данными и получение наиболее полной информационной картины становится критически важно. Для этого необходимо обеспечивать высокую скорость передачи данных соответствующую развитию бортовых и наземных вычислителей, для обеспечения их полного рабочего потенциала.

Высокую скорость передачи данных позволяют достичь различные технологии, одной из которых является технология червячной коммутации. Она позволяет передавать данные по сети напрямую, не резервируя буферы в промежуточных устройствах при передаче каждого пакета. Это позволяет повысить скорость передачи и понизить стоимость оборудования, поскольку не нужно реализовывать множество больших буферов и обеспечивать их стабильную работу на борту космического аппарата.

Для сетей с червячной коммутацией важно правильно организовать маршрутизацию пакетов с данными. Необходимо проверить каждый маршрут чтобы в сети не было блокировок и маршруты не терялись, максимально быстро достигая своих пунктов назначения, а не простаивая в очередях на использование канала передачи. Для этого следует составить эффективную конфигурацию червячных маршрутов.

Подобными исследованиями уже занимались различные авторы [1–3]. В своих исследованиях они обозначили проблему как «Однопутевая сетевая маршрутизация с максимальной пропускной способностью при распределении потоков в соответствии с максимально-минимальной справедливостью» (Max-Throughput Single-Path Network Routing subject to Max-Min Fair – MT-SPNR-MMF) и «Максимально-минимальная справедливость с неразделимыми путями» (Max-Min Fairness with Unspliable Paths – MMFUP). В своем исследовании мы обозначаем проблему как «Однопутевая сетевая маршрутизация сетей с червячной коммутацией» (ОСМСЧК). Обозначенная проблема является NP-трудной вычислительной задачей [1; 2]. Для её разрешения необходимо формирование эвристики, позволяющей получить эффективную конфигурацию беступиковых маршрутов в сетях с червячной коммутацией.

В своем исследовании мы предлагаем эвристику позволяющую получать эффективную конфигурацию маршрутов, учитывая время передачи данных каждого маршрута и время передачи данных по всей сети. Реализованное программное обеспечение [4] показывает эффективность разработанной эвристики по сравнению с ручным подбором маршрутов и позволяет получить результат за разумное время.

В результате проделанной работы обозначена актуальность исследования. Согласно проведенному обзору, не было обнаружено завершенных эвристических методов построения конфигураций червячных маршрутов в открытом доступе. Насколько нам известно, это первое подобное исследование в Российской Федерации. Проведенные эксперименты показали работоспособность предлагаемого метода и разумное вычислительное время.

Библиографические ссылки

1. Dinechin B., Graillat A. Feed-Forward Routing for the Wormhole Switching Network-on-Chip of the Kalray MPPA2 Processor. *Proceedings of the 10th International Workshop on Network on Chip Architectures*, 2017, pp. 1–6. Doi:10.1145/3139540.3139542.
2. Amaldi E., Coniglio S., Gianoli L., Ileri C. On single-path network routing subject to max-min fair flow allocation. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 2013, pp. 543–550. Doi: 10.1016/j.endm.2013.05.136.
3. Nace D., Pioro M. Max-min fairness and its applications to routing and load-balancing in communication networks: a tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2008, vol. 10, no. 4, pp. 5–17. Doi:10.1109/SURV.2008.080403.
4. Olenov V. L., Lavrovskaya I. I., Korobkov I. L., Kurbanov L. I., Sheynin Y. E. Algorithms and methods for Design and Simulation of Onboard SpaceWire Networks. *2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019)*, 2019, pp. 1–11. Doi:10.1109/WECONF.2019.8840133.

© Карандашев А. А., Оленев В. Л., 2023

УДК 621.396.677

АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ*А. Н. Космынин¹, А. А. Афонин²

Научно-исследовательский центр «Телекоммуникаций»
 Московского физико-технического института
 (национального исследовательского университета)
 Российская Федерация, 141701, Московская область, г. Долгопрудный,
 Институтский пер., 9
 E-mail: ¹kosmynin.an@mipt.ru, ²afonin.aa@mipt.ru

Для современных спутниковых систем требуются абонентские устройства для предоставления сервисов в сегментах B2C, B2B, B2G. Важнейшим элементом АТ является антенная система. Существует ряд подходов к их построению. В докладе приведен краткий обзор антенны для АТ.

Ключевые слова: спутниковая группировка, абонентский терминал, антенна, спутниковая связь.

Введение

При создании АТ используются различные архитектуры антенн [1, 2, 3]. Классические подходы имеют ряд ограничений. Развиваются новые подходы: ФАР на многоканальных микросхемах, метаповерхности [4–7].

Антенны для низкоскоростных спутниковых систем

Низкоскоростные антенные системы, как правило, работают в диапазонах менее 5 ГГц со сниженными требованиями к бюджету радиолинии. В качестве антенных систем применяются патч-элементы. Пример представлен на рис. 1.

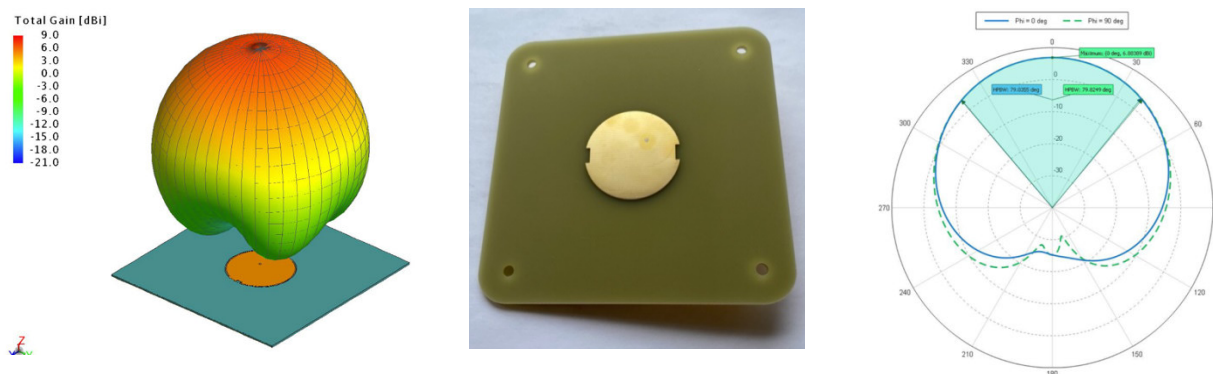


Рис. 1. Патч-антенны для низкоскоростных систем связи

Преимущество: простота и низкая себестоимость.

Антенны для систем широкополосного доступа. Фазированные решетки ФАР

Для обеспечения широкополосного доступа требуется увеличивать бюджет радиолинии, что требует перехода в высокие частоты и увеличения направленности антенной системы. Для решения таких задач применяются ФАР. Пример показан на рис. 2.

* Поддержано Федеральной программой академического лидерства «Приоритет 2030».

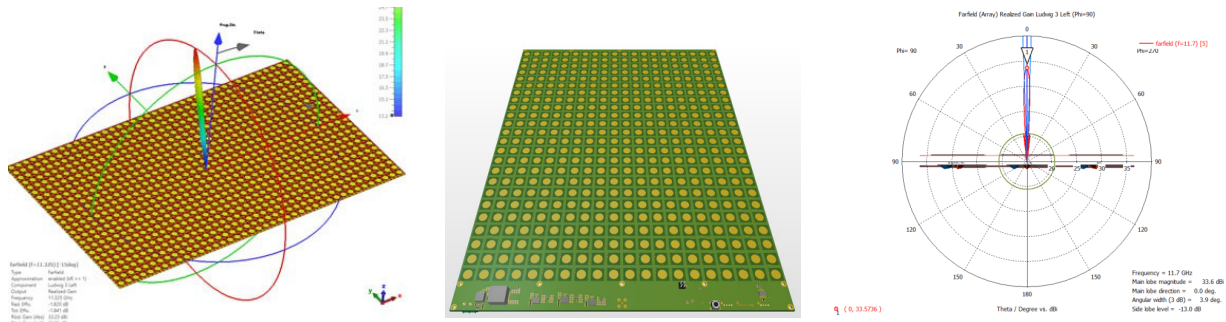


Рис. 2. ФАР для системы широкополосного доступа

Преимущество – высокая энергетика радиолинии, большой сектор сканирования.
Ограничение высокая себестоимость и сложность устройства.

Антенны для систем широкополосного доступа. Метаповерхности МПА

Для снижения себестоимости антенной части для АТ рассматриваются альтернативные методы построения. В частности, метаповерхности. Пример МПА показан на рис. 3.

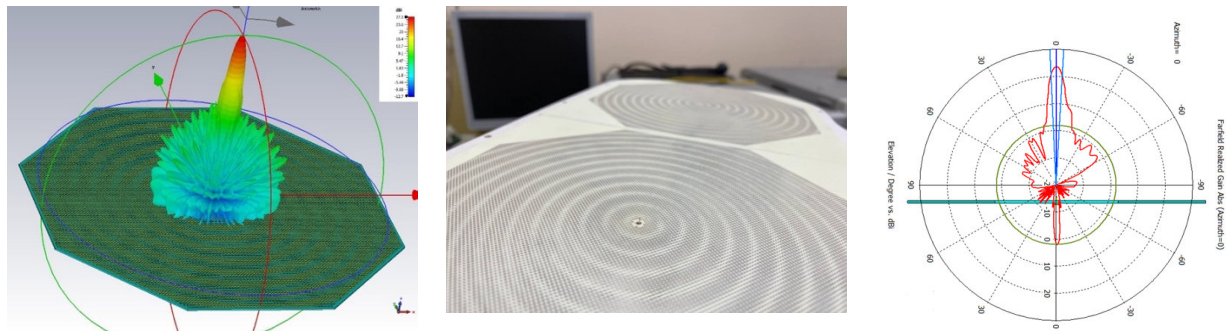


Рис. 3. Антенна на основе метаповерхности

Преимущество – простота структуры и серийного производства.
Ограничения – ограниченность электродинамических параметров и сложность электронного отклонения луча.

Многочувствительные антенные системы

У Фазированных решеток и метаповерхностей общим ограничением является невозможность эффективной работы через группу лучей. Для решения данной проблемы используются гибридные структуры ФАР и фокусирующих планарных радиолинз. Пример приведен на рис. 4.

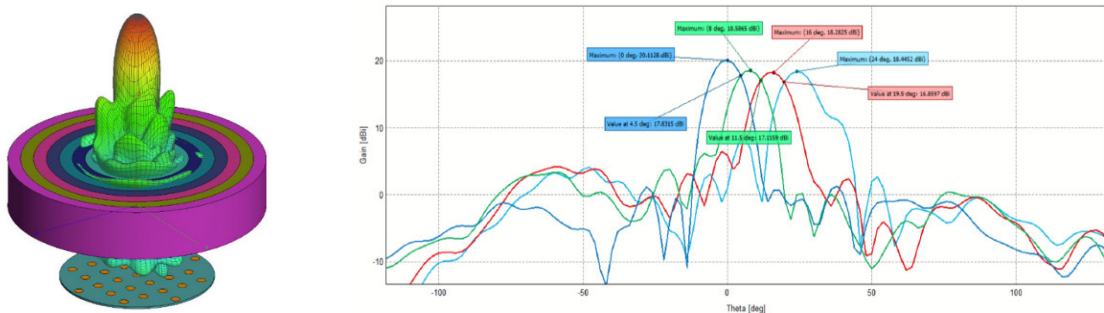


Рис. 4. Многочувствительная антенна на основе градиентной радиолинзы

Преимущество – простота структуры, работа через несколько лучей и электронное управление лучом. Ограничения – ограниченность коэффициента усиления, сектора сканирования и большой профиль антенны.

Заключение

В настоящий момент ведется большое число разработок в области антенной техники. Наибольшее распространение получили фазированные решетки, патч-антенны. Менее распространены антенны на основе радиолинз. Растет интерес в сторону метаповерхностей.

Библиографические ссылки

1. A Beam-Steering Solution with Highly Transmitting Hybrid Metasurfaces and Circularly Polarized High-Gain Radial-Line Slot Array Antennas / Afzal, Muhammad U., Esselle, Karu P., Koli, Mst Nishat Yasmin / 2022.
2. A Review of 3D Printed Gradient Refractive Index Lens Antennas / Munina Irina, Grigoriev Igor, O'Donnell Garret, Trimble Daniel / 2023.
3. A Scalable Dual-Polarized 256-Element Ku-Band SATCOM Phased-Array Transmitter with 36.5 dBW EIRP Per Polarization / Abdurrahman H. Aljuhani, Tumay Kanar, Samet Zahir, Gabriel M. Rebeiz / 2018.
4. Compact High-Gain Volumetric Phased Array Antenna with Genetically Designed Inter-element Resonances for 5G Applications / Vladimir Denisovich Burtsev, Tatyana S. Vosheva, Nikita O. Bulatov, Anton A. Khudykin, Pavel Ginzburg, Dmitry S. Filonov / 2023.
5. Research of the Characteristics of the Parabolic Reflector during Its Natural Oscillations / Pyatibratov Konstantin Alekseevich; Seregin Grigory Mikhailovich / 2023.
6. Design of a multibeam metasurface antenna for LEO satellite communications payload / A. V. Chesnitskiy, A. N. Kosmynin, K. N. Kosmynina, and K. V. Lemberg / 2022.
7. Multibeam Antenna Implementation Using Anisotropic Metasurfaces / Anton V. Chesnitsky, Aleksey N. Kosmynin, Pavel A. Sibirtsev etc / 2023.

© Космынин А. Н., Афонин А. А., 2023

УДК 629.7.03

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. С. Ловцов, С. В. Мосолов, Д. А. Гоза, М. Ю. Селиванов

АО ГНЦ «Центр Келдыша»
Российская Федерация, 125438, г. Москва, ул. Онежская, 8
E-mail: kerc@elnet.msk.ru

В докладе представлены основные направления развития ДУ на основе ракетных двигателей малой тяги (РД МТ) и элетроракетных двигателей (ЭРД), используемых в составе отечественных КА.

Ключевые слова: двигательная установка, ракетный двигатель малой тяги, электро-ракетный двигатель.

Двигательная установка (ДУ) является одной из важнейших составных частей космических аппаратов (КА) и позволяет осуществлять активное маневрирование в космическом пространстве для обеспечения заданных условий функционирования КА. В зависимости от типа КА, орбиты его функционирования и имеющихся ограничений применяются различные ДУ, которые могут комбинировать двигатели разных типов с использованием различных топлив (либо рабочих тел).

Оптимизация характеристик двигательных установок с учетом всех действующих факторов является интереснейшей научной задачей, однако текущие условия диктуют серьезнейшие ограничения, связанные со стоимостью, простотой и надежностью конструкции, а также возможностью тиражирования изделий.

В докладе представлены основные типы отечественных двигателей, используемых в составе КА, проанализированы направления развития ДУ на их основе. К таким направлениям относятся:

- широкое применение методов моделирования с целью оптимизации материальных и временных затрат на стадии проектирования и отработки изделий;
- замена токсичных компонентов топлива на более экологичные;
- повышение эффективности и уменьшение массы ЭРДУ за счет увеличения удельного импульса тяги;
- замена ксенона для низкоорбитальных КА на альтернативные дешевые рабочие тела;
- снижение стоимости ДУ при массовом производстве за счет оптимизации состава ДУ и объема проводимых испытаний.

© Ловцов А. С., Мосолов С. В., Гоза Д. А., Селиванов М. Ю., 2023

УДК 51-71, 51-74

**MIDE – ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ – «РОССИЙСКИЙ STK»
РАЗРАБОТКИ КОЛЛЕКТИВА ФАКУЛЬТЕТА КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ МГУ**

В. В. Сазонов¹, И. А. Самыловский²

ФКИ МГУ имени М. В. Ломоносова

Российская Федерация, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, 52

E-mail: ¹sazonov@cosmos.msu.ru, ²ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru

Работа посвящена концепции, примерам использования и перспективам развития развиваемого ФКИ МГУ программного комплекса для проектирования и моделирования космических систем, а также управления ими в ходе срока активного существования.

Ключевые слова: математическое моделирование, цифровой двойник, космическая система.

В настоящее время наблюдается устойчивый тренд на использование многоспутниковых группировок различного назначения. В России в рамках проекта «Сфера» планируется развертывание группировок навигации, связи дистанционного зондирования в различных диапазонах. Соответствующие планы анонсируются и предприятиями из состава Роскосмоса, и частными компаниями – производителями космических систем, и крупными научно-образовательными организациями.

С одной стороны, развитие многоспутниковых группировок естественным образом требует внедрение методов и алгоритмов быстрого построения оптимальных и субоптимальных стратегий управления такими системами (классическим примером, подтверждающим необходимость использования новых методов управления, является линейное масштабирование человеческих, временных и материальных затрат на «стандартное» управление одним аппаратом дистанционного зондирования), среди которых на сегодняшний день распространены мультиагентные технологии (см., например, [1]).

С другой стороны, для достижения ожидаемых эффектов требуется унификация моделей, методов и их программных реализаций, применяемых при создании составных частей многоспутниковых группировок (иначе мы рискуем получить не единую систему, а разрозненный набор отдельных аппаратов). С учетом естественных требований импортонезависимости возникает запрос на отечественные программные комплексы (см., например, [2]) для проектных расчетов космических систем, их комплексного моделирования в ходе различных этапов жизненного цикла, а затем и управления ими.

В связи с тем, что «де-факто» мировым стандартом сценариев работы пользователя с такими комплексами является реализованный в рамках продукта Systems Toolkit (<https://www.ansys.com/products/missions/ansys-stk>), для импортозамещающего ПО можно сформулировать следующие требования к «Российскому STK»:

1. Кроссплатформенность (в частности, поддержка ОС АстраЛинукс).
2. Кастомизация – настройка диапазонов орбит, состава моделируемых средств, редактирование «нагрузки» отображения, создание и редактирование пользовательских объектов – углов отстройки, реперных направлений, плоскостей и т. д.).
3. Возможность работы как минимум на трех уровнях: с группировкой спутников в целом, с единичным спутником как с динамическим объектом, с модулями единичного спутника / наземной станции / БПЛА и т. д.

4. «Дружественность» к сторонним средствам расчетов, что важно, в том числе, при внедрении в работу сложившихся служб баллистического обеспечения.

Коллектив баллистического центра ФКИ МГУ представляет свой кроссплатформенный функциональный аналог STK – «интегрированную среду разработки миссий» MIDE ([3], <https://astro-dynamics.ru/balcenter>), в которой реализованы перечисленные требования.

Основной структурной единицей MIDE является «проект», в котором перечислены следующие элементы:

1. Физические объекты – планеты, планетоиды, наземные пункты, спутники, структурные модули наземных и космических объектов и сенсоры с различными типами полей зрения.

2. Абстрактные объекты – координаты, системы координат, точки, векторы, углы, плоскости, поля видимости.

3. Абстрактные объекты – «связки» (Links), с помощью которых создаются линии связи, ограничения на фазовые координаты и т. д.

4. Источники данных, с помощью которых организуется получение данных как минимум по движению центров масс и вращательному движению физических объектов.

Оператор имеет возможность создать и настроить модель исследуемой системы, провести прогнозные вычислительные эксперименты в соответствии с рассматриваемым набором моделей, с использованием аналогичного STK механизма отчетов провести качественный анализ системы, а при наличии телеметрического потока провести верификацию и калибровку используемых моделей. Основное содержание доклада – примеры использования разработанного пакета в проектировании систем, планировании работы систем и в оперативном управлении системами, взятые из опыта коллектива ФКИ МГУ.

Библиографические ссылки

1. Планирование целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с использованием мультиагентных технологий / П. О. Скобелев, В. К. Скирмунт, Е. В. Симонова, А. А. Жилияев, В.С. Травин // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 10 (171). С. 60–70.

2. Программный комплекс для моделирования орбитального и углового движения спутников / Д. С. Иванов, М. Ю. Овчинников, Д. С. Ролдугин, С. С. Ткачев, С. П. Трофимов, С. А. Шестаков, М. Г. Широбоков // Математическое моделирование. 2019. Т. 31, № 12. С. 44–56.

3. MIDE – Instrumental environment for space missions modeling and analysis / V. Sazonov, I. Samylovskiy, A. Filippov, V. Abramova, A. Tsaregorodtsev, A. E. Bogachyova // XLV Academic space conference, dedicated to the memory of academician S. P. Korolev and other outstanding national scientists – pioneers of space exploration. Место издания AIP Publishing. Pp. 12006-1-12006-8.

Секция
**«ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ»**

УДК 621.454

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕРЕДОВЫХ АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Э. Ш. Акбулатов, В. П. Назаров *

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
*E-mail: nazarov@sibsau.ru

Рассмотрены результаты научных исследований и отработки аддитивных технологий изготовления и испытаний ракетного двигателя малой тяги.

Ключевые слова: аддитивные технологии, ракетный двигатель малой тяги.

На предприятиях и в научно-исследовательских организациях ракетно-космической промышленности проводится работа по формированию системы внедрения, практической отработке аддитивных технологий с последующей сертификацией их на уровне отрасли. В рамках программы «Приоритет 2030» в СибГУ реализуется научно-образовательный проект «Разработка, изготовление методом селективного (аддитивного) лазерного сплавления и испытания ракетного двигателя малой тяги – демонстратора, работающего на экологически чистом топливе».

В качестве предмета и объекта исследования выбран ракетный двигатель малой тяги (РДМТ). Поскольку функциональное назначение данного двигателя-демонстратора заключается в проведении модельных стендовых испытаний без имитации условий космического пространства, предусмотрено использование экологически безопасных компонентов топлива: газообразный кислород O_2 (окислитель) и газообразный метан CH_4 (горючее).

Проектирование, термодинамический и газодинамические расчеты камеры двигателя-демонстратора выполнялись по методикам СибГУ с использованием рекомендаций АО «КБХиммаш» и с применением прикладных программ SolidWorks, Mathcad [1].

Камера двигателя спроектирована в виде двух моноблоков: смесительной головки и корпуса камеры, соединяемых между собой аргонодуговой сваркой. Возможности SLM-технологии позволили выполнить сложную конструкцию смесительной головки без применения сборочных единиц-форсунок, топологическая оптимизация которых обеспечила возможность их аддитивной печати в форме отверстий со струйным и тангенциальным (центробежным) подводом компонентов в зону распыливания и смесеобразования.

В соответствии с планом реализации научно-образовательного проекта совместно с индустриальным партнером ООО «Полихром» проведен комплекс экспериментальных работ по апробации и отработке режимов изготовления на 3D-принтере «Астра-420» камеры-

демонстратора ракетного двигателя малой тяги из модельного материала силумин РС-300. Выбор данного материала объясняется его пластичностью, низкой температурой плавления и невысокой стоимостью. Изготовленные экземпляры камеры-демонстратора подвергались различным видам исследований и испытаний в лабораторных и производственных условиях.

В результате проведенных исследований установлено, что технические характеристики «Астра-420» обеспечивают реализацию инновационных решений и динамической модуляции лазерного пятна с возможностью корректировки мощности лазера, что позволяет достичь высоких скоростей построения деталей. 3D-принтер обеспечивает возможность печати 3D CAD-моделей методом послойного селективного лазерного сплавления из порошков цветных металлов, всех видов сталей, никелевых и кобальт-хромовых сплавов, жаростойких аустенитных сплавов типа инконель.

В процессе реализации проекта изготовлены четыре камеры РД малой тяги из порошкообразного жаростойкого материала инконель-718 (ПР-08ХН53БМТЮ) производства ООО «Гранком». Изготовленные изделия прошли термообработку в вакуумной печи при температуре $t = 1060$ °С, послепечатную пескоструйную обработку поверхностей, электрохимическое полирование. На корпус одной из камер электрохимическим методом нанесено никелевое покрытие. Проведен рентгенконтроль камер, виброиспытания и испытания на герметичность «методом аквариума» по штатной технологии предприятия-партнера АО «Красмаш».

Спроектирован и изготовлен испытательный стендовый комплекс на территории загородного полигона, находящегося в собственности СибГУ [2]. 15 сентября 2023 г. впервые были проведены наземные стендовые испытания ракетного двигателя малой тяги (условное название двигателя «Факел-1»). В соответствии с разработанной и утвержденной циклограммой испытаний проведено пять включений продолжительностью рабочего цикла 1,5 сек. с последующей продувкой магистралей воздухом в течение 180–300 с. Зафиксировано устойчивое возникновение факела на срезе сопла, стабильная отсечка подачи компонентов топлива и прекращение горения смеси компонентов в камере сгорания. Тягоизмерительным устройством проведено измерение тяги двигателя, которая приблизительно соответствует расчетному значению $P = 200$ Н (20 кг). С целью гарантированного обеспечения безопасности персонала и стендового оборудования давление подачи газообразных компонентов на входе в двигатель было снижено на 35–40 % по сравнению с расчетным давлением в камере сгорания ($p_k = 1$ МПа). При этом достигнутое значение при пониженном давлении следует объяснить работой сопла в режиме перерасширения, так как барометрическое давление окружающей среды (условно $p_n = 0,1$ МПа) значительно превышает расчетное давление газового потока на срезе сопла ($p_a = 0,0008$ МПа) [3]. Результаты первого испытания в определенной мере подтвердили работоспособность РДМТ, изготовленного методом аддитивных технологий.

Дальнейшее развитие проекта направлено на исследование возможности создания камер ракетных двигателей с регенеративной (проточной) системой охлаждения, изготовление которых будет осуществляться методами аддитивных технологий без применения сложных традиционных технологий формообразования оболочек, пайки, сборки и сварки блоков камеры. Изготовление форсуночной (смесительной) головки также предполагается в виде моноблочной конструкции.

Библиографические ссылки

1. Назаров В. П., Ефремов Г. В. Конструкция жидкостных ракетных двигателей: учеб. пособие / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2016. 194 с.

2. Яцуненко В. Г., Назаров В. П., Коломенцев А. И. Стендовые испытания жидкостных ракетных двигателей : учеб. пособие / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т ; Моск. авиац. ин-т. Красноярск, 2016. 248 с.

3. Имитационное моделирование условий стендовых испытаний жидкостных ракетных двигателей малой тяги / В. П. Назаров, В. Ю. Пиунов, К. Ф. Голиковская, Л. П. Назарова // Решетневские чтения : материалы XXVI Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 2022. С. 191–192.

© Акбулатов Э. Ш., Назаров В. П., 2023

УДК 621.396.67.091.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОБЛУЧАТЕЛЯ АНТЕННЫ

В. А. Бакач*, Т. Л. Некрасова

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»

имени академика М. Ф. Решетнёва»

Российская Федерация, 662972, ЗАТО г. Железногорск Красноярский край, ул. Ленина, 52

*E-mail: bakachva@iss-reshetnev.ru

В данной статье представлены результаты обработки изготовления деталей, входящих в конструкцию селекторной части 2-х диапазонной антенны. Проводилась обработка с учетом изменения материала, пересчета размеров и покрытия деталей.

Ключевые слова: покрытие, радиотехнические характеристики, антенна, материал.

На предприятии АО «РЕШЕТНЁВ» изготавливаются космические аппараты, на которых применяются 2-х диапазонные антенны. Антенны, в приемной полосе, работают на высоких частотах, в связи с чем, к ним предъявляются более жесткие требования к радиотехническим характеристикам (РТХ).

В процессе проведения испытаний антенны было выявлено несоответствие РТХ в приемной полосе частот, затухание в селективной части. При выявлении возможных причин, влияющих на несоответствие РТХ, было установлено, что данное несоответствие связано с конструкционными особенностями селекторной части облучателя антенны, а именно изменение размеров канальной части после нанесения серебряного покрытия с подслоем Никеля и Меди на детали – сборочные единицы (ДСЕ) из АМгб.

Для определения оптимальной конструкции селекторной части облучателя, обеспечивающей требуемые РТХ, было принято решение провести работы по трем направлениям:

- изготовление ДСЕ селекторной части облучателя из материала АД1 без нанесения покрытия. Материал АД1 имеет электрическую проводимость лучше, чем АМгб, что позволяет не использовать покрытия [1];

- изготовление ДСЕ селекторной части облучателя из материала АМгб с учетом размеров под химическое серебрение с подслоем Никеля. Изготовление ДСЕ с обнижением канальной части под покрытие позволит минимизировать изменение размеров после нанесения покрытия;

- нанесение химического серебрения с подслоями Никеля и Меди на ДСЕ селекторной части облучателя, изготовленных из АМгб без учета покрытия. Данное покрытие имеет уменьшенную толщину, следовательно, оказывает меньшее влияние на изменение размеров канальной части ДСЕ. Для обеспечения требуемой толщины покрытие наносилось поэтапно.

После изготовления материальной части, проводились замеры РТХ. Результаты замеров представлены ниже на рис. 1, 2, 3 и сведены в таблицу.

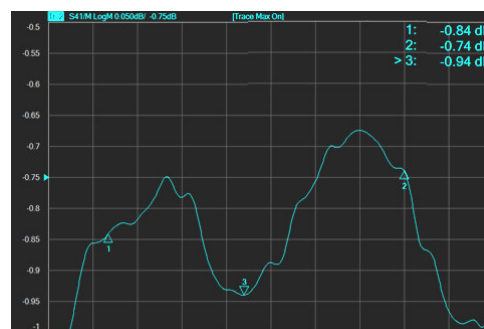


Рис. 1. Частотная зависимость затухания для селектора облучателя, изготовленного из материала АД1 на частотах ПРД

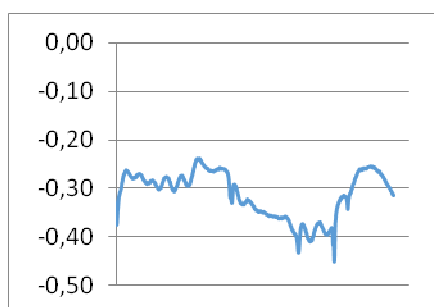


Рис. 2. Частотная зависимость затухания для селектора облучателя, изготовленного из АМг6 с учетом размеров под химическое серебрение с подслоем Никеля на частотах ПРД

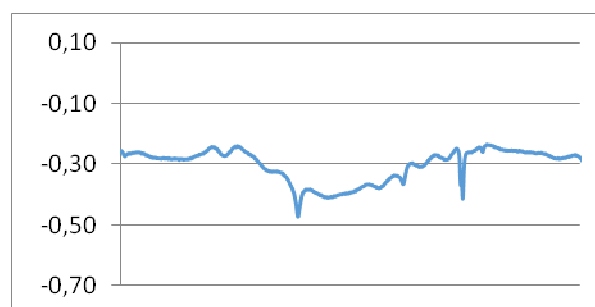


Рис. 3. Частотная зависимость затухания для селектора облучателя, изготовленного из АМг6 без учета размеров под химическое серебрение с подслоями Никеля и Меди на частотах ПРД

Результаты замеров РТХ конструкции селекторной части облучателя

Материал	Покрытие	РТХ			Заключение
		Затухание в рабочей полосе частот, дБ	КСВН (не более)	№ графика	
АД1	Без покрытия	0,94	1,13	1	Не соответствует
АМг6	Химическое серебрение с подслоем Никеля	0,45	1,13	2	Соответствует
АМг6	Химическое серебрение с подслоем Никеля и Меди	0,47	1,16	3	Соответствует

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы:

Использование АД1 (без покрытия) в качестве материала для изготовления частотно-поляризационного селектора облучателя, показывает большие потери в конструкции селективной части, по сравнению с материалом АМг6.

Химическое серебрение с подслоем Никеля и химическое серебрение с подслоями Никеля и Меди равнозначны в части их влияния на РТХ селективной части облучателя. Оба покрытия позволяют обеспечить требования к РТХ, предъявляемые к частотно-поляризационному селектору в части затуханий и коэффициент стоячей волны (КСВН) [2–4], и допускаются к применению в качестве покрытия селективной части облучателя.

Библиографические ссылки

1. Филиппов М. А., Бараз В. Р., Гервасьев М. А. Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении : учебное пособие. В 2 т. Т. II. Цветные металлы и сплавы. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. 236 с.
2. Справочник по антенной технике : справ. В 5 т. Т. 1. / Л. Д. Бахрах, Л. С. Бенинсон, Е. Г. Зелкин и др. ; под ред. Я. Н. Фельда, Е. Г. Зелкина. М. : ИПРЖР, 1997. 256с.: ил.
3. Устройство СВЧ и антенны / под ред. Д. И. Воскресенского. Изд. 2-е, доп. и перераб. М. : Радиотехника, 2006. 376 с.: ил.
4. Радиотехнические устройства и элементы радиосистем : учеб. пособие / В. А. Каплун, Ю. А. Браммер, С. П. Лохова, И. В. Шостак. М. : Высшая школа, 2002. 294 с.: л.

© Бакач В. А., Некрасова Т. Л., 2023

УДК 658.5

КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. М. Голдобин

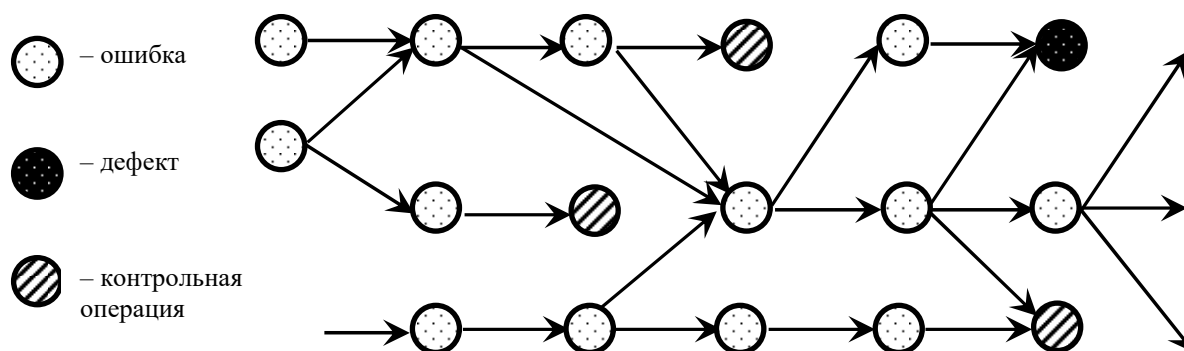
ПАО НПО «Искра»
Российская Федерация, Пермь, ул. Академика Веденеева, 28
E-mail: GoldobinSergey@npoiskra.ru

В докладе рассмотрена модель появления дефектов продукции как случайного события в результате допущенных персоналом ошибок, введено понятие жизненного цикла ошибок.

Ключевые слова: качество, ошибка, дефект, улучшение, внутренний контроль.

Цель организации – сбалансировать и удовлетворить ожидания заинтересованных сторон. Качество продукции – один из индикаторов достижения цели и предполагает не только отсутствие дефектов, но и её своевременную поставку, адекватную стоимость и техническое совершенство (актуальность). Все перечисленные свойства взаимно антагонистичны, то есть усиление одного из них создаёт предпосылки к ослаблению других. Каким образом одновременно улучшать качество по всем направлениям – не тривиальная задача менеджмента. Наиболее известный метод, состоящий в выявлении и устранении причин дефектов, для единичного производства применим ограниченно, поскольку основан на значительных объёмах статистических данных по результатам испытаний и эксплуатации. В единичном производстве особенно актуально устранять не дефекты, а предпосылки к их появлению, то есть ошибки.

Жизненный цикл (ЖЦ) ошибки можно представить в виде графа (см. рисунок).



Фрагмент жизненного цикла ошибок

Ошибки появляются случайно, на разных стадиях ЖЦ продукта как следствие участия в производственном процессе человека и ошибок, допущенных на предыдущих стадиях ЖЦ, образуя некоторую структуру с узлами и внутренними логическими связями. Часть ошибок исчезают в результате выполнения контрольных процедур, часть приводят к дефектам и прекращают существование по результатам расследования причин дефекта, часть остаются не выявленными и формируют базу потенциальных дефектов. Ошибка –

это неизбежное следствие участия человека в производственном процессе. Дефект – результат реализации случайного сочетания допущенных ошибок и индивидуальных особенностей продукта. Не все ошибки приводят к дефектам, но все дефекты являются следствием ошибок. Работа с дефектами происходит периодически по факту их возникновения, работа с ошибками должна быть организована на системной основе. Генератор ошибок, как и источник улучшений в части устранения ошибок – работник. Поэтому основное внимание в работе по улучшению качества должно быть направлено на мотивацию сотрудников к сокращению количества ошибок и выявлению существующих как можно ближе к моменту их возникновения.

Для предотвращения дефектов акцент в повышении качества необходимо сместить на работу с ошибками. Ошибки являются неизбежным следствием участия человека в производственном процессе, поэтому работа с ними должна носить постоянный системный характер, например, на основе принципов системы внутреннего контроля и управления рисками. Объединение обнаруженных ошибок в единую сеть позволит более результативно устранять выявленные ошибки и предупреждать возникновение новых.

© Голдобин С. М., 2023

УДК 621.31

РЕЗЕРВИРОВАННЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ С ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

И. М. Журавлев, Д. О. Дударьков, И. Е. Лысенко

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»

имени академика М. Ф. Решетнёва»

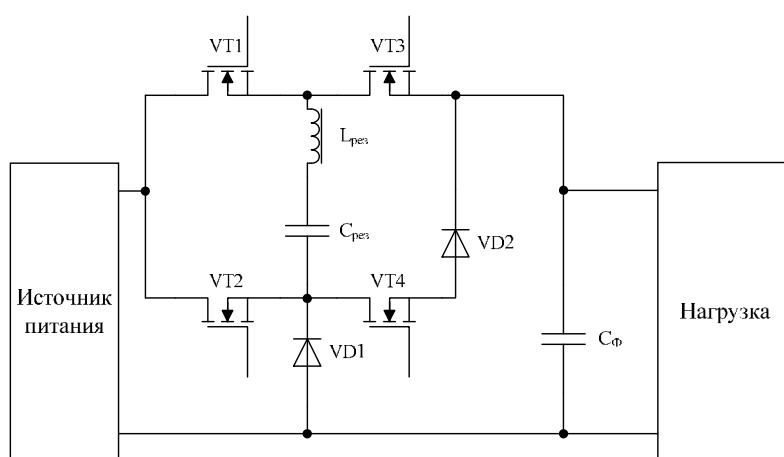
Российская Федерация, 662972, ЗАТО г. Железногорск Красноярский край, ул. Ленина, 52

Предложен резонансный преобразователь с возможностью передачи энергии в нагрузку при отказе произвольного элемента силовой части. Приведена схема преобразователя и результаты измерения КПД в наиболее нагруженном режиме работы.

Ключевые слова: резонансный преобразователь, дискретно-импульсное управление, энергопреобразующая аппаратура.

С учетом высокой стоимости каждого килограмма, выводимого на целевую орбиту, для космических аппаратов критично важна минимизация наиболее тяжелых и габаритных изделий энергопреобразующей аппаратуры, таких как моточные элементы и теплоотводящее основание. Оптимальным решением этой задачи является повышение рабочей частоты для снижения массогабаритных характеристик реактивных элементов [1]. Недостатком такого подхода является резкое увеличение тепловыделения транзисторных ключей и, соответственно, рост массы и объема теплоотвода.

Перспективным решением является применение резонансного бестрансформаторного преобразователя (см. рисунок) с дискретно-импульсным регулированием [2], что обеспечит минимизацию тепловыделения за счет низкодиссипативной коммутации транзисторов, уменьшение массы реактивных элементов за счет работы на высоких частотах, а также позволит исключить наиболее габаритный элемент силовой части – согласующий трансформатор.



Резонансный бестрансформаторный преобразователь

Функциональным аналогом резонансного бестрансформаторного преобразователя является непосредственный понижающий преобразователь с неполной глубиной регулирования [3]. Предложенная схема позволяет работать как в режиме прямой передачи энер-

гии, когда все транзисторы дискретно замкнуты, так и в режиме регулирования выходного напряжения, когда происходит попеременная коммутация транзисторных диагоналей VT1-VT4, VT2-VT3. Дополнительным преимуществом предложенного преобразователя является повышенная надежность, по сравнению с типовыми резонансными схемами [4], поскольку отказ любого из элементов силовой части на короткое замыкание или обрыв не приводит к потере энергогенерирующих мощностей.

Данные экспериментального исследования макетного образца резонансного преобразователя демонстрируют КПД не менее 96 % при токах нагрузки до 15 А, в режиме прямой передачи энергии, что сопоставимо с КПД энергопреобразующей аппаратуры применяемой в современных космических аппаратах [4].

Применение предложенного резонансного бестрансформаторного преобразователя в составе энергопреобразующей аппаратуры позволит уменьшить массу космического аппарата за счет исключения коммутационного тепловыделения и, как следствие, оптимизации массогабаритных характеристик системы терморегулирования.

Библиографические ссылки

1. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. Москва : Техносфера, 2005. 632 с. ISBN 5-94836-051-2.
2. Осипов А. В., Журавлев И. М. Резонансные преобразователи постоянного напряжения с кодо-импульсным регулированием // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2020. Т. 23, № 2. С. 97–102. DOI 10.21293/1818-0442-2020-23-2-97-102. EDN VXCCQL.
3. Журавлев И. М., Осипов А. В. Резонансный преобразователь энергии солнечной батареи в системе электропитания малого космического аппарата // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2020. Т. 23, № 3. С. 81-85. DOI 10.21293/1818-0442-2020-23-3-81-85. EDN UZOWKH.
4. Козлов Р. В. Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.12 / Козлов Роман Викторович. Томск, 2021. 183 с.

© Журавлев И. М., Дударьков Д. О., Лысенко И. Е., 2023

УДК 629.787

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ НАДУВНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАЛЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С МЕХАНИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ДВИЖЕНИЕМ

В. В. Корянов¹, А. С. Кухаренко²

МГТУ им. Н. Э. Баумана

Российская Федерация, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1

E-mail: ¹vkoryanov@bmstu.ru, ²kuharenko-as@mail.ru

В работе рассмотрен принцип управления движением спускаемого аппарата методом смещения центра масс. Смещение центра масс спускаемого аппарата осуществлено за счет изменения углового положения его элементов. Рассмотрен предполагаемый механизм для поворота полезной нагрузки. В работе проведено моделирование управляемого движения спускаемого аппарата. По результатам моделирования сделан вывод о возможности управления предложенным методом.

Ключевые слова: поворотное устройство, космический аппарат, надувная тормозная система, траектория движения.

В работе рассмотрено управление движением спускаемого аппарата, оснащенного надувной тормозной системой [1; 2]. Управление движением спускаемого аппарата необходимо с целью компенсации траекторных возмущений и увеличения точности посадки, а также для повышения устойчивости его движения. Предложено управлять движением за счет смещения центра масс [3].

Схема конструкции рассматриваемого спускаемого аппарата приведена на рис. 1.

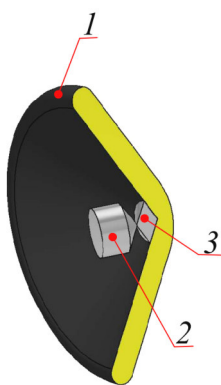


Рис. 1. Схема спускаемого аппарата:
1 – надувное тормозное устройство;
2 – космический аппарат;
3 – поворотное устройство

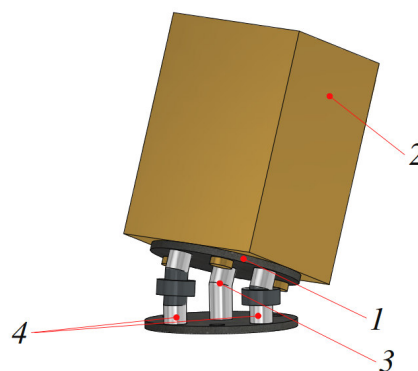


Рис. 2. Схема поворотного устройства:
1 – платформа; 2 – космический аппарат;
3 – шарнир (шаровая опора);
4 – силовые элементы

Смещение центра масс при управлении движением происходит за счет поворота космического аппарата поворотным устройством.

Поворотное устройство представляет собой механическую систему (рис. 2), состоящую из платформы, на которой установлен космический аппарат, шаровой опоры, и двух силовых механизмов. В качестве силовых механизмов предполагается использование либо

гидравлических механизмов, либо винтовой передачи. Выбор того или иного механизма связан возможностью его эксплуатации в условиях движения спускаемого аппарата.

В работе, на основании математической модели, проведен анализ возможности применения данного способа управления. Для этого построены траектории управляемого движения спускаемого аппарата.

Выполнен ряд решений уравнений математической модели при различных начальных условиях движения [4]. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что угловое движение спускаемого аппарата, возникающее при осуществлении управления, устойчиво. Результаты подтверждают возможность управления движением СА предложенным методом.

Библиографические ссылки

1. Финченко В. С., Пичхадзе К. М., Ефанов В. В. Надувные элементы в конструкциях космических аппаратов – прорывная технология в ракетно-космической техники. Химки, НПО имени С. А. Лавочкина, 2019. 488 с.
2. Казаковцев В. П., Корянов В. В. Метод исследования динамики углового движения космического спускаемого аппарата с надувным тормозным устройством // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2012. № 3. С. 39–46.
3. Корянов В. В., Кухаренко А. С. Оценка параметров движения спускаемого аппарата с надувным тормозным устройством путем отклонения элементов конструкции // Инженерный журнал: наука и инновации. 2022. № 4(124). URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-4-2174>.
4. Куркина Е. В., Любимов В. В. Оценка вероятности захвата в резонанс и параметрический анализ при спуске асимметричного космического аппарата в атмосфере // Сибирский журнал индустриальной математики. 2018. Т. 21. № 3 (75). С. 74–83.

© Корянов В. В., Кухаренко А. С., 2023

УДК 629

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЫКЛАДКИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

В. М. Ли, С. С. Тюпкин, Д. Ю. Филь, К. А. Лавров

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

Исследуются научные работы по методам автоматизированной выкладки (AFP, ATL), изучены существующие устройства для автоматизированной выкладки композиционного материала производства мировых лидеров данной области.

Ключевые слова: композитные материалы, система контроля качества, автоматизация, автоматизированная выкладка.

Композитные материалы широко используются в различных отраслях промышленности, но ручная выкладка материала имеет ряд проблем, таких как низкая производительность, высокий риск ошибок и высокие требования к квалификации работников. Задачей нашей работы является разработка оборудования, которое позволит автоматизировать процесс выкладки композитного материала и решить эти проблемы.

В настоящей работе были проведены исследования существующих научных работ по методам автоматизированной выкладки (AFP, ATL). Были изучены существующие устройства для автоматизированной выкладки композиционного материала производства мировых лидеров данной области, таких как: MTorres (Испания), Electroimpact Automation (США), Coriolis Composites (Франция), Accudyne Systems (США).

Разработаны два типа комплексов автоматической выкладки материала на базе портального (рис. 1), на базе промышленного робота Kuka KR50 R2500 (рис.2), три типа устройств для выкладки материала методом AFP с разной производительностью и направленности применения (рис. 3), два из них были изготовлены и получены образцы их работы (рис. 4). Также создана система контроля качества выкладки на базе нейросетевой модели технического зрения YOLOv8, позволяющая своевременно исправлять ошибки.

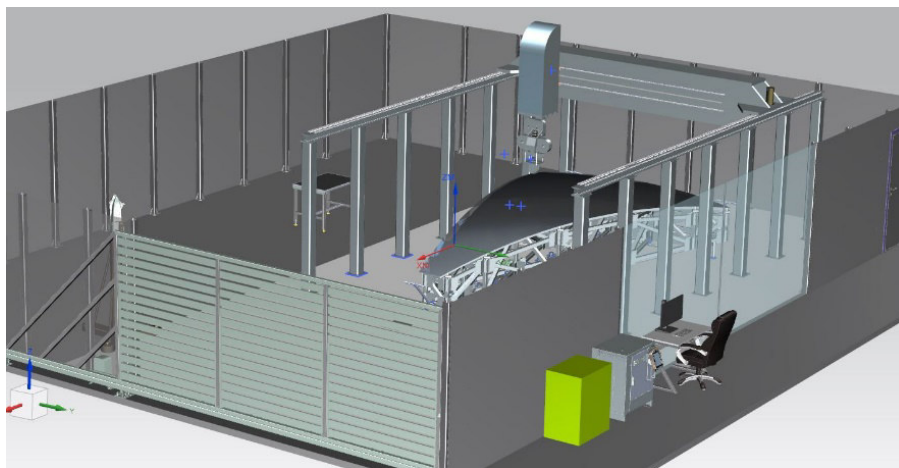


Рис. 1. Комплекс на базе портального станка



Рис. 2. Комплекс на базе промышленного робота

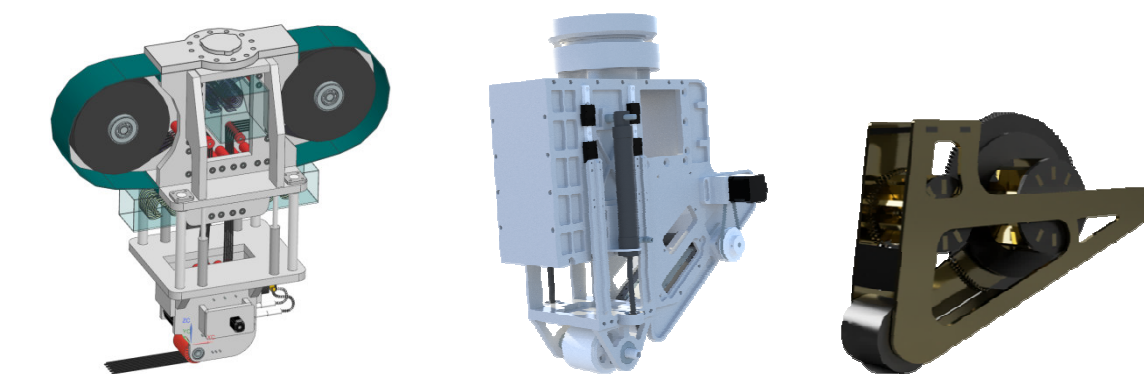


Рис. 3. Устройства выкладки три типа

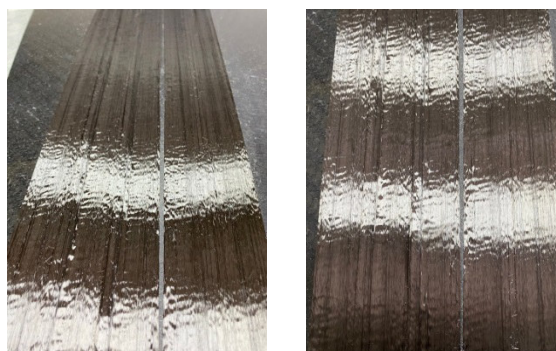


Рис. 4. Результат выкладки

Результаты тестирования оборудования: увеличение производительности, снижение риска ошибок, уменьшение затрат на обучение персонала.

Вывод: разработанное оборудование для автоматизированной выкладки композитного материала методом AFP является эффективным решением для повышения производительности и качества производства в различных отраслях промышленности.

Библиографические ссылки

1. Thermoset Prepreg Compaction during Automated Fiber Placement and Vacuum, De-bulking Ralf Engelhardt*, Rizquallah Irmanputraa, Kilian Bratha, Niklas Außenangera, Klaus Drechsler, 2019. P. 153–158.

2. Automated Fiber Placement Head for Manufacturing of Innovative Aerospace Stiffening Structures, Berend Denkena^a, Carsten Schmidt^b, Patrice Weber^b, 2016. P. 96–104.
3. Process-dependent wrinkle formation for steered tow during automated fiber placement: Modeling and experimental verification, Helin Pan, Di Yang, Weiwei Qu, Jiangxiong Li, Yinglin Ke.
4. An in-process inspection method integrating deep learning and classical algorithm for automated fiber placement, Yipeng Tang, Qing Wang, Liang Cheng, Jiangxiong Li, Yinglin Ke.
5. Overview of current design and analysis of potential theories for automated fibre placement mechanisms, Wuxiang ZHANG, Fei LIU, Tao JIANG, Minghui YI, Weiqiang CHEN, Xilun DING.
6. Geodesic path length compensator for composite-tape placement head, US3810805A.
7. Automated fiber placement: A review of history, current technologies, and future paths forward, Alex Brasington, Christopher Sacco, Joshua Halbritter, Roudy Wehbe, Ramy Harik <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682021000773#bib0124>.
8. Systems and methods enabling automated return to and/or repair of defects with a material placement machine, US7039485B2.
9. Tape laminator, tape laying head and method of producing tape, EP0171203A2.

© Ли В. М., Тюпкин С. С., Филь Д. Ю., Лавров К. А., 2023

УДК 532.42:629.78

ОЦЕНКА РЕСУРСА И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В. В. Москвичев

Федеральный исследовательский центр информационных
и вычислительных технологий – Красноярский филиал
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 53
E-mail: krasn@ict.nsc.ru

Рассмотрены общие постановки задач и направлений выполненных исследований. Приведены примеры расчетно-экспериментального обоснования конструкционной прочности, ресурса и надежности ферменных конструкций, металлокомпозитных баков, рефлекторов антенн спутниковой связи, силовых композитных конструкций космических аппаратов.

Ключевые слова: ферменные конструкции, металлокомпозитные баки, конструкционная прочность, рефлекторы антенн, спутниковая связь, силовые композитные конструкции космических аппаратов.

Представлены общие постановки задач, включая формулировки предельных состояний, методы оценки технического состояния и остаточного ресурса, проведения риск-анализа элементов космических систем и выполненных направлений исследований. В качестве примеров решения прикладных задач рассмотрены следующие результаты:

- моделирование разрушения и трещиностойкость ферменных конструкций КА («Галс», «Экспресс», «Sesat»);
- оценка остаточного ресурса и несущей способности элементов ферменных конструкций стартового комплекса ракетно-космических систем «БАЙКОНУР»;
- обеспечение надежности и безопасности металлокомпозитных баков высокого давления для электрореактивных двигателей КА;
- исследования НДС и геометрической стабильности рефлекторов антенн наземных систем спутниковой связи;
- исследования динамики, прочности и кинематики трансформируемого рефлектора зонтичного типа $\varnothing$ 5 м;
- разработка аналитических и цифровых методов проектирования композитных конструкций КА.

Основой полученных результатов является эффективное применение технологий численного конечно-элементного моделирования в сочетании с экспериментальными исследованиями характеристик конструкционных материалов и натуральными испытаниями элементов спутниковых систем. Данный подход обеспечил выполнение требований по конструкционной прочности, ресурсу и надежности в соответствии с нормативно-техническими документами в области создания ракетно-космической техники. Наиболее значимые результаты представлены в [1–4].

Библиографические ссылки

1. Буров А. Е., Кокшаров И. И., Москвичев В. В. Моделирование разрушения и трещиностойкость волокнистых металлокомпозитов. Новосибирск : Наука, 2003. 173 с.

2. Лепихин А. М., Махутов Н. А., Москвичев В. В., Черняев А. П. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем. Новосибирск : Наука, 2003. 174 с.
3. Несущая способность и безопасность металлокомпозитных баков космических аппаратов / под ред. В. В. Москвичева, Н. А. Тестоедова. Новосибирск : Наука, 2021. 440 с.
4. Прикладные задачи конструкционной прочности и механики разрушения технических систем / В. В. Москвичев, Н. А. Махутов, Ю. И. Шокин, А. М. Лепихин и др. Новосибирск : Наука, 2023. 796 с.

© Москвичев В. В., 2023

УДК 621.828

УПРУГИЙ ШАРНИР С УВЕЛИЧЕННЫМ МОМЕНТОМ СИЛЫ*

Т. А. Шалыгина, А. В. Тоньшина, А. И. Дудник, А. А. Савенков

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

Научная лаборатория «Анализ, синтез, моделирование и цифровое проектирование
умных материалов с заданными свойствами»

Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: leonova.ta@inbox.ru

Разработана новая конструкция упругого шарнира, обеспечивающая вариативность сборки шарнира с требуемым набором характеристик. Обнаружено, что шарнир с тремя установленными упругими пластинами характеризуется моментом силы разворачивания равным 2,2 Н·м, с шестью – 3,7 Н·м, с девятью – 5,2 Н·м.

Ключевые слова: упругий шарнир, трансформируемые конструкции, момент силы.

Некоторые космические технологии подразумевают использование крупногабаритных трансформируемых конструкций специального назначения, при разработке которых появляется ряд задач по осуществлению складывания и разворачивания таких конструкций в условиях космоса. Для решения задач разворачивания складных конструкций космического аппарата применяются гибкие бесприводные шарниры, способные упруго складываться и автоматически разворачиваться за счет высвобождения накопленной энергии деформации. Основным конструктивным элементом гибких шарниров, в котором запасается энергия деформации, является ленточная пружина, изготовленная, как правило, из пружинной стали или полимерного композиционного материала [1]. Направленно изменяя радиус кривизны профиля и толщину пластины, можно добиться повышения момента силы разворачивания до 2 Н·м [2], что недостаточно для применения в крупногабаритных конструкциях.

В настоящей работе представлена новая конструкция упругого шарнира, отличительной особенностью которого является наличие двух сопряженных элементов с полукруглыми поверхностями, при перекачивании подвижного элемента по полукруглой поверхности неподвижного элемента осуществляется перевод шарнира в транспортировочное положение. Элементы соединены тремя упругими пластинами, работающими параллельно, концы которых жестко закреплены в специальных карманах подвижного элемента, в карманах неподвижного элемента обеспечивается контролируемое перемещение пластин на величину не более 0,2 мм. Толщина углепластиковых пластин из 11 слоев углеродных волокон, составила не более 0,62 мм. Конструкция также обеспечивает вариативную сборку шарнира за счет увеличения или уменьшения количества исполнительных устройств (упругих пластин) кратного 3. Было обнаружено, что шарнир с тремя установленными упругими пластинами характеризуется моментом силы разворачивания равным 2,2 Н·м, с шестью – 3,7 Н·м, с девятью – 5,2 Н·м.

* Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М. Ф. Решетнева.

Библиографические ссылки

1. Optimal design of a three tape-spring hinge deployable space structure using an experimentally validated physics-based model / Ye H. et al. // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2017. Vol. 56. P. 973–989.
2. Dao T. D., Goo N. S., Yu W. R. Blocking force measurement of shape memory polymer composite hinges for space deployable structures // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2018. Vol. 29 (18). P. 3667–3678.

© Шалыгина Т. А., Тоньшина А. В., Дудник А. И., Савенков А. А., 2023

Секция
**«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»**

УДК 658.5.012.1

**ОСВОЕНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В АО «ОКБ «ФАКЕЛ»**

Е. А. Богданова, А. В. Наседкин

Акционерное общество «Опытное конструкторское бюро «Факел»
Российская Федерация, 236003, г. Калининград, Московский просп., 181
E-mail: catkuzmencko@yandex.ru

На предприятии осваивается ряд технологий получения функциональных материалов для термокаталитических и стационарных плазменных двигателей: изготовление катализатора разложения гидразина с высокими физико-химическими характеристиками, получение нового эмиттера с низкой температурой экстремальной эмиссии, а также отработка нанесения барьерного покрытия нитрида гафния на детали катодного узла.

Ключевые слова: катализатор разложения гидразина, электрид на основе майенита, покрытие нитрида гафния.

ОКБ «Факел» занимает лидирующие позиции в отрасли по изготовлению и массовой поставке термокаталитических и стационарных плазменных двигателей для коррекции и ориентации космических аппаратов. Планомерное развитие двигателестроения, наращивание компетенций и стремление к высоким характеристикам изделий требуют освоения и внедрения перспективных технологий изготовления функциональных материалов.

В термокаталитических двигателях, выпускаемых ОКБ «Факел», гидразин разлагается при контакте катализатором с выделением тепловой энергии. Катализатор представляет собой диспергированный на гранулах алюмооксидного носителя активный компонент – иридий. К катализатору предъявляется ряд требований по физико-химическим характеристикам, в том числе по химической активности, площади удельной поверхности, термической стабильности и динамической и статической механической прочности. Требовалось разработать технологию, обеспечивающую сочетание указанных свойств.

В рамках проведенных работ была разработана технология изготовления катализатора, получена и исследована опытная партия, успешно проведены приемо-сдаточные испытания двигателей с катализатором. Далее планируется проведение автономных испытаний в рамках аванпроекта, и по результатам будет спланирован ряд мероприятий по присвоению литеры «О».

В настоящее время для катодов в СПД используют преимущественно эмиттеры из гексаборида лантана (рабочая температура 1400 °С). Достижение высокой температуры на эмиттере требует больших затрат электрической мощности при запуске СПД. Кроме того, более высокая температура требует применение тугоплавких материалов и более эффективных многослойных тепловых экранов. В процессе нагрева в конструкции такого катода возникают большие термические напряжения, которые при включении-

выключении катода до 10000 циклов могут привести к возникновению трещин, потере герметичности и отказу.

На сегодняшний день проблема отсутствия маломощных катодов для СПД не позволяет использовать их в составе МДУ для микро- и наноспутников. Необходимость снижения рабочей температуры, затрат на изготовление, обеспечение свободы выбора материалов и допусков на конструкцию катода продолжает мотивировать разработку улучшенных/новых катодов.

На предприятии ведется разработка низкотемпературного эмиттера на основе элетридной формы майенита: были получены образцы майенита разными методами, выбран оптимальный, затем был получен лабораторный образец элетридной формы майенита. Планируется проведение испытаний для подтверждения функциональных свойств на вакуумном стенде измерения эмиссионного тока.

На поверхности деталей для узла катода СПД в ОКБ «Факел», имеющих контакт с боросодержащими деталями, наносят нитрид циркония по технологии газофазного осаждения с целью получения барьерного покрытия. Увеличение ресурса работы катодов и увеличение мощности СПД требует применение более стойких высокотемпературных покрытий. На предприятие отрабатывается технология газофазного осаждения барьерных покрытий нитрида гафния.

В рамках работы были получены и исследованы опытные образцы покрытий нитрида гафния на штатных деталях катодного узла СПД. Данные исследований свидетельствуют о полученном покрытии кубической фазы нитрида гафния без примесей и посторонних фаз. Полученные образцы равномерны по толщине покрытия, однородны по цвету, кроме того экспериментально определена более высокая адгезия нитрида гафния в сравнении с нитридом циркония. Рабочая температура покрытия нитрида гафния превышает рабочую температуру нитрида циркония на 300 °С.

Планируется отработать технологию нанесения покрытия на всех требуемых типах деталей, катодного узла, после чего в рамках ОКР провести испытания двигателей.

На предприятии осваивается ряд технологий получения функциональных материалов для термokatалитических и стационарных плазменных двигателей. Планируется разработка новых и перспективных технологий в обеспечение конкурентоспособности продукции предприятия за счет высоких эксплуатационных характеристик.

© Богданова Е. А., Наседкин А. В., 2023

УДК 678.7

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭЛАСТОМЕРСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В. Д. Ворончихин

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: vvd-77@mail.ru

Рассмотрены основные вопросы модификации олигомерными соединениями эластомерсодержащих материалов для последующего их использования при создании авиационной и космической техники.

Ключевые слова: олигомеры, каучук-олигомерные композиции, эластомерсодержащие материалы для авиационной и космической техники.

Одной из задач, решаемых при изготовлении авиационных и космических, является выбор эффективных эластомерных материалов, обеспечивающих ресурс эксплуатации 30 и более лет. При этом необходимо учитывать, что наиболее неблагоприятным последствием комплексного воздействия внешних факторов является перерождение тонкого поверхностного слоя резин и резиновых уплотнителей вследствие их структурирования и иных деградирующих причин [1; 2].

Решением данной проблемы является экранирование изделий [2], химическая и физическая модификация эластомерных материалов [3; 4]. При этом наиболее интересным с научной и практической точек зрения является преобразование структуры и свойств резиновых изделий путем модификации олигомерными аналогами высокомолекулярных каучуков.

На кафедре химической технологии твердых ракетных топлив, нефтепродуктов и полимерных композиций в течение ряда десятилетий проводятся комплексные работы по изучению возможности применения олигомерных каучуков в составе эластомерных композиций.

Научной основой разрабатываемых эластомерсодержащих материалов является за счет применением теоретических расчетов совместимости компонентов смесей и экспериментальных исследований [5]. Основным принципом физико-химической модификации эластомерных композиций, используемых при создании различных элементов авиационной и космической техники, является использование термодинамически совместимых компонентов (модификаторов) для преобразования степени межфазного взаимодействия «полимер-наполнитель», «полимер-полимер» и «наполнитель-наполнитель». Это позволяет создавать изделия с минимальной дефектностью структуры и повысить их стойкость к воздействиям различного типа. Проведена комплексная работа по оценке целесообразности применения функциональных олигомеров (диеновых и бутадиен-нитрильных) при изготовлении формовых и неформовых РТИ для авиационной и космической техники.

При использовании диеновых олигомеров (СКД-0, СКД-КТР и др.) в составе композиций промышленного назначения установлено влияние полярности олигомерной фазы на упруго-прочностные и усталостные свойства. Применение олигомерных бутадиен-нитрильных каучуков (СКН-10КТР, СКН-30КТРА и др.) в составе композиций на основе обеспечивает вулканизатам повышение стойкости к действию углеводородных растворителей.

Во всех исследованных промышленных композициях установлено, что наличие олигомерной компоненты в составе композиций позволяет улучшить качество распределения наполнителей углеродного и минерального характера (техуглерода, графита, коллоидной кремневой кислоты и др.). В сочетании с требуемым уровнем упруго-прочностных свойств, исследуемые вулканизаты приобретают повышенное сопротивление раздиру.

Применение электропроводящих добавок углеродного типа (технического углерода, нанотрубок и др.) в эластомерных композициях позволило значительно повысить не только их электропроводность композиций, но и преобразовать их упруго-прочностные свойства.

Вследствие взаимодействия олигомерных каучуков с компонентами вулканизирующей группы в производственных композициях проведена корректировка вулканизирующей группы.

В композициях также снижено содержание традиционных пластификаторов или проведено их полное исключение из состава резин.

Результаты тестирования изделий, созданных на основе разработанных каучук-олигомерных композиций, показали их преимущество по комплексу упруго-прочностных и динамических показателей относительно промышленных

Библиографические ссылки

1. Воздействие факторов космического пространства на свойства резин и резинотехнических изделий / В. В. Седов и др. // Промышленное производство и использование эластомеров. 2017. № 1. С. 28–32.
2. Прогнозирование сроков службы резинотехнических изделий по результатам экспозиции в космическом пространстве / В. В. Седов и др. // Промышленное производство и использование эластомеров. 2017. № 2. С. 3–8.
3. Тугорский И. А., Потапов Е. Э., Шварц А. Г. Химическая модификация эластомеров. М. : Химия, 1993. 304 с.
4. Кузьминский А. С., Кавун С. М., Кирпичев В. П. Физико-химические основы получения, переработки и применения эластомеров. М. : Химия, 1976. 368 с.
5. To the calculation of the compatibility of oligomers with high molecular weight rubbers / Voronchikhin V. D. et al // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2020. Vol. 13. № 1.

© Ворончихин В. Д., 2023

УДК 621.45.043

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В ЭЛЕМЕНТАХ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ 1D- И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. Л. Евдокимов

АО «НПО Энергомаш имени академика В. П. Глушко»
Российская Федерация, 141400 г. Химки, ул. Бурденко, 1
E-mail: Stanislav.Evdokimov@npom.ru

В докладе приведены промежуточные результаты работ по созданию математической модели, описывающей изменение параметров потока окислителя в полостях ТНА, включающих в себя турбину, насос окислителя и связанные с ними вспомогательные тракты.

Ключевые слова: математическое моделирование, CFD, осевые перемещения, прогнозирование параметров.

АО «НПО Энергомаш» реализует проект по созданию расчетной модели двигателя, позволяющей оценивать, как статические, так и динамические режимы работы. Одним из ключевых элементов двигателя является ТНА, в связи с этим ключевой частью проекта являются исследования, связанные именно с этим агрегатом. Целью проекта в части ТНА является создание с использованием программного пакета для 1D-моделирования (Siemcenter Amesim) более совершенной, по сравнению с существующими, его математической модели. Схема ТНА, расположение характерных точек по тракту и расчетная блок-схема представлены на рис. 1.

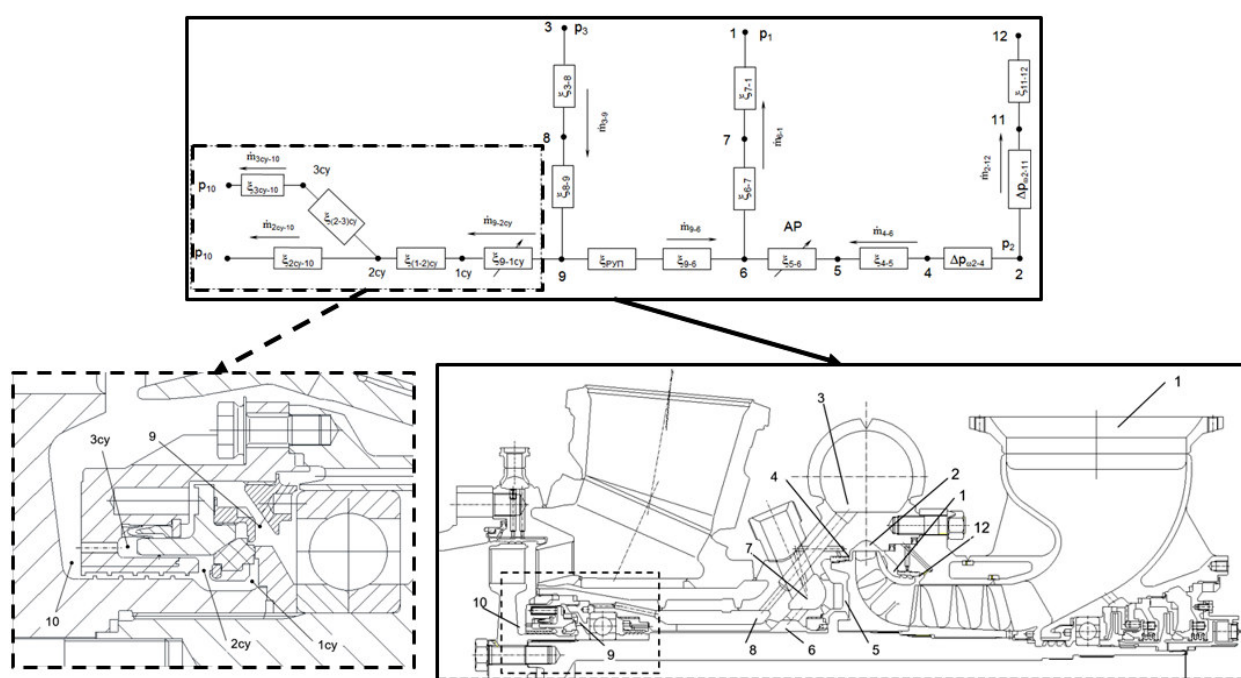


Рис. 1. Схема ТНА, расположение характерных точек и расчетная блок-схема

Текущая математическая модель представлена на рис. 2 и включает в себя характеристики агрегатов из испытаний, экспериментальные и теоретические зависимости перепадов давлений на элементах, экспериментальные значения коэффициентов гидравлического сопротивления, приближенные зависимости некоторых параметров от режима работы двигателя. Модель позволяет получать величины параметров потока и осевых перемещений стояночного уплотнения и вала ТНА, основываясь на данных, полученных при огневых испытаниях двигателя. Дальнейшее развитие модели предполагает возможность прогнозирования этих величин до проведения испытаний двигателя.

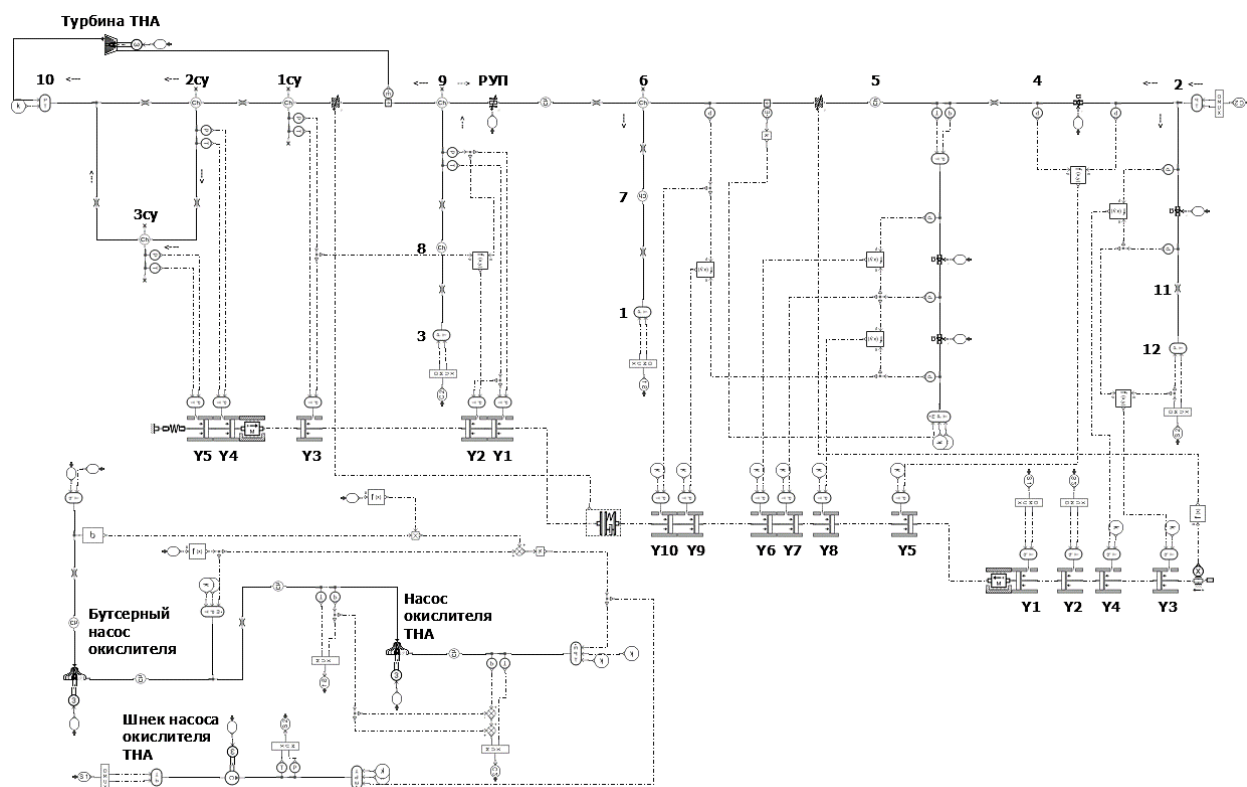


Рис. 2. Текущая математическая модель насоса окислителя, турбины и вспомогательных гидравлических трактов

В используемых методиках для подобных расчетов, обычно, некоторые элементы тракта ТНА заданы приближенными зависимостями. Для отказа от таких зависимостей, а также для проверки теоретических зависимостей, на данный момент проводится трехмерное CFD моделирование элементов ТНА, таких как: автомат разгрузки, лабиринтные уплотнения, коллекторы, кольцевые зазоры и т.д.

Результаты расчетов по разработанной модели, на данный момент не имеют значительных отличий от результатов, полученных по ранее используемым методикам, так как приближенные зависимости пока еще используются при расчете некоторых элементов гидравлического тракта. Однако уже сейчас устранены многие недостатки используемых ранее методик, модель, по сравнению с ними, нагляднее, проще в освоении и экономит большое количество времени при расчете.

УДК 629.7, 681.7, 62-27

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ БОРТОВОГО И НАЗЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

Е. В. Карпов^{1,2}, В. Н. Говердовский¹, А. Ю. Ларичкин^{1,2},
Ю. И. Бровкина¹, А. Н. Прохоров^{1,3}

¹Московский политехнический университет

Российская Федерация, 107023, Москва, ул. Большая Семеновская, 38

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Российская Федерация, 630090, Новосибирск, просп. Лаврентьева, 15

³Тюбол-Центр НСК

Российская Федерация, 630090, Новосибирск, ул. Инженерная, 20

E-mail: evkarpov@mail.ru

Предложен метод проектирования виброизолирующих механизмов с упругими элементами из полимерных композитов для высокоточных бортовых и наземных измерительных систем.

Ключевые слова: слоистый композит, подвижное связующее, механизм квазинулевой жесткости, широкополосная виброизоляция.

Вибрации ракетно-космической техники являются одними из основных лимитирующих факторов для достижения расчетных параметров и обеспечения эффективной работы бортового оборудования. Например, вибрации КА могут в 75 раз превышать допустимые уровни, что препятствует реализации проектных возможностей телескопов. Вибрации низкоорбитальных наноспутников при выводе на орбиту стали причинами отказа электроники и разворачиваемых механизмов в 80 % установленных случаев, приведших к провалу орбитальных миссий. Известные методы виброизоляции способны частично решить проблему на низких частотах, но бесполезны на критических инфрачастотах.

Нерешенные вибрационные проблемы бортовых измерительных систем начинаются на земле, при проектировании и изготовлении. Системы чувствительны к микро/ нанометровым вибрациям, начиная почти с нулевых частот, $f \leq 0,3\text{--}0,5$ Гц. Например, виброперемещения оптики ондуляторных станций не должны превышать 20–60 нм, что на 2–3 порядка выше возможностей известных методов виброизоляции. Аберрация объективов, разрабатываемых и изготавливаемых для телескопов КА, не должна превышать 0,1–0,2 нм. Для диагностики отклонений формы объективов интерферометрическим методом необходимо обеспечить точность измерения ошибок формы порядка 0,5 нм.

Появление механизмов квазинулевой жесткости показало беспрецедентные (в десятки и сотни раз) возможности повышения качества виброизоляции человека и техники. Однако, известные методы проектирования механизмов данного класса, как правило, эмпирические. Это препятствует достижению рационального компромисса между качеством виброизоляции и требованиями к метастабильности характеристик на инфрачастотах, а также компактности и малому весу механизмов в ограниченном системном рабочем пространстве.

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 23-19-00258.

Предложен метод проектирования новых компактных и миниатюрных механизмов данного класса, с геометрически и динамически подобными упругими элементами регулируемой квазиулево́й жесткости на основе слоистых полимерных композитов. В рамках метода, разработаны и апробированы алгоритм и МКЭ-модели решения задачи нелинейной упругости для структурных и параметрических элементов в виде многослойных конструкций из полимерных композитов при упругом закритическом деформировании в большом, с эффектом «плавающего» связующего. Для оптимизации конструкций разработаны алгоритм и расчетные модели по методу Нелдера-Мида. Научная обоснованность и практическая эффективность метода подтверждается результатами теоретического моделирования и, по меньшей мере, 4500 часовых многоэтапных стендовых (статических и динамических) испытаний прототипа системы виброизоляции оптики сверхвысокой точности для фундаментальных исследований и разработки высокотехнологичной продукции нового поколения.

Композитные элементы обеспечили качественный скачок эффективности, компактность, легкость и длительную прочность механизмов. Применение метода позволит качественно изменить решение ряда критических задач виброакустики высокоточных и особой точности измерительных систем ракетно-космической и другой транспортной техники нового поколения. Дальнейшее развитие метода позволит также решить фундаментальную проблему виброакустики более широкого круга объектов, при достижении определенного системного демпфирования и активном, с ИИ-компонентами, управлении механизмами нового типа.

© Карпов Е. В., Говердовский В. Н., Ларичкин А. Ю.,
Бровкина Ю. И., Прохоров А. Н., 2023

УДК 621.9.048

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ

М. А. Колобов

Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84
E-mail: maks.aviator70@gmail.com

В работе представлен электронно-лучевой способ изготовления фильтрующих элементов жидкостных ракетных двигателей, его краткое техническое описание и сравнение с другими технологиями производства фильтров.

Ключевые слова: электронно-лучевая перфорация, отверстие, диаметр, фильтрующие элементы, сверление, электроэрозия, электрохимия, обработка, подложка.

1. Описание проблемы

Незащищенность агрегатов подачи топлива жидкостного ракетного двигателя от попадания твердых частиц в форсунки и зазоры между вращающимися частями, может спровоцировать местные возгорания конструкции и его разрушению.

Для предотвращения подобных отказов ЖРД применяют системы фильтрации, используемые на различных элементах двигателя, состоящие из фильтров с диаметром проходных отверстий от 0,2 до 0,3 мм с шагом от 2d, которые обеспечивают заданное гидродинамическое давление (сопротивление) и не пропускают металлическую стружку и другие посторонние частицы.

2. Сравнение методов получения отверстий

Отверстия малого диаметра используются во многих деталях современных машин и их агрегатов. Их получают различными способами: сверлением, электроэрозионной обработкой, электрохимической и т. д. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки, обусловленные их технологическими особенностями.

2.1. Сверление на металлообрабатывающих станках

Сверление – вид механической обработки материалов резанием, при котором с помощью сверла получают отверстия различного диаметра и глубины.

Технологическими ограничениями при данном методе обработке являются диаметр отверстия и его отношение к глубине сверления (не более 10 диаметров). В соответствии с ГОСТ 10902 спиральные сверла выпускаются диаметром от 0,25 мм и длиной рабочей части 3 мм, что соответствует указанным ограничениям в области применения данной технологии. Также факторами, мешающие использовать сверление при производстве фильтрующих элементов являются стоимость и сложность изготовления свёрл, их хрупкость, невозможность сверления твёрдых материалов и точность позиционирования отверстия (она должна не превышать 0,05 мм) и долгое время обработки более ста тысяч отверстий (среднее количество отверстий на одном фильтре).

2.2. Электрохимическая прошивка отверстий малого диаметра

Электрохимические методы обработки основаны на явлениях, связанных с прохождением электрического тока через растворы электролитов, благодаря которым происходит

изменение формы, размеров и шероховатости заготовки вследствие анодного растворения части заготовки в электролите под воздействием электрического тока. На рис. 1 схематически показано прошивание отверстия электрохимическим методом [1].

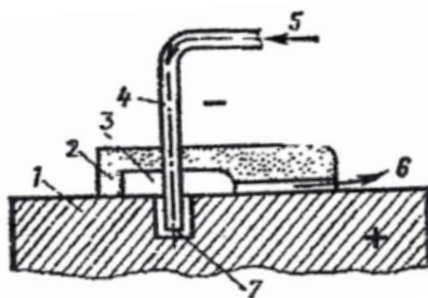


Рис. 1. Схема электрохимического прошивания отверстия:
1 – поверхность обрабатываемой заготовки (анод), 2 – прижим;
3 – местная электролизная ванна; 4 – трубчатый электрод-инструмент (катод);
5 – подвод электролита; 6 – возврат электролита; 7 – прошитое отверстие

Электрохимическое перфорирование позволяет получать отверстия с диаметром 0,3...0,5 мм с шагом отверстий не менее 0,2 мм и максимальной прошиваемой толщиной от 30 до 300 соотношений толщины заготовки к диаметру отверстий.

Достоинствами электрохимической прошивки являются отсутствие механических и термических воздействий. Недостатками являются наводораживание поверхностного слоя металла, малая скорость обработки и минимальный диаметр отверстия от 0,5 мм.

2.3. Электроэрозионная прошивка отверстий

Электроэрозионная обработка заключается в изменении формы, размеров и шероховатости заготовок под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии. Схема процесса представлена на рис. 2.

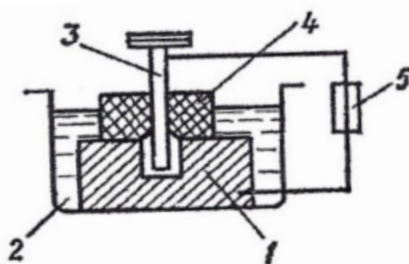


Рис. 2. Схема электроэрозионной прошивки отверстий:
1 – поверхность заготовки; 2 – жидкий диэлектрик;
3 – электрод-инструмент; 4 – кондуктор; 5 – источник питания

Достоинствами данной технологии можно назвать минимальный диаметр отверстий от 0,15 мм, обработка любых металлических материалов. К недостаткам относятся малая скорость обработки и большой расход дорогостоящих электродов, изготовление кондукторов для позиционирования отверстий из дорогостоящих материалов (алмаз, сапфир и т. д.) [2].

2.4. Электронно-лучевой метод получения отверстий

Электронно-лучевая перфорация, основана на технологии кратковременного воздействия электронного луча в низком вакууме на обрабатываемую поверхность заготовки с расплавлением металла для получения отверстий (рис. 3) [3].

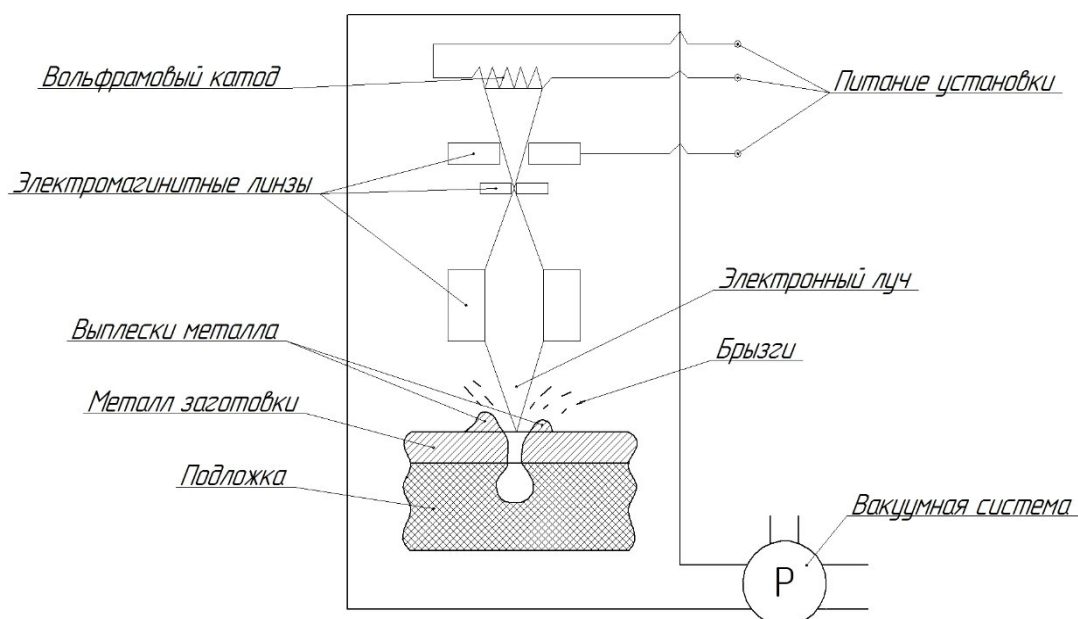


Рис. 3. Схема процесса электронно-лучевой перфорации

Главными достоинствами этого метода обработки являются высокая скорость обработки (2–3 мс на одно отверстие), малая зона термического воздействия, обработка любого металлического материала, широкая номенклатура обрабатываемых изделий, малый диаметр отверстий (от 0,15 мм), большая толщина заготовок (до 5 мм). К недостаткам можно отнести высокую стоимость и сложность оборудования, высокая квалификация персонала, откачка вакуумной камеры, длительная сушка подложки, сложный подбор режимов.

При изготовлении тонкостенных фильтрующих элементов сложного профиля или деталей, выполненных в виде тел вращения, с большим количеством отверстий, способ электронно-лучевой перфорации заготовок различного размера и профиля является единственным и безальтернативным вариантом изготовления деталей данного класса, обеспечивая заданные параметры гидравлического сопротивления, высокую степень очистки топлива и окислителя, высокую производительность обработки заготовок, стабильный выход годной продукции и отсутствие сменных дорогостоящих инструментов.

Библиографические ссылки

1. Данилевский В. В. Технология машиностроения : учебник для техникумов. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1984. 416 с., ил.
2. Журнал «РИТМ машиностроения» 5-2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ritm-magazine.com/ru/public/sovremenye-tehnologii-obrabotki-otverstiy-malogo-diametra> (дата обращения: 19.03.2023).
3. Патент № 2712600 Российская Федерация, МПК В01Д 39/12 (2006.01), В01Д 27/06 (2006.01), В01Д 29/11 (2006.01) Способ изготовления металлического многослойного фильтра и устройство для его осуществления: № 2018133369: заявл. 20.09.2018: опубл. 29.01.2020 / Смоленцев В. П., Широкожухова А. А., Шаров Ю. В. 20 с.: ил. Текст: непосредственный.

© Колобов М. А., 2023

УДК 629.78-03 620.2(15)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В РАКЕТАХ-НОСИТЕЛЯХ КРИОГЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Э. Колоезный, А. Ю. Митин, А. Н. Эйхорн, О. А. Юранев*

АО «ЦНИИмаш»

Российская Федерация, Московская область, г. о. Королёв, ул. Пионерская, 4, к. 22

*E-mail: JuranevOA@tsniimash.ru

В связи с необходимостью совершенствования отечественных средств выведения актуальной стала задача по исследованию возможности применения несущих криогенных топливных баков с оболочкой из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Ключевые слова: топливные баки жидкостных ракет-носителей, полимерные композиционные материалы, криогенные температуры.

В отечественном ракетостроении все баки ракет космического назначения изготавливаются исключительно из алюминиевых сплавов. Алюминиевые конструкции топливных баков практически достигли своего совершенства, при этом их изготовление характеризуется большой трудоёмкостью. В связи с этим возникла задача по замене алюминиевых конструкций на такие, которые обладают лучшей технологичностью и позволят повысить конструктивно-массовое совершенство топливных баков.

В АО «ЦНИИмаш» был проведен ряд научно-исследовательских работ по возможности применения в качестве материала топливного бака полимерных композиционных материалов. Баки из ПКМ потенциально обладают определенными преимуществами перед металлическими баками, такими как низкий коэффициент температурного расширения, относительная дешевизна изготовления и высокая удельная прочность.

Тем не менее, использование композитных баков для криогенного топлива имеет свои особенности. Например, проницаемость оболочки при криогенных температурах, особенно в среде жидкого водорода и в условиях термоциклирования. Поэтому исследования по возможности применения в качестве материала топливного бака ПКМ одновременно проводились по двум направлениям: топливные баки из ПКМ с металлическим лейнером и без металлического лейнера.

В топливных баках из ПКМ с металлическим лейнером последний играл роль гермооболочки, при этом несущая часть бака была выполнена в виде анизотридной сетчатой структуры. Исследования показали, что данная конструктивно-силовая схема работоспособна в условиях температурного и силового воздействия, характерного для баков ракет-носителей на криогенном жидком топливе и может обеспечить снижение веса конструкции до 20 % по сравнению с традиционными алюминиевыми вафельными баками.

Исследования по второму направлению (без металлического лейнера) проводились на модельных баках из ПКМ диаметром 300 мм. Результаты исследований показали, что внедрение ПКМ в состав криогенных топливных баков без металлического лейнера позволит достигнуть снижения общего веса ракеты до 30 %. При этом сроки изготовления криогенных топливных баков из ПКМ могут быть сокращены по сравнению с аналогичными баками из алюминиевых сплавов не менее, чем в 2 раза.

УДК 621.472:621.383.2

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВТОРИЧНЫХ ДУГОВЫХ РАЗРЯДОВ

С. Г. Кочура¹, И. А. Максимов¹, А. Б. Надирадзе²

¹Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»
имени академика М. Ф. Решетнёва»

Российская Федерация, 662972, ЗАТО г. Железногорск Красноярский край, ул. Ленина, 52

¹E-mail: mia@iss-reshetnev.ru

²Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет) –
МАИ

Российская Федерация, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4

²E-mail: nadiradze@mai.ru

Рассмотрены вопросы обеспечения стойкости высоковольтных солнечных батарей космических аппаратов. Предложена программа исследований, которая позволит обеспечить нормальное функционирование батарей в космосе и подготовить кадры по данному направлению.

Ключевые слова: высоковольтная солнечная батарея, вторичный дуговой разряд.

Применение на космических аппаратах (КА) высоковольтных солнечных батарей (ВБС) с рабочим напряжением более 100 Вольт является весьма перспективным [1]. Однако увеличение рабочего напряжения сопряжено с риском возникновения вторичных дуговых разрядов (ВДР), способных привести к разрушению элементов конструкции ВБС (см. рис. 1) и значительному снижению ее выходной мощности [2].

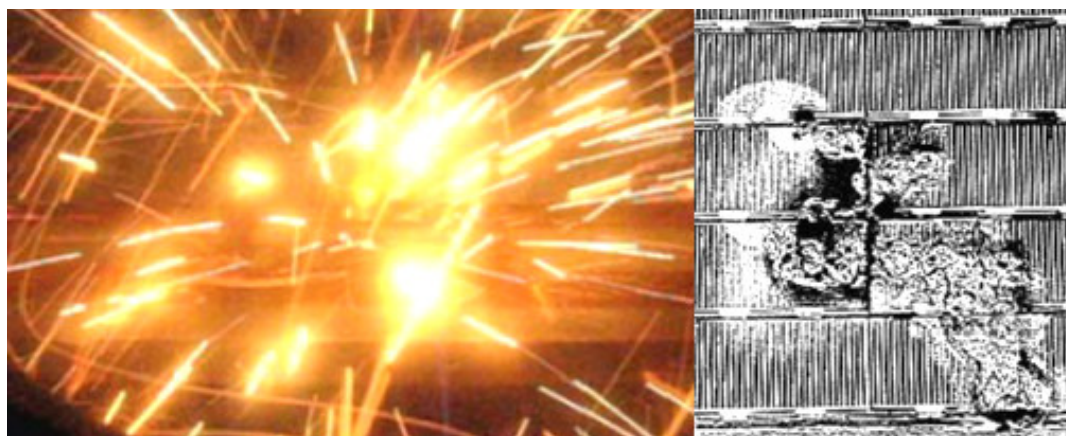


Рис. 1. Вторичный дуговой разряд на ВБС и его последствия

По данным [3], более 30 % отказов зарубежных спутников были связаны с неисправностями ВБС. В России тоже имеется печальный опыт потери КА с ВБС, в том числе на аппаратах с электроракетными двигателями. Поэтому одной из важнейших проблем перехода на повышенное рабочее напряжение солнечных батарей является обеспечение их стойкости к воздействию вторичных дуговых разрядов.

Данная проблема имеет несколько аспектов, один из которых – проведение испытаний ВБС в наземных условиях. Основная сложность состоит в том, что дуговой разряд по своей природе неустойчив. Это не позволяет применять при испытаниях общепринятый подход воссоздания условий функционирования, поскольку за ограниченное время испытаний вероятность возникновения разрушающего разряда настолько мала, что набрать достаточную статистику не представляется возможным.

За последние три года на экспериментальной базе МАИ, включающей три вакуумные камеры $\varnothing 1 \times 2$ м, $\varnothing 1 \times 3$ м и $\varnothing 2 \times 6$ м, были проведены испытания нескольких ВБС различной конструкции. Подтверждена возможность критического разрушения ВБС в результате воздействия ВДР. Выявлено множество проблемных вопросов, как методического, так и научного характера, намечены пути их решения.

Таким образом, в результате многолетнего сотрудничества АО «РЕШЕТНЁВ» и МАИ получен значительный задел в части экспериментальных и теоретических исследований проблемы обеспечения стойкости высоковольтных солнечных батарей к воздействию вторичных дуговых разрядов. Показано, что для обеспечения нормального функционирования высоковольтных солнечных батарей в космосе необходимо проведение НИР. Предложена программа исследований, которая позволит обеспечить работоспособность высоковольтных солнечных батарей перспективных КА и подготовить кадры по данному направлению.

Библиографические ссылки

1. Goebel D. M., Filimonova O. S. High Voltage Solar Array Development for Space and Thruster-Plume Plasma Environments. IEEE Transactions on Plasma Science. 2022. Vol. 50(3). Pp. 721–730. DOI:10.1109/TPS.2022.3147424.
2. Акишин А. И. Снижение мощности солнечных батарей искусственных спутников Земли под воздействием электрических разрядов // Материалы авиационной и космической техники. Перспективные материалы. 2008. № 4. С. 22.
3. Cho M., Kitamura K., Ose T., Masui H., Toyoda K. Statistical Number of Primary Discharges Required for Solar Array Secondary Arc Tests // Journal of Spacecraft and Rockets. 2009. Vol. 46, no. 2. Pp. 438–448.

© Кочура С. Г., Максимов И. А., Надирадзе А. Б., 2023

УДК 6.5

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО ОСЕВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

С. Ю. Морозов, П. Г. Санников

АО «Воткинский завод»

Российская Федерация, 427430, Удмуртская республика, г. Воткинск, ул. Кирова, 2

E-mail: freeze-fms@mail.ru

С появлением на предприятии современных обрабатывающих центров, обладающих расширенными технологическими возможностями, возник вопрос повышения эффективности использования указанного оборудования, в том числе, за счет применения высокопроизводительного осевого режущего инструмент собственной разработки.

Внедрение технологии изготовления осевого режущего инструмента потребовало проведение исследовательских работ включающие, в себя подбор оптимальных геометрий режущей части инструмента, подбор новых марок твердого сплава и быстрорежущих сталей, выбор оптимальных инструментальных решений для изготовления режущего инструмента, не уступающий по своим эксплуатационным характеристикам инструменту ведущих фирм-изготовителей.

Ключевые слова: импортозамещение, твердый сплав, быстрорежущая сталь, режущий инструмент, инструментальный материал, физико-механические свойства.

В 2013 году на АО «Воткинский завод» введен в эксплуатацию инструментальный цех по производству прогрессивного режущего инструмента. Цех оснащен современным социализированным оборудованием для изготовления осевого режущего инструмента: отрезными, кругло-шлифовальными, заочными станкам, а также оборудованием для подготовки и нанесению износостойких покрытий PVD методом (осаждение паров металлов в вакууме при 550 °C).

Технология изготовления осевого режущего инструмента состоит из следующих этапов:

- входной контроль заготовок;
- отрезка заготовок;
- маркировка;
- шлифование базовых поверхностей, наружного диаметра и геометрии инструмента;
- подготовка поверхности режущего инструмента под покрытие;
- нанесение износостойкого покрытия.
- контроль качества готовой продукции.

На этапе освоения технологии изготовления инструмента в цехе было освоено производство аналогов импортного режущего инструмента, который зарекомендовал себя при применении в технологических процессах изготовления серийной продукции. Для чего были проведены замеры геометрии заточки инструмента, проведены исследования по подбору материалов, в том числе поставщиков твердосплавных заготовок, как импортного, так и отечественного производства и наноструктурированных покрытий. В процессе работ инструмент проходил процесс внедрения по разработанным программам работ на опытных партиях деталей, проводились сравнительные результаты по стойкости инструмента. При достижении положительных результатов документировалась конструкторская

и технологическая документация на производство инструмента, а сам инструмент внедрялся в технологические процессы изготовления серийной продукции спецтехники.

Достигнутые результаты проделанной работы:

1. Разработаны новые уникальные конструкции осевого режущего инструмента, с эксплуатационными характеристиками не уступающими импортным аналогам:

1.1. Основные особенности конструкции инструмента: углубленная стружечная канавка, коническая сердцевина, переменный угол подъема стружечных канавок, неравномерный шаг зубьев, наличие струкоделительных канавок.

1.2. Количество канавок, передние и задние углы оптимизировано для каждого обрабатываемого материала (труднообрабатываемых, жаропрочных, титановых и алюминиевых сплавов и закаленных сталей), что гарантирует оптимальную производительность и стабильность при высокопроизводительной обработке.

2. Внедрена технология нанесения износостойких покрытий, выполнялись работы по повышению стойкости инструмента, как режущего, так и контрольного измерительного из традиционных инструментальных сталей за счет применения износостойких покрытий. Также накоплен опыт, получены положительные результаты, которые внедрены в производство.

3. Разработанная нормативно-техническая документация (технические условия) и каталог на весь спектр изготавливаемого инструмента – это концевые фрезы и сверла диаметром от 1,5 до 25 мм из быстрорежущей стали и твердого сплава.

4. Разработаны программы методики испытаний осевого режущего инструмента (весь изготавливаемый инструмент прошел опытные испытания в центральной технологической лаборатории и цехах основного производства.)

Благодаря внедрению и разработке данного инструмента

- освоено производство около 3000 наименований высокопроизводительного осевого режущего инструмента.

- получены показатели стойкости и производительности инструмента на уровне и выше покупных аналогов.

- получено снижение трудоемкости изготовления изделий, за счет увеличения производительности обработки от 1,5 до 4-х раз;

- при внедрении инструментов с износостойкими покрытиями получено увеличение стойкости инструмента от 2-х до 6-ти раз по отношению инструментам без покрытий.

Кроме перечисленных показателей по производительности и стойкости, внедрение инструмента в производство, дополнительно позволило:

- производить обработку деталей, изготовленных из высокопрочных материалов типа ЧС-4, ЧС-5, СП28 и др. после окончательной термической обработки, что позволило в свою очередь исключить систематические замечания по качеству резьбовых поверхностей после термообработки;

- исключить влияние исполнителя на процесс правильной заточки угла инструмента;

- выполнять обработку деталей из особо прочных материалов на станках с ЧПУ за счет высокой размерной стойкости на партиях обрабатываемых деталей (при ранее существовавшей схеме обработки с использованием обычного твердосплавного инструмента обработка производилась только на универсальном оборудовании высококвалифицированными рабочими).

В настоящее время продолжаются работы по подбору новых материалов для производства инструментов в связи с сложившейся геополитической обстановкой и уходом с рынка европейских производителей стержневых твердосплавных заготовок.

УДК 678.027

ПОЛИМЕРНО-КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В АГРЕГАТАХ И СИСТЕМАХ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ*

Е. Н. Некравцев, К. С. Сафонов, И. С. Попов, В. В. Самохвалов

Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, 394006 г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84
E-mail: kafedra_ss@bk.ru

Рассмотрены факторы, влияющие на геометрическую стабильность изделий из полимерно-композиционных материалов при их высокотемпературной полимеризации.

Полимерно-композиционный материал, геометрическая стабильность изделий из ПКМ, препрег.

Применение прочных и легких полимерно-композиционных материалов (ПКМ) хорошо зарекомендовало себя в конструкциях авиакосмической техники. Из них изготавливается до 60 % сборочных единиц в авиационной технике, а также до 15 % силовых элементов в космических спутниковых системах.

Достаточно перспективным направлением в использовании ПКМ является их применение в криогенных системах космической техники. При получении изделий из ПКМ крайне остро стоит проблема геометрической стабильности конструкций, т. е. исключения поворотов и коробления. Как правило, детали и агрегаты, работающие при высоких температурах (до 300–350 °С, а в некоторых случаях и до 400 °С), а также при низких температурах, вплоть до минус 200 °С получают из высокотемпературных препрегов методом автоклавного формования. Этот метод подразумевает ступенчатое нагревание и полимеризацию связующего в препреге при температуре около +180 °С в течение 3–3,5 часов и давлении в зависимости от конструкции: многослойная (сэндвич – панель с сотовым наполнителем) – 2,5–3 атм., монолитная – 5–7 атм. Такой высокотемпературный метод, вследствие усадки связующего при его нагреве, полимеризации и последующем охлаждении со скоростью не более 1,5 °С/мин, а также, возможной несбалансированной укладки монослоев препрега, как правило, приводит к геометрической деформации конструкций из ПКМ. При этом, возникает проблема проведения сборочно-монтажных работ, которые без дополнительных операций доработки и доводки становятся невозможными. И, следует отметить, что указанные дополнительные операции, как правило, тоже высокотемпературные, приводят к существенному уменьшению ресурса изделия, а в некоторых случаях, даже к расслоению ПКМ. Поэтому крайне остро стоит необходимость получения изделий из полимерных композитов геометрически стабильных и соответствующих конструкторской документации при первой полимеризации ПКМ.

Принято к рассмотрению достаточно большое количество факторов, влияющих на геометрическую стабильность изделий из ПКМ:

- схема плетения армирующей основы препрега;
- величина наноса связующего в препреге;
- направление (схема) укладки монослоев в обшивке;

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011).

- поверхность укладки (лицо – изнанка) по отношению к стороне наноса связующего в препреге;
- влияние краевого эффекта;
- направление растяжки сот сотового заполнителя для многослойных (сотовых) панелей;
- форма поверхности изделия;

После проведенных физических исследований на монолитных (ПКМ на стекло- [1; 2] и углепластиковой основах) и многослойных (ПКМ на стекло- и углепластиковой основах с сотовым заполнителем) образцах был сделан вывод о том, что в качестве основных факторов, влияющих на возникновение деформаций изделий из ПКМ следует выделить схему плетения армирующей основы препрега, направление укладки монослоев в обшивке и форму поверхности изделия. Остальные факторы оказывают влияние лишь на очень тонких образцах, не более 2–3 монослоев препрега, что практически не используется в реальных конструкциях авиакосмической техники вследствие недостаточной прочности и жесткости. Поэтому эти факторы в дальнейших исследованиях не учитывались по причине их несущественности.

В итоге проведенных экспериментов были выявлены требования к направлению укладки нуля основы монослоев препрега с учетом схемы плетения армирующего полотна.

Рассмотрены различные комбинации расположения угле- и стеклоармированного препрега в одном пакете ПКМ. Такие конструкции достаточно часто встречаются в обшивках агрегатов авиационной техники. Получены результаты экспериментов, которые несколько отличаются от однородных пакетов ПКМ. Они требуют дополнительных исследований с выходом на теплофизическую модель процесса.

Библиографическая ссылка

1. Исследование процессов устранения коробления авиационных изделий из полимерных композиционных материалов, полученных методом высокотемпературного формования / В. И. Корольков, Е. Н. Некравцев, К. С. Сафонов, П. С. Огурцов, В. А. Оганесов, И. С. Попов, В. В. Самохвалов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 10 (739). С. 84–94.

© Некравцев Е. Н., Сафонов К. С., Попов И. С., Самохвалов В. В., 2023

УДК 621.09.047

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

А. М. Некрылов¹, П. В. Ерасова², Г. А. Сухочев²

¹Акционерное общество «Конструкторское бюро химавтоматики» (АО КБХА)
Российская Федерация, 394055, г. Воронеж, ул. Ворошилова, 20

²Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Предложена методика, благодаря которой динамическое давление рабочей среды может существенно повышать величину зонного динамического давления рабочей среды на труднодоступные поверхности межлопаточного канала.

Ключевые слова: давление рабочей среды, рабочая среда, обрабатываемые поверхности детали, эксперимент, контактные силы.

Динамическое давление рабочей среды на обрабатываемые поверхности детали является обобщенной характеристикой воздействия гранулированной рабочей среды, как на открытые поверхности детали, так и на различные зоны поверхностей ее межлопаточного канала. Величина динамического давления, и размеры гранул рабочей среды, взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью, в наибольшей степени определяют величину контактных сил этого взаимодействия.

Для экспериментального определения характеристик силового воздействия рабочей среды на поверхности межлопаточных каналов детали использовалось ударное устройство, схема которого показана на рисунке.

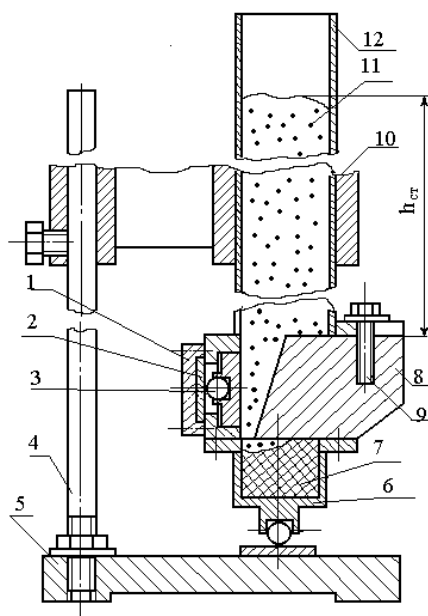


Схема экспериментального ударного устройства:

- 1 – прижимная планка; 2 – образец боковой; 3 – боек; 4 – стойка;
5 – основание; 6 – наконечник; 7 – вставка поролоновая;
8 – вставка сменная; 9 – фиксатор положения вставки;
10 – направляющая; 11 – рабочая среда; 12 – корпус

Нижняя часть корпуса ударника содержит имитатор межлопаточного канала, имеющего вид равномерно сужающегося (сверху вниз) сквозного щелевого отверстия, образуемого плоскими вертикальными поверхностями корпуса 12 и наклонной плоской поверхностью вставки 8. Это отверстие сообщает расположенную над ним полость корпуса (с прямоугольным поперечным сечением) и заполненную поролоновой вставкой 7 полость наконечника 6, который жестко присоединен к корпусу 12 и содержит, в своей нижней части, стальной шарик, посредством которого ударник контактирует с поверхностью плоского образца, расположенного на массивном основании 5, вставка 8 является сменной, что позволяет устанавливать различные величины минимального межлопаточного расстояния и угла сужения имитатора межлопаточного канала. На вертикальной поверхности имитатора межлопаточного канала, напротив его наклонной поверхности, с возможностью перемещения (скольжения) вдоль горизонтальной оси, смонтирован цилиндрический боек 3, одна торцевая поверхность которого является частью вертикальной поверхности имитатора межлопаточного канала, а в центре другой торцевой поверхности закреплен стальной полированный шарик (такой же, как в нижней части ударника). Этот шарик контактирует с плоской поверхностью образца 2, закрепленного в корпусе 12 прижимной планкой 1.

Библиографические ссылки

1. Некрылов А. М., Сухочев Г. А., Родионов А. О. Исследование режимов упрочняющей обработки межлопаточных каналов деталей роторной группы [Текст] // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15, № 9 (177). С. 421–426.
2. Упрочняющая и отделочная обработка технологических труднодоступных проточных каналов деталей [Текст] / Г. А. Сухочев, А. М. Некрылов, А. Ю. Грымзин, С. Н. Подгорнов, В. Н. Сокольников // Научные технологии в машиностроении. 2020. № 7(109). С. 20–23.

© Некрылов А. М., Ерасова П. В., Сухочев Г. А., 2023

УДК 620.22

ВОЛОКНИСТЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФОРМО- И РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

И. В. Обверткин*, К. А. Пасечник

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: 89632609742@ya.ru

Проведена оценка целесообразности использования композиционных материалов на основе модифицированного связующего при изготовлении формо- и размеростабильных изделий аэрокосмической отрасли.

Ключевые слова: ПКМ, упруго-трансформируемые конструкции.

Ограничением применения полимерных композиционных материалов в конструкциях, которые эксплуатируются под действием длительных нагрузок, является ползучесть. Было исследовано влияние углеродных нанотрубок на вязкоупругие свойства композиционного материала на основе эпоксидной смолы. Образцы охарактеризованы методом трехточечного изгиба при режиме релаксации напряжений при помощи динамического механического анализатора. С помощью принципа суперпозиции время-температура получены мастер кривые зависимости уровня напряжений от времени выдержки под нагрузкой для времени выдержки более 4 лет. В качестве модифицируемой смолы использовалась двухкомпонентная эпоксидная система Т67 производства компании ЗАО «ИНУМИТ». В работе в качестве модификаторов полимерной матрицы использовались одностенные углеродные нанотрубки TUBALL™ от компании OCSiAl; многостенные углеродные нанотрубки серии «Таунит» компании ООО «НаноТехЦентр». В качестве армирующего материала в работе использовалась ткань А-80 на основе углеродных волокон IMS65. Описание свойств материалов и методов изготовления образцов приведено в работе [1].

Ползучесть композиционного материала на основе нативной эпоксидной смолы, и эпоксидной смолы с добавлением одностенных (ОУНТ) и многостенных (МУНТ) углеродных нанотрубок была описана мастер кривыми. Приведено сравнение величин податливости после длительной выдержки в деформированном состоянии, а также величина остаточной деформации после снятия нагрузки.

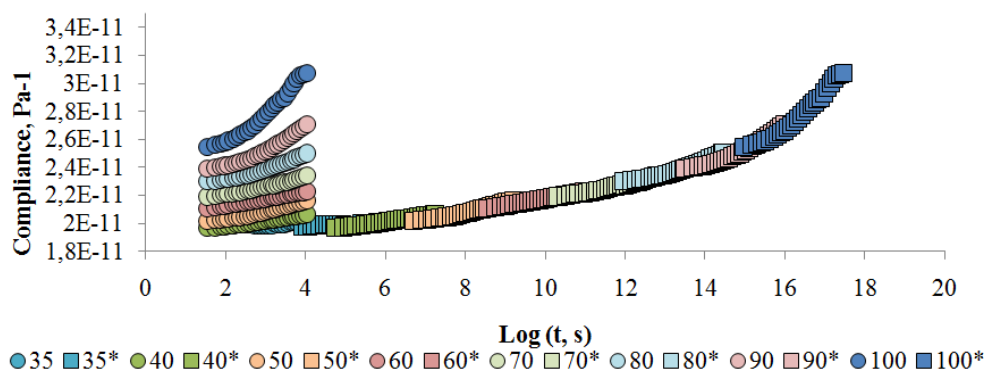
На первом этапе исследования была оценена температура стеклования полимера при различных частотах нагружения. Определена энергия активации через зависимость логарифма частоты от обратной температуры стеклования [2].

Используя допущение о постоянстве энергии активации ΔH в исследуемом температурном диапазоне, возможно рассчитать коэффициент сдвига $\log(a_T)$ согласно уравнению (1) [3]:

$$\log(a_T) = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \log e, \quad (1)$$

где T_{ref} и T – эталонная температура и температура исследования; R – газовая постоянная.

Для построения мастер кривых релаксации используем данные, измеренные в диапазоне температур от 30 до 100 °С при постоянной деформации с использованием полученных коэффициентов сдвига. Мастер кривые получены для эталонных температур равных 25 и 50 °С. Мастер кривая податливости для композиционного материала на основе эпоксидной смолы с 1 % МУНТ приставлена на рисунке.



Компоновка эталонной кривой податливости с помощью коэффициента сдвига при постоянной деформации композиционного материала на основе эпоксидной смолы с 1 % МУНТ для эталонной температуры 25 °С

Далее была оценена зависимость остаточной деформации от времени нагружения для ПКМ на основе эпоксидной смолы с различными модификаторами. После снятия нагрузки для каждого шага режима измерения было оценено восстановление деформации, как отношение деформации, восстановленной после снятия нагрузки к перемещению под действием постоянной силы в течение срока нагружения. На основании данных можно прогнозировать допустимый срок хранения изделия из ПКМ под постоянной нагрузкой. С практической точки зрения процент восстановленной деформации более показательный параметр, поскольку по его величине возможно оценить срок хранения изделия до его отказа, а также определить наиболее подходящий материал для изготовления упруго-трансформируемых изделий.

ПКМ на основе модифицированной смолы с добавлением 0,05 % ОУНТ позволяют снизить накопление остаточной деформации во время нагружения. Влияние модификаторов, тем значительнее, чем больше время нагружения. При времени нагружения порядка 4 лет величина накопленной деформации для ПКМ на основе эпоксидной смолы с добавлением 0,05 % ОУНТ уменьшилась более чем на 30 % по сравнению с образцами из ПКМ на основе немодифицированной смолы.

Исследована релаксация напряжений композиционных материалов, на основе немодифицированной эпоксидной смолы и эпоксидной смолы с добавлением одностенных и многостенных нанотрубок. Показано, одностенные нанотрубки являются наиболее эффективным модификатором в разрезе влияния на вязкоупругие свойства композиционного материала. Добавление 0,05 % одностенных позволяет снизить накопление остаточной деформации во время нагружения более чем на 30 %, по сравнению с образцами из композиционного материала на основе немодифицированной смолы.

Библиографические ссылки

1. Obvertkin I. V., Pasechnik K. A., Vlasov A. Y. The potential of using SWCNTs, MWCNTs and CNFs capable of increasing the composite material dimensional and

technological stability as modifiers of a polymer matrix // PNRPU Mechanics Bulletin. 2021. No. 4. Pp. 98–110. DOI 10.15593/perm.mech/2021.4.10.

2. Santos P., Silva A. P., Reis P. N. B. Effect of Carbon Nanofibers on the Viscoelastic Response of Epoxy Resins. *Polymers*. 2023; 15(4):821. URL: <https://doi.org/10.3390/polym15040821>.

3. Arash Montazeri, Alireza Khavandi, Jafar Javadpour, Abbas Tcharkhtchi. Viscoelastic properties of multi-walled carbon nanotube/epoxy composites using two different curing cycles. *Materials & Design*, 2010, 31 (7). Pp. 3383–3388. URL: [ff10.1016/j.matdes.2010.01.051](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.01.051).

© Обверткин И. В., Пасечник К. А., 2023

УДК 629.782/783:621.382

ОБ ОПЫТЕ ИНТЕГРАЦИИ УСИЛИЙ НАУЧНЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ И МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Г. А. Протопопов*, Е. О. Моргачев

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения»

Российская Федерация, 141070, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

*E-mail: ProtopopovGA@tsniimash.ru

Представлены основные направления работ АО «ЦНИИмаш» по совершенствованию нормативно-методического обеспечения по заданию требований и методам оценки стойкости бортовой аппаратуры к воздействию ионизирующих излучений космического пространства.

Ключевые слова: радиационная стойкость, ионизирующие излучения космического пространства, бортовая радиоэлектронная аппаратура космических аппаратов, нормативный документ.

Как показывают данные телеметрических измерений, основными нарушениями в работе бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) космических аппаратов (КА) являются функциональные отказы и сбои бортовых систем за счет радиационных эффектов и электростатических разрядов под действием ионизирующих излучений космического пространства (ИИ КП). Количество функциональных отказов составляют 75–85 % от общего числа зарегистрированных случаев нарушения работоспособности БРЭА КА [1]. Нарастание спутниковых группировок, усложнение траекторий полета КА, расширение сферы космической деятельности от околоземного космического пространства к освоению Луны и межпланетным перелетам, развитие и появление новых технологий изготовления изделий электронной компонентной базы (ЭКБ) приводит к необходимости решать новые научно-технические задачи в части прогнозирования полей ИИ КП и задания требований по стойкости КА, методов оценки показателей стойкости КА и его составных частей (СЧ), методов радиационных испытаний узлов БРЭА и комплектующей ее ЭКБ. Разрабатываемые методы внедряются в основные отраслевые нормативные документы по обеспечению стойкости КА к воздействию ИИ КП [2–4]. В докладе представлены основные направления текущих работ АО «ЦНИИмаш» с участием кооперации организаций Госкорпорации «Роскосмос» и Минобрнауки России, а именно разработка:

- методики расчета радиационных условий функционирования БРЭА КА на межпланетных траекториях и в околоземном космическом пространстве с учетом операций по довыведению КА на рабочие орбиты с использованием электрореактивных двигательных установок;
- методики защиты СЧ БРЭА КА и комплектующих изделий ЭКБ от сбоев и необратимых отказов, обусловленных одиночными радиационными эффектами при воздействии ИИ КП;
- расчетно-экспериментальной методики оценки стойкости комплектующих изделий оптоэлектроники ЭКБ БРЭА КА к воздействию ИИ КП по одиночным радиационным эффектам.

Новизна результатов заключается:

- в уточнении эффективных вертикальных жесткостей обрезания, необходимых для расчета потоков галактических и солнечных космических лучей по данным обновленной модели главного магнитного поля Земли;
- разработке критериев применимости конструкционной защиты от одиночных радиационных эффектов, а также методов оценки эффективности способов защиты от одиночных сбоев и отказов;
- разработке методики оценки стойкости изделий оптоэлектроники, в том числе без проведения испытаний.

Кроме того, одним из результатов проведенных ранее работ является утверждение в августе 2023 года Госкорпорацией «Роскосмос» новых изменений стандартов [2] и [3].

Таким образом, АО «ЦНИИмаш» в кооперации с научными коллективами различных отраслей успешно проводит работы по совершенствованию нормативной базы и методов обеспечения стойкости БРЭА КА к воздействию ИИ КП.

Библиографические ссылки

1. Марчук В. А., Твердохлебова Е. М., Яковлев М. В. Радиационные и электрофизические эффекты в бортовой аппаратуре космических аппаратов // Космонавтика и ракетостроение. 2021. № 1 (118). С. 131–140.
2. ОСТ 134-1044–2007. Изменение 1 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов. Методы расчета радиационных условий на борту космических аппаратов и установления требований по стойкости радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию заряженных частиц космического пространства естественного происхождения.
3. ОСТ 134-1034–2012. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов. Методы испытаний и оценки стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию электронного и протонного излучений космического пространства по дозовым эффектам.
4. РД 134-0139–2005. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов. Методы оценки стойкости к воздействию заряженных частиц космического пространства по одиночным сбоям и отказам.

© Протопопов Г. А., Моргачев Е. О., 2023

УДК 621.791.722

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Ю. Н. Серегин, А. В. Мурыгин, С. О. Курашкин

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

В работе приведены возможности математического моделирования технологических параметров при электронно-лучевой сварке широкого спектра толщин конструкций ракетно-космической техники.

Ключевые слова: Скорость сварки, фокусное расстояние электронного пучка, мощность электронно-лучевого оборудования.

Для создания неразъёмных соединений зачастую на производстве ракетно-космической техники используется электронно-лучевая сварка (ЭЛС). В процессе получения сварных соединений по разного рода причинам появляются дефекты, которые снижают прочность детали или металлоконструкции, нарушают герметичность выполняемых посредством сварки емкостей, а также способствуют уменьшению надежности эксплуатации данного узла в целом. Соединение деталей требует равномерности зоны нагрева стыка, так как при неравномерности его нагрева возникают дефекты сварных соединений. Требуемые параметры технологического процесса сварки обычно подбираются при помощи натурных экспериментов. Однако проведения натурных экспериментов является материально затратным и требует большого количества времени.

Для авторов наибольший интерес представляет технология, которая используется для широкой номенклатуры толщин соединяемых конструкций. В работах [1; 8] авторами предложены материалы по моделированию процесса ЭЛС с целью нахождения оптимального режима для толщин от 0,1 мм до 30 мм. Полученный опыт моделирования привел авторов к идее исследования возможности применения ЭЛС для значительно больших толщин свариваемых изделий. Таким образом, была реализована цель оценить возможности моделирования теплового процесса нагрева исследуемого материала концентрированным источником энергии в широком диапазоне толщины и применения результатов моделирования для практического использования на электронно-лучевом оборудовании.

Для моделирования параметров технологического режима ЭЛС авторами разработаны критерии оптимизации, по которым вычислялись такие параметры технологического процесса, как скорость сварки, фокусное расстояние и требуемая мощность источника. Критерии оптимизации разработаны на функционалах, в основе которых используются модели мгновенных движущихся точечного и линейного источников из теории теплового процесса [9].

Часто во время моделирования тепловых процессов исследователи выбирают величину энергии точечного источника, опираясь на экспериментальный материал с целью получения адекватной математической модели [10–13]. У авторов не было технической возможности получить опытные образцы сварных швов исследуемой толщины. Поэтому они пошли по пути создания прогнозируемой модели теплового процесса сварки больших глу-

бин проплавления, позволяющих провести оценку возможностей сварки изделий на существующем оборудовании или выбор подходящей для этого энергоустановки.

Совместное применение функционалов позволяет при моделировании объединить два физических свойства процесса нагрева материала: температурные характеристики зоны нагрева и эффективное энерговыделение источников нагрева.

Выводы

Результаты научных исследований, проведенные авторами, позволяют теоретически определить такие возможные параметры технологии электронно-лучевой сварки, как скорость перемещения свариваемого материала и требуемая энергия источника нагрева для деталей с широким диапазоном свариваемых толщин. Применение электронно-лучевой технологии для изготовления изделий ракетно-космической техники существенно окажет влияние на качество сварных соединений за счет оптимального выбора указанных параметров сварки.

Библиографические ссылки

1. Серегин Ю. Н., Мурыгин А. В., Курашкин С. О. Особенности моделирования распределения энергии электронного пучка для процесса электронно-лучевой сварки. Текст : непосредственный // Сибирский журнал науки и технологий. 2020. Т. 21, № 2. С. 266–273.
2. Mathematical modelling of waveguide paths by electron-beam welding / S. O. Kurashkin, A. V. Murygin, Yu. N. Seregin, V. S. Tynchenko, A. V. Lavrishev // 3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, ISM 2021. Procedia Computer Science, Elsevier. 2022. Т. 200. Pp. 83–90. Direct text.
3. Hardware Control of the Electron Beam Energy Density by the Heating Spot / S. O. Kurashkin, V. S. Tynchenko, Yu. N. Seregin, A. V. Murygin, A. N. Bocharov // Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Singapore, 2022. P. 71–78. Direct text.
4. Kurashkin S. O., Seregin Yu. N. Modeling the thermal process using the temperature functional by electron beam welding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. Т. 734, № 1. P. 012003. Direct text.
5. Mathematical functional for thermal distribution calculating during the electron-beam welding process / S. O. Kurashkin, Yu. N. Seregin, V. S. Tynchenko, V. E. Petrenko, A. V. Murygin // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. Т. 1515, № 5. P. 052049. Direct text.
6. Analytical characteristics of the electron beam distribution density over the heated spot for optimizing the electron-beam welding process / S. O. Kurashkin, V. D. Laptinok, A. V. Murygin, Yu. N. Seregin // IOP conference series: materials science and engineering. IOP Publishing, 2019. Т. 681, № 1. С. 012021. Direct text.
7. Свидетельство № 2021616858 Российская Федерация. Программа для моделирования плотности распределения электронного пучка с использованием различных разверток при электронно-лучевой сварке : № 2021615834 : заявл. 19.04.2021 опубл. 28.04.2021 / Курашкин С. О., Тынченко В. С., Серегин Ю. Н., Мурыгин А. В. 1 с. Текст : непосредственный.
8. Свидетельство № 2018664000 Российская Федерация. Программа определения скорости сварки для оптимального нагрева металла в области проплавления : № 2018661400 : заявл. 19.10.2018 : опубл. 08.11.2018 / Серегин Ю. Н., Курашкин С. О., Мурыгин А. В., Тынченко В. С. 1 с. Текст : непосредственный.
9. Теория сварочных процессов / В. М. Неровный, А. В. Коновалов, Б. Ф. Якушин и др. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 340 с.

10. Недосека А. Я., Санченко Г. А., Ворона Г. А. Распределение температуры при действии на поверхность пластины сосредоточенного источника тепла // Автоматическая сварка. 1977. № 6. С. 1–4.
11. Недосека А. Я., Чернова О. И. Распределение температуры в пластинах с источником сварочного нагрева на различной глубине // Автоматическая сварка. 1977. № 7. С. 1–4.
12. Башенко В. В., Петров Г. Л. Формирование зоны проплавления при электронно-лучевой сварке // Автоматическая сварка. 1977. № 9. С. 23–27.
13. Михайлов В. Г., Петров П. И. Расчет тепловых процессов при электронно-лучевой сварке // Автоматическая сварка. 1988. № 5. С. 13–15.

© Серегин Ю. Н., Мурыгин А. В., Курашкин С. О., 2023

УДК 620.22

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ – ОСНОВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

А. Н. Тимофеев

Акционерное общество «Композит»
Российская Федерация, 141070, Московская область,
г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4
E-mail: atimofeev@kompozit-mv.ru

Представлены основные направления работы АО «Композит», как одного из российских лидеров в области разработки материалов, головной научно-исследовательской организации Госкорпорации «Роскосмос». Показаны этапы развития двух мировых трендов: аддитивные технологии и композиционные материалы. Обсуждены результаты разработки перспективных композиционных материалов на основе пековых углеродных и карбидокремниевых волокон.

Ключевые слова: материаловедение, аддитивные технологии, композиционные материалы, пековое углеродное волокно, карбидокремниевое волокно.

Разработка и создание перспективной техники существенно зависит от уровня разработки новых материалов, способов их получения и технологии изготовления из новых материалов деталей и конструкций, обеспечивающих ее надежную эксплуатацию. АО «Композит» как головная научная организация по материаловедению ГК «Роскосмос», одна из ведущих мировых компаний в данной области, традиционно проводит работы по созданию новых материалов и способов их получения.

Мировой тренд материаловедения, направленный на широкое внедрение аддитивных технологий, нашел свое отражение и в работах АО «Композит». Предприятие обладает полным замкнутым циклом аддитивного производства металлических деталей:

- изготовление слитков, необходимого химического состава;
- получение гранул, необходимого размера и формы;
- SLM – селективное лазерное сплавление, EBM – электронно-лучевое сплавление, DLMD – прямое лазерное нанесения металла и др.;
- газостатическое уплотнение.

Композиционные материалы широко применяются не только в аэрокосмической технике, но и в химической, нефтяной, металлургической промышленности. Так, например, стойкость углерод-углеродного композиционного материала к агрессивным средам позволяет изготавливать из него химические реакторы, ситчатые тарели отпарных колонн, оснастку для термообработки металлических деталей, корпуса нефтеперекачивающих насосов. К настоящему времени в АО «Композит» разработана линейка УУКМ, различной схемы армирования и с матрицами, получаемыми из газовой фазы (пиролиз метана) или жидкой фазы (пиролиз каменноугольного или нефтяного пека). Создание пековых углеродных волокон и, соответственно, композиционных материалов на их основе обеспечит новый этап развития техники, где требуются такие характеристики как размеростабильность, высокая теплопроводность, жесткость.

В последние десятилетия ученые многих стран с целью повышения стойкости композиционных материалов в агрессивных средах, приступили к разработке керамоматричных материалов. Уникальность данного класса материалов заключается в возможности, в зави-

симости от условий эксплуатации, применять в качестве матрицы необходимые соединения (карбиды, бориды, нитриды, силициды и оксиды тугоплавких металлов).

В АО «Композит» для разработки и производства композиционных материалов, обеспечивающих необходимую работоспособность различных деталей из них, приступил к созданию технологий получения оксидных и карбидокремниевых волокон. Так, разработанное на сегодняшний день карбидокремниевые волокна марки «Кералан» по уровню свойств соответствует второму поколению в мировой классификации, при этом создается задел для перехода к производству SiC-волокон третьего поколения. Разработанные волокна карбида кремния крайне важны для развития такого класса материалов как металлокомпозиты, с различной металлической матрицей (Al, Ti, Mo, Ta и др.). Армирование металлов SiC_f позволит повысить температуру эксплуатации деталей из них и их сплавов.

В докладе представлены также свойства ряда разработанных материалов, которые могут работать в различных условиях эксплуатации.

© Тимофеев А. Н., 2023

УДК 621.792

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г. И. Шайдунова¹, И. Л. Васильев², Я. С. Шевяков³,
М. Ю. Ощепкова⁴, М. А. Кустов⁵

ПАО НПО «Искра»

Российская Федерация, Пермь, ул. Академика Веденеева, 28

E-mail: ¹ShaydurovaGalina@npoiskra.ru, ²VasilevIgor@npoiskra.ru,

³ShevyakovYakov@npoiskra.ru, ⁴omy615@iskra.perm.ru, ⁵kma615@iskra.perm.ru

Актуальным является вопрос формирования клеевого соединения резины с металлом с повышенными адгезионными характеристиками в эластичных подвижных соединениях сопел РКТ. Приведены результаты испытаний новых отечественных клеев марки Пермлок-01 и Пермлок-11 [1] в конструкциях ракетно-космической техники. Определено что основные технические характеристики клеев находятся на высоком уровне, а клеи конкурентоспособны с импортными клеящими материалами. Результаты работ позволяют рекомендовать отечественным производителям, использование новых отечественных клеев Пермлок в резино-металлических конструкциях формируемых методом горячей вулканизации.

Ключевые слова: импортозамещение, клеевые композиции, резино-металлические конструкции.

Опыт разработки управляемых сопловых блоков ракетных двигателей на твердом топливе привел к созданию надежных эластичных шарниров (ЭШ) – резино-металлических конструкций, участвующих в управлении траектории движения двигательной установки РКТ. Отработка и детальное изучение таких изделий позволили увеличить их ресурс и обеспечили возможность их использования в условиях длительных циклических нагрузок в условиях экстремальных температур и агрессивных сред.

Объектом исследования являются эластичные подвижные соединения, представляющие конструкции из чередующихся слоёв металлических жёстких элементов и низкомодульных эластомеров, обеспечивающих возможность тангенциального сдвига при полной сохранности адгезионной прочности (рис. 1).

Зарубежный отечественный опыт показывает, что чаще всего в таких конструкциях применяется система клеев типа «Хемосил 211/411 (производство – Германия).

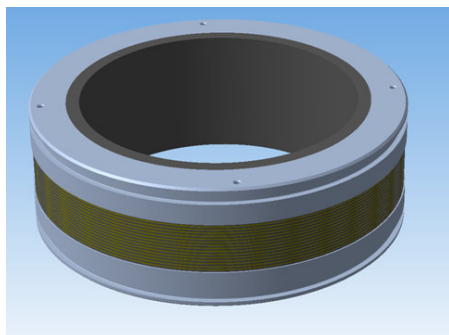


Рис. 1. Общий вид эластичного подвижного соединения

При кажущейся конструктивной простоте эластичных соединений, реализация противоречивых требований к свойствам адгезионного соединения данного изделия в большой степени зависит от технических показателей применяемых эластомеров для упругих слоёв и формирования границы крепления в технологии его изготовления, когда должна быть обеспечена сохранность (несмываемость) клеевого слоя при скоростном перемещении разогретой резины до начала вулканизации.

Основной технической характеристикой для рассматриваемой конструкции является прочность крепления резины к металлу при сдвиге. Это связано с тем, что эластичный шарнир, размещаемый между подвижной и не подвижной частью соплового блока, испытывает сжимающие нагрузки, передаваемые на слои вулканизата резины. Сжимаемый слой резины стремится сдвинуться за пределы конструкции, но удерживается клеем.

Для решения задачи, поставленной Постановлением Правительства в области обеспечения технологической независимости вышеуказанной, ПАО НПО «Искра» совместно с ООО НПП «Полис» г. Пермь в рамках договора с АО «Композит» г. Королев Московской области, разработаны, апробированы и реализованы отечественные рецептурные клеевые композиции горячей вулканизации марок Пермлок-01 и Пермлок-11.

На систему клеев разработаны технические условия «Клеи Пермлок для крепления резиновых смесей. ТУ 20.52.10-025-31540227-2017», оформлены паспорта безопасности и комплект технологической документации.

Клей Пермлок-01 (праймер) и Пермлок-11 (покровный) являются двухслойной системой для крепления к металлу резин на основе изопренового СКИ-3 с пластификацией бутадиеновым жидкофазным олигомером СКДО с концевыми нитрильными группами. Двухслойная система клеев Пермлок-01 и Пермлок-11 может применяться и с другими эластомерами, в частности, на основе СКЭПТ.

Критерием оценки качества формируемого клеевого соединения является адгезионная прочность при отрыве и сдвиге.

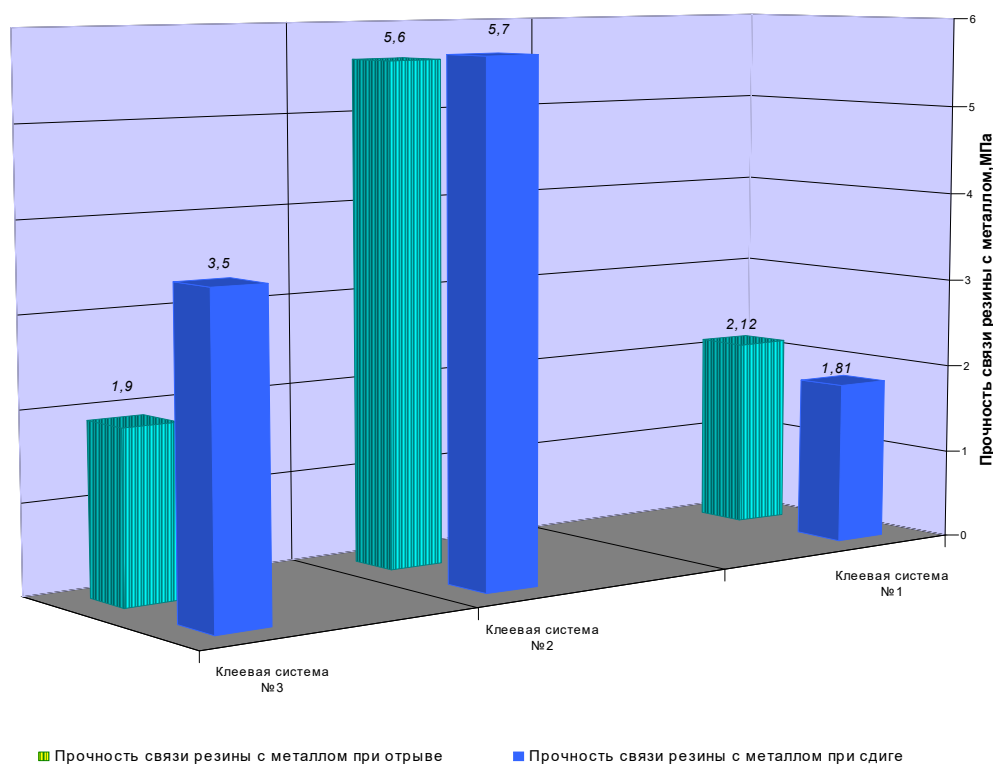


Рис. 2. Прочность связи резины с металлом при использовании различных клеевых систем

Применение новой системы клеев привело к повышению эксплуатационных показателей клеевых композиций практически в 1,5 раза (рис. 2). При этом стабильность адгезионной прочности клеевого соединения с использованием новой системы клеев подтверждается результатами изготовления изделий по настоящее время, значения параметров находятся в установленных границах регулирования.

По результатам испытаний (см. таблицу) образцов видно, что все характеристики приблизительно равны, за исключением прочности связи резины с металлом при сдвиге с использованием нового клея отечественного производства. Значение прочности при сдвиге превысило в 1,5 раза по отношению к импортной системе клеев.

Физико-механические показатели резинометаллических образцов при использовании клеев импортного и отечественного производства

Наименование показателя	Образцы с применением системы клеев импортного производства	Образцы с применением клея отечественного производства
Прочность связи резины с металлом через систему клеев при отрыве, МПа	6,09 5,32 5,14 5,35 ср. = 5,5	6,13 5,76 6,03 5,97 ср. = 5,97
Прочность связи резины с металлом через систему клеев при сдвиге, МПа	5,09 6,21 4,99 5,30 ср. = 5,4	10,40 8,66 9,37 7,95 ср. = 9,10
Модуль упругости при сдвиге при 100 % деформации, МПа	0,224 0,228 0,229 0,220 ср. = 0,23	0,238 0,248 0,251 0,236 ср. = 0,24
Модуль упругости при сдвиге при 200 % деформации, МПа	0,202 0,212 0,211 0,211 ср. = 0,21	0,228 0,227 0,229 0,217 ср. = 0,23
Прочность связи резины с металлом через систему клеев при отрыве на тарелках, МПа	4,0 (разрыв по резине)	4,0 (разрыв по резине)

В результате выполненных работ:

1. Создан российский аналог импортной системы клеев, не только не уступающий по уровню адгезионных характеристик, но и превышающий по показателю прочности связи резины с металлом при сдвиге в 1,5 раза.

2. Благодаря использованию низкомолекулярных эластомеров с высокими показателями адгезионной прочности при отрыве и сдвиге разработаны уникальные конструкции эластичных подвижных соединений с большой осевой жесткостью при сжатии и малой жесткостью в поперечном направлении. Такой принцип действия может быть применен для многих агрегатов, испытывающих амплитудно-частотные воздействия и ударные нагрузки.

3. Модификация вновь созданной импортозамещающей системы клеев «Пермлок» с использованием целевых добавок, включая нанокomпоненты, позволяет расширить

номенклатурный ряд продуктов и решить актуальную задачу в этой области по обеспечению технологической независимости от зарубежных поставщиков.

Библиографические ссылки

1. ТУ20.52.10-025-31540227-2017. Клей ПЕРМЛОК для крепления резиновых смесей. Технические условия. 2017.
2. ГОСТ 209–75. Резина и клей. Методы определения прочности связи с металлом при отрыве. Введ. 01.01.1977. М. : Издательство стандартов, 1993.
3. Патент RU 2.

© Шайдурова Г. И., Васильев И. Л., Шевяков Я. С.,
Ощепкова М. Ю., Кустов М. А., 2023

Секция
**«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЛЕКСЫ
ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ В ИНТЕРЕСАХ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

УДК 519.87

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ТЕХНОЛОГИИ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ
КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ***

Л. А. Казаковцев, И. С. Масич¹, Н. Л. Резова, Г. Ш. Шкаберина

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
¹E-mail: i-masich@yandex.ru

Целью настоящих исследовательских работ является разработка алгоритмического и программного обеспечения формирования однородных групп ЭРИ на основе методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных для внедрения их в технологию дополнительных испытаний ЭКБ космического применения.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, кластерный анализ, электронная компонентная база.

Постоянное расширение объема решаемых космическими аппаратами (КА) задач, увеличение их сроков активного существования (САС), неремонтопригодность аппаратуры находящегося на орбите КА предъявляют особые требования к изделиям электронной компонентной базы (ЭКБ) космического применения.

Особые требования предъявляются к совершенствованию технических характеристик изделий ЭКБ (функционального назначения, миниатюризации, радиационной стойкости, работы на более высоких частотах и др.), существенным образом влияющих на ТТХ аппаратуры и КА в целом. Тем не менее, основным требованием является обеспечение длительной безотказной работы, т. е. надежности изделий ЭКБ.

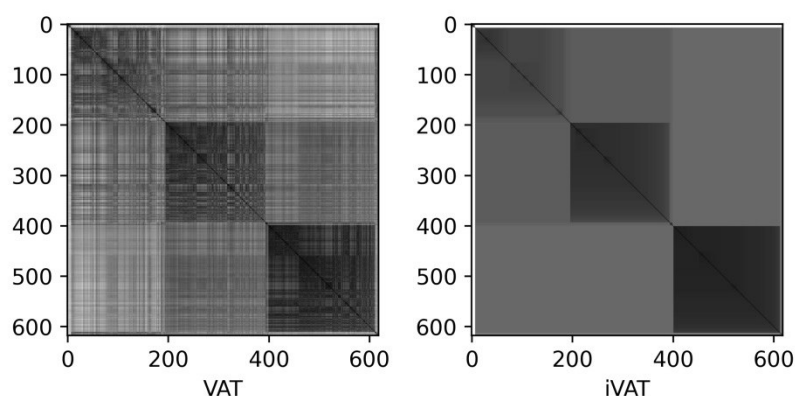
Постоянное усложнение применяемых на КА электронных устройств, помимо введения в технологию дополнительных испытаний ЭРИ космического применения современного технологического оборудования, требует непрерывного совершенствования самой методологии испытаний.

Одним из слабых мест является методика формирования тестовых выборок для проведения разрушающего анализа: разрушающего физического анализа (РФА) и анализа на радиационную стойкость. В настоящее время отбор элементов в тестовую выборку осуществляется случайным образом. Результаты разрушающего анализа распространяются

* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (FEFE-2023-0004).

на всю испытываемую партию элементов. Этот подход справедлив, если все элементы испытываемой партии произведены в одинаковых условиях и являются однородными. На практике это требование не выполняется, и элементы могут быть разнородными, т. е. фактически принадлежать различным производственным партиям.

Целью проводимых исследовательских работ является разработка алгоритмов формирования однородных групп ЭРИ для внедрения их в технологию дополнительных испытаний ЭКБ космического применения. В первую очередь, необходимо определить, является ли рассматриваемая партия однородной. Это выполняется с помощью методики обнаружения кластерной структуры внутри партии ЭРИ (тенденции к кластеризации) посредством аналитического определения и визуальных средств выявления тенденции к кластеризации. Алгоритм визуальной оценки кластерной тенденции VAT создает изображение переупорядоченной матрицы различий, которое можно использовать для визуальной оценки кластерной структуры (включая потенциальное количество кластеров) в данных (см. рисунок).



Применение алгоритмов VAT/iVAT для визуализации тенденции к кластеризации на примере партии микросхем 1526ЛЕ5

При обнаружении неоднородности выполняется разделение элементов на однородные подгруппы с помощью инструментов кластерного анализа и средств валидации результатов кластеризации. Определение элементов-выбросов как элементов, обладающих совокупностью тестовых характеристик, резко отличающих элемент от основной массы элементов группы, является хорошим дополнением к существующим алгоритмам определения потенциально ненадежных элементов.

Разработанное алгоритмическое обеспечение позволяет на основе результатов тестовых испытаний электронных компонентов выявлять однородные подгруппы изделий для их отбора при проведении дальнейших испытаний и использования в электронной аппаратуре космических аппаратов.

© Казаковцев Л. А., Масич И. С., Резова Н. Л., Шкаберина Г. Ш., 2023

УДК 519

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

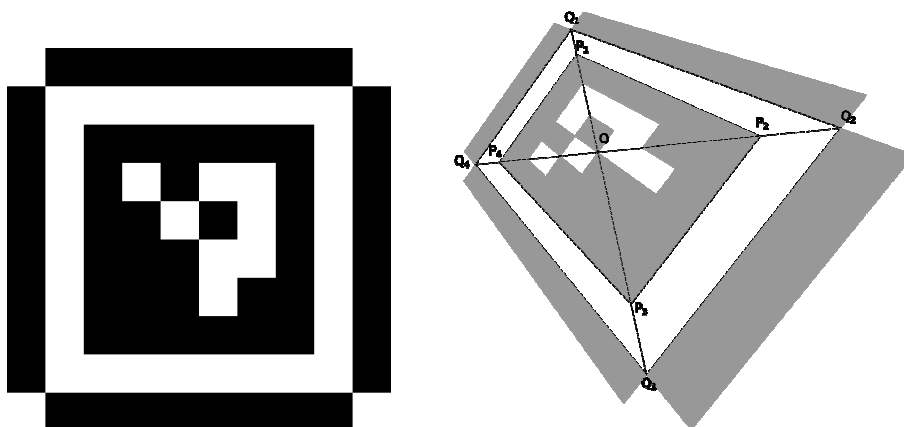
В. Р. Куликов

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: v.r.kulikov@mail.ru

В работе предложен новый тип фидуциарных меток для определения пространственного положения камеры, а также методы определения пространственного положения объектов с использованием данных меток.

Ключевые слова: пространственного положения, камера, фидуциарные метки, проекция.

В системах компьютерного зрения при определении положения объекта в пространстве координат камеры часто используются фидуциарные метки. Однако точность определения положения зависит от многих факторов: качество изображения, точность определения внутренних параметров камеры, положения и размера фидуциарной метки в кадре.



Фидуциарный маркер и вариант его проекции с ключевыми точками

Маркер представляет собой обычный ArUco маркер [2], вокруг которого изображены 4 черных прямоугольника, стороны которых параллельны сторонам маркера, а углы каждого двух смежных прямоугольников совпадают (точки Q_1, Q_2, Q_3, Q_4). В качестве точек привязки используются эти точки соприкосновения углов прямоугольников, в окрестностях которых локально повторяется узор узлов шахматной доски (см. рисунок).

Алгоритм детекции:

1) с помощью функции `cv::aruco::detectMarkers()` детектируются все маркеры из заданного словаря.

2) для каждого обнаруженного маркера координаты его обнаруженных вершин $P_1, \dots, P_4$, преобразуются чтобы получить координаты точек $Q_1, \dots, Q_4$.

а) точка O находится как точка пересечения отрезков P_1, P_3 и P_2, P_4 ;

б) по известному соотношению $r = \frac{Q_1 Q_3}{P_1 P_3}$ линейных размеров внутреннего ArUco-маркера и маркера, пользуясь инвариантностью двойного отношения точек при проективном преобразовании:

$$\frac{P_3 P_1}{OP_1} \div \frac{P_3 Q_1}{OQ_1} = \frac{2r}{1+r},$$

откуда, учитывая, что $OQ_1 = P_3 Q_1 - P_3 O$, нетрудно получить

$$P_3 Q_1 = \frac{P_3 P_1 \cdot P_3 O \cdot (1+r)}{P_3 P_1 \cdot (1+r) - 2r \cdot OP_1};$$

3) аналогичную процедуру повторим для точек Q_2, Q_3, Q_4 .

4) далее, координаты точек $Q_1, \dots, Q_4$ уточняются с помощью метода `cv::cornerSubPix[OpenCV]`;

5) полученные точки и будут являться проекциями точек вершин маркера на изображение.

В рамках исследования эффективности и точности позиционирования камеры по предложенному маркеру был проведен синтетический эксперимент, по определению положения в пространстве куба, на грани которого нанесены фидуциарные метки.

Синтетический эксперимент выполнялся на данных, полученных рендерингом трехмерного куба с размером ребра 200 мм на грани которого нанесена текстура с ArUco-маркерами в одном случае и с предложенными в работе маркерами в другом. Центр куба расположен на оптической оси камеры, на расстоянии 3000 мм от центра камеры. Размер маркера при этом составляет 160 мм. Для определения положения использовались вершины всех обнаруженных меток. Куб вращался в поле зрения камеры в двух плоскостях, всего для каждого типа маркера был получен 8281 снимок. При этом измерялось отклонение положения куба, определенное с помощью видимых маркеров, от известного его положения. В результате эксперимента среднее значение отклонение для ArUco-маркеров составило 4,824 мм в то время как для предложенного маркера всего 0,640 мм.

Таким образом, предложенная в работе фидуциарная метка может быть использована в ситуациях, в которых необходимо повысить точность определения положения объекта в пространстве с использованием систем технического зрения.

Библиографические ссылки

1. OpenCV: [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.opencv.org> (дата обращения: 07.09.2023).
2. Garrido-Jurado S., Muñoz Salinas R., Madrid-Cuevas F. J., Marín-Jiménez M. J. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion, Pattern Recognition, 47 (6), (2014), 2280–2292.

© Куликов В. Р., 2023

УДК 519

КОНЦЕПЦИЯ РОБОТИЗАЦИИ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

П. С. Курлыков

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: go-prohor@yandex.ru

Первичные предложения по выбору средств роботизации сборки КА с учётом конструктивных особенностей КА и общей теории автоматизации сборочных операций.

Ключевые слова: промышленный робот; сборка; космические аппараты; роботизация труда; автоматизация сборки.

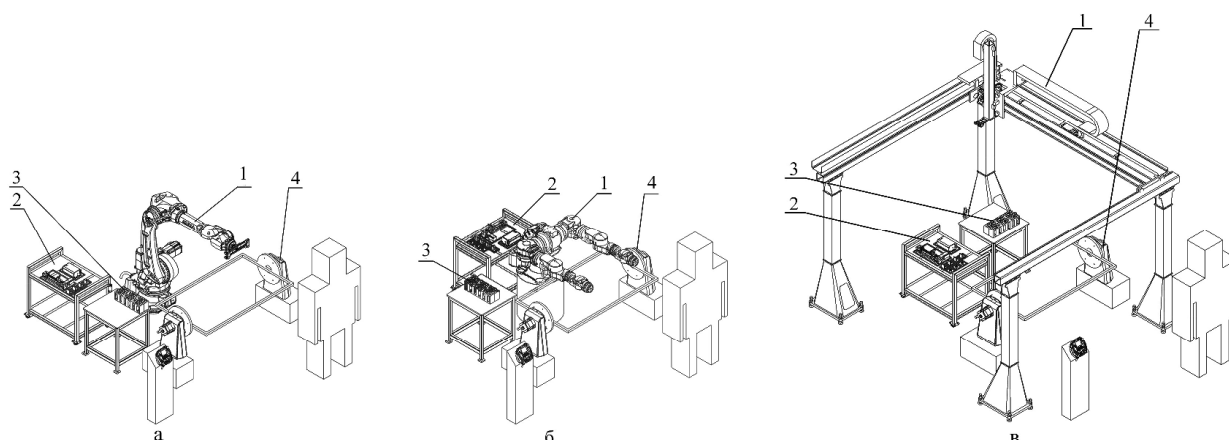
Учитывая потребность в большом количестве космических аппаратов (КА) в современных орбитальных группировках (ОГ), необходимость формирования ОГ в короткие сроки, преследование принципа «встроенного качества» [1], а также, тот факт, что в современном промышленном производстве значительную долю в общем объёме трудозатрат занимают сборочные работы (порядка 25–40 % машиностроение; 70 % приборостроение) [2] следует обратить внимание, на промышленную робототехнику, нашедшую применение в автоматизации сборочных процессов.

Среди трудностей автоматизации сборки КА можно выделить следующие: широкая номенклатура сборочных единиц КА и их параметров, применение специфических материалов. Что говорит о необходимости применения нескольких исполнительных устройств.

В виду универсальности предлагается применение широкодиапазонного параллельного электромеханического схвата с возможностью автоматической смены рабочих элементов.

Для осуществления винтового соединения предлагается применение устройства с возможностью захвата, перемещения и закручивания винта с заданным моментом.

Предполагается возможность работы с консистентными технологическими средами (термопаста, клеевые составы).



Компоновка рабочего места:

а) с 6-осевым; б) двуруким; в) порталным роботом:

1 – робот-манипулятор; 2 – телега с сборочными единицами и крепёжными изделиями; 3 – сменные рабочие элементы; 4 – кантователь

Возможные концепции внедрения роботов для выполнения сборочных операций на фиксированной панели спутника (см. рисунок):

- замена человека 6-ти осевым роботом-манипулятором со сменными исполнительными устройствами на существующих рабочих местах;
- использование двурукого робота или двух (трех) 6-ти осевых манипуляторов на одном рабочем месте;
- разработка специализированного порталного робота [3] с 5-ю степенями подвижности, выполняющего сборочные операции для группы однотипных изделий.

Таким образом, были выдвинуты первичные предложения по применению средств робототехники при автоматизации сборки КА.

Библиографические ссылки

1. Кузовников А. В., Валов М. В., Зимин И. И. Космический аппарат «Марафон» низкоорбитальной многоспутниковой системы передачи данных «Марафон IoT» // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Малые космические аппараты» : сб. ст. I Всерос. науч.-техн. конф. ; Анапа, 29 июля 2021 года. Анапа: ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2021. С. 340–351. EDN WLWMPT.

2. Мартынов В. Г. Роботизация и автоматизация сборочных процессов в современном промышленном производстве // Техника и технологии: пути инновационного развития : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. ; Курск, 29 июня 2013 года / отв. ред. А. А. Горохов. Курск : ЗАО «Университетская книга», 2013. С. 120–123. EDN TJAZHT.

3. Козырев Ю. Г. Применение промышленных роботов : учеб. пособие. М. : КноРус, 2021. 488 с. ISBN 978-5-406-08603-2.

© Курлыков П. С., 2023

УДК 004.896

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛАТФОРМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

С. А. Матвеев¹, А. В. Леканов², М. И. Надежин^{1*}

¹Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова
Российская Федерация, 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-ая Красноармейская, 1
*E-mail: nadezhin_mi@voenmeh.ru

²Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»
имени академика М. Ф. Решетнёва
Российская Федерация, 662972, ЗАТО г. Железногорск Красноярский край, ул. Ленина, 52

Рассмотрены вопросы надежности космических аппаратов (КА) и их подсистем. Представлены перспективные разработки интеллектуальных мехатронных систем и устройств космического назначения, позволяющие повысить надежность КА.

Ключевые слова: робототехника, мехатроника, информационные системы, космический аппарат, надежность.

Сложность подсистем КА, выражающаяся в общем количестве структурных элементов, общем количестве электрорадиоизделий и сложности программного обеспечения, растет ежегодно вследствие усовершенствования и расширения функционала как самих КА, так и их подсистем, путем усложнения конструкций узлов, алгоритмов управления исполнительными элементами и алгоритмов обработки информации систем телеметрии.

При этом существуют проблемы применения робототехнических комплексов в составе КА, заключающиеся в: обеспечении работы с эксплуатируемыми КА в автономном режиме; отсутствии малых маневрирующих сервисно-ремонтных КА; необходимости обеспечения телеуправления либо автономной работы сервисных роботов; необходимости вскрывать обшивку КА для доступа к большинству деталей и узлов.

Разработка современных бортовых робототехнических и мехатронных систем космического назначения должна осуществляться с применением новых конструктивных и программных решений, которые обеспечат их надежность и работоспособность в течение всего срока активного существования КА.

Наиболее перспективным направлением развития космической техники является интеллектуализация бортовых систем, позволяющая минимизировать существующие проблемы применения робототехнических комплексов в составе КА.

В докладе представлены перспективные разработки интеллектуальных робототехнических и мехатронных систем и устройств, применяемых в авиационной, транспортной и космической областях:

- системы наведения, позиционирования и стабилизации бортовой аппаратуры КА;
- универсальные мехатронные модули перемещения объектов авиационно-космической техники;
- высокоресурсные насосные агрегаты;
- системы управления и исполнительные органы трансформируемых конструкций;
- робототехнические комплексы для обслуживания КА.

Указанные системы и устройства предназначены для решения широкого спектра задач и имеют высокие показатели надежности и ресурса работы вследствие использования уникальных конструктивных решений, применения современных отказоустойчивых режимов управления приводными двигателями и интеллектуальных бортовых систем мониторинга, диагностики и прогнозирования ресурса.

© Матвеев С. А., Леканов А. В., Надежин М. И., 2023

УДК 004.896

ПРИМЕНЕНИЕ КОПИРУЮЩИХ МАНИПУЛЯТОРОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

С. А. Матвеев, Н. Г. Яковенко^{*}, Н. С. Слободзян,
В. Д. Грагерт, М. И. Надежин

¹Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова
Российская Федерация, 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-ая Красноармейская, 1
^{*}E-mail: iakovenko_ng@voenmeh.ru

Рассмотрена возможность и целесообразность применения копирующих манипуляторов на перспективных КА, расширение функционала космонавтов при осуществлении ВКД.

Ключевые слова: робототехника, копирующие манипуляторы, космический аппарат.

Копирующие манипуляторы – одна из распространенных разновидностей манипуляционных роботов, предназначенных для выполнения работ в опасной для человека среде путем прямого или масштабированного воспроизведения движений руки оператора.

Широко используются в атомной промышленности, химической промышленности, биомедицинской промышленности.

Принципиальное преимущество – обратная силомоментная связь, когда оператор прямо или пропорционально получает обратную связь по моменту и усилию, что существенно влияет на правильное выполнение точных и ответственных операций во враждебной среде.

Возможно датчиковое и бездатчиковое управление на основе косвенных измерений на задающей стороне.

Существуют антропоморфные копирующие манипуляторы типа МЭМ-10, когда задающая рука полностью совпадает с размерами и кинематикой руки мужчины ростом от 180 до 185 см, а исполнительная рука кинематически абсолютно подобна, но чуть более массивна. Передача управления по проводам, задающая и исполнительная части копирующего манипулятора разнесены в пространстве.

Существуют механические копии типа М31, А100, А200 и др.

Задание движения напрямую – последовательная кинематика

Задание движения на основе параллельной кинематики

Задание движения на основе джойстика

Размещение копирующего манипулятора на внешней поверхности обитаемого КА позволит осуществлять многие операции по внекорабельной деятельности без выхода в открытый космос с наблюдением по телекамере.

Возможно размещение копирующего манипулятора на подвижном основании, например, на рельсовом пути, проложенном по внешней поверхности КА. Возможно сочетание подвижного и неподвижного копирующих манипуляторов для увеличения функционала.

При выходе в открытый космос возможна совместная деятельность космонавта и манипулятора, управляемого вторым членом экипажа, расположенного внутри КА.

С целью экономии места внутри КА возможно задание движения с помощью джойстика, но тогда существуют определенные сложности с правильной реализацией обратной силомоментной связи.

Возможно задание с помощью устройства с последовательной кинематикой, которое кинематически подобно, но по размерам меньше исполнительного органа копирующего манипулятора.

Вывод

Применение копирующих манипуляторов в составе перспективных КА может облегчить работу космонавтов в ходе ВКД, повысить безопасность и увеличить функциональность применения манипуляторов при осуществлении ВКД.

© Матвеев С. А., Яковенко Н. Г., Слободзян Н. С.,
Грагерт В. Д., Надежин М. И., 2023

УДК 629.78

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д. Ю. Пономарев, А. А. Лацинник

Военный инновационный технополис «ЭРА»
Российская Федерация, 353456, Краснодарский край,
г. Анапа, Пионерский просп., д. 41
E-mail: era_otd4@mil.ru

Увеличение числа работ, направленных на разработку технологий сервисных услуг в космосе, говорит об актуальности и перспективности этого направления. Приведены краткие характеристики и возможности СКА. Дан краткий обзор перспективных направлений современного состояния космических робототехнических систем и сервисного космического обслуживания в России и мире. Сформулированы предложения в области сервисного космического обслуживания.

Ключевые слова: сервисный космический аппарат, заправка космического аппарата, техническое обслуживание космического аппарата, космические аппараты ремонта.

Введение

Каждый космический аппарат (КА), находящийся на орбите, имеет ограниченный срок активного существования в связи с ограниченным запасом топлива и надежностью бортовой аппаратуры. Топливо считается ключевым фактором, от которого зависит срок службы КА и из-за выработки которого большинство спутников с действующей бортовой аппаратурой теряют возможность сохранять свою позицию и выполнять свои задачи. Помимо этого, не исключены нештатные ситуации: выведение на не запланированную орбиту, повреждение на этапе выведения КА солнечных батарей или антенн, выход из строя бортовой специальной аппаратуры, а также деградация элементов. В связи с этим происходит уменьшение срока активного существования аппарата.

Отсюда возникает необходимость проведения технического обслуживания КА на орбите с помощью СКА [1].

В связи с этим, КА сервисного обслуживания можно разделить на следующие направления развития:

- диагностика технического состояния обслуживаемых космических объектов;
- установка на функционирующие КА дополнительной полезной нагрузки;
- автоматизация сборки структуры космических аппаратов, орбитальный монтаж и сервисное обслуживание космических объектов;
- довыведение на целевую орбиту в случае аварии разгонных блоков или спуск с орбиты космического мусора;
- транспортировка и подъем космических аппаратов с низких круговых орбит на рабочую орбиту;
- корректировка положения на орбите действующего КА, у которого полностью израсходован запас рабочего тела;
- задачи транспортировки к месту сборки фрагментов монтируемых конструкций, их монтаж и демонтаж, модернизация, ремонт, заправка;
- очистка геостационарной орбиты от отслуживших КА и техногенного мусора.

Тема создания сервисных КА приобретает значимую актуальность и в ближайшей перспективе получит свое дальнейшее развитие.

Во-первых, большой интерес в этом плане представляет решение проблем со стыковкой различных по типу и по классу КА и доставкой дополнительной полезной нагрузки.

Во-вторых, при эксплуатации спутников существует проблема морального устаревания.

Особенное применение может быть реализовано по отношению к экспериментальным космическим аппаратам. Дорогостоящие экспериментальные или новые аппараты, находящиеся в отработке, часто нуждаются в мониторинге, когда с помощью только одной телеметрии нельзя ответить на возникающие вопросы и проблемы [2].

Заключение

Целью данной работы является определение перспектив развития робототехнических систем и предложений в области сервисного космического обслуживания.

Развитие космических технологий и увеличение потребности в обслуживании и ремонте космических объектов открывают новые возможности для создания и использования сервисных КА. Например, СКА для обслуживания солнечных батарей или ремонтные работы на борту МКС.

Для увеличения производительности при создании КА необходимо развивать новые технологии. Например, использование искусственного интеллекта для автоматизации процессов ремонта и дозаправки, или создание СКА на основе новых технологий и материалов.

Также требуется расширять географический охват, а именно, разрабатывать СКА, способные работать на разных орбитах и в разных регионах, что позволит обеспечить обслуживание в любой точке Земли.

Одним из важных направлений для развития является создание международных проектов по созданию СКА, что позволит объединить усилия разных стран и повысить эффективность работы космических объектов.

Библиографические ссылки

1. Белоножко П. П. Космическая робототехника для монтажа и сервиса. Потенциальные задачи, концепции перспективных систем // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 2 (99). С. 84–97.
2. Дудоров Е. А. Робототехнические системы космического назначения // Космическая техника и технологии. 2022. № 3. С. 66–81.

© Пономарев Д. Ю., Лацинник А. А., 2023

УДК 65.011.56

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СЕРИЙНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. Б. Прокофьев, И. С. Ткаченко^{*}, Д. В. Антипов

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
Российская Федерация, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34
^{*}E-mail: tkachenko.is@ssau.ru

Рассматриваются подходы к созданию серийного роботизированного производства малых космических аппаратов для обеспечения интенсификации их выпуска.

Ключевые слова: малые космические аппараты, орбитальная группировка, серийное роботизированное производство, матричное производство, концепция функционирования киберфизической фабрики.

На сегодняшний день актуальной задачей является наращивание орбитальной группировки малых космических аппаратов (МКА), для чего необходимо обеспечить кратное увеличение объемов их производства. Существенное увеличение объемов возможно при изменении подходов к организации производства изделий ракетно-космической техники, среди которых важнейшими инструментами являются внедрение методов серийного производства, внедрение цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла изделий, а также переход к роботизированной сборке космических аппаратов.

В Передовой инженерной аэрокосмической школе (ПИАШ) Самарского университета им. С. П. Королева реализуется проект по отработке технологий серийного роботизированного производства МКА, созданию производственных участков от входного контроля материалов и комплектующих до испытаний МКА, содержащих роботизированное технологическое оборудование, программные и аппаратные средства идентификации и распознавания деталей и сборочных единиц (ДСЕ), автоматизированные средства транспортировки и хранения ДСЕ, программные и аппаратные средства контроля и испытания компонентов МКА. Проект также предполагает цифровизацию процессов оперативного управления производством на принципах «цифрового завода». В качестве объекта для отработки проектно-конструкторских и производственно-технологических решений для серийного производства выбран малый космический аппарат радиолокационного мониторинга Земли «АИСТ-СТ», разрабатываемый Самарским университетом совместно с ООО «Специальный технологический центр».

Проведенное исследование особенностей организации серийного производства МКА позволило сделать вывод о том, что наиболее подходящим является матричный тип производства, в котором производственные участки обеспечивают необходимую гибкость при изготовлении большой номенклатуры ДСЕ и балансировку пропускной способности, обеспечивая минимальные производственные циклы и максимальную производительность.

Для решения задач серийного роботизированного производства необходима адаптация конструкции МКА, реализуемая на следующих принципах: максимальное использование унифицированных компонентов; сокращение использования бортовой кабельной сети (БКС); адаптация блоков бортовой аппаратуры в части унификации разъемов; использо-

вание базовых плат [1; 2]. Перспективным проектно-конструкторским решением является применение аддитивных технологий изготовления корпусных деталей из высокотемпературного суперконструкционного термопластичного полимера полиэфирэфиркетон (ПЭЭК, РЕЕК – лат.). Результатом является унифицированная платформа МКА (формфактор 12-юнитового кубсата), адаптированная под особенности серийного роботизированного производства [3].

Разработанные технологические решения серийной роботизированной сборки МКА предполагают следующее.

1. Создание участка автоматизации хранения входящих компонентов и материалов, включающих в себя систему идентификации и распознавания (штрих кодирование) ДСЕ, систему автоматизированного хранения и извлечения материалов и компонентов МКА (стеллаж с автоматизированным штабелером для хранения), разработку процесса автоматизированной загрузки деталей, хранения и выдачи для дальнейшей сборки МКА (автоматизированный склад корпусов и плат). Поступление на участок компонентов и материалов может осуществляться с помощью роботизированной транспортной тележки.

2. Отработка технологии автоматизированной транспортировки деталей и корпусов МКА между участками, включающих в себя разработку алгоритмов и программных средств перемещения роботизированных тележек по производственным участкам.

3. Создание роботизированной производственной ячейки по сборке МКА, включая разработку технологического процесса роботизированной сборки МКА и средств его оснащения, в том числе с использованием коллаборативных роботов [4].

4. Создание участка автоматизированного контроля и испытаний МКА, предусматривающего применение машинного зрения (контроль за выполнением сборочных процессов, полноты выполнения сборочных операций), разработку методики автоматизированного бесконтактного обмера с построением сплайна сложной формы и сбор геометрических характеристик МКА.

Для описания организационных решений по созданию серийного производства разработан концепция функционирования киберфизической фабрики по производству МКА, включающая в себя структурную модель организации и управления производственными участками, программные и аппаратные средства роботизированного производства и сборки МКА, а также методику оперативного управления роботизированным производством, модель и алгоритм оптимизации производственных процессов [5].

Таким образом, разработанные проектно-конструкторские, организационные и производственно-технологические решения представляют собой целостную методологию создания киберфизических фабрик по серийному роботизированному производству МКА, экспериментально отрабатываемую в настоящее время на базе киберфизической фабрики малых космических аппаратов ПИАШ Самарского университета им. С. П. Королёва.

Библиографические ссылки

1. CubeSat [Электронный ресурс]. URL: https://space.skyrocket.de/doc_sat/cubesat.htm (дата обращения: 29.09.2022).
2. Устюгов Е. В., Шафран С. В., Соболев А. А. Новая архитектура наноспутника стандарта CubeSat без использования бортовой кабельной сети [Текст] // Известия вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 5. С. 423–429.
3. ГОСТ Р 57586–2017 Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Общие требования [Текст]. Введ. 2017-12-01. М. : Стандартинформ, 2019. 8 с.

4. ГОСТ Р 60.1.2.4-2020. Роботы и робототехнические устройства. Проектирование промышленных робототехнических комплексов с учетом требований безопасности. Часть 1 [Текст]. Введ. 2021-03-01. М. : Росстандарт, 2019. 28 с.

5. Концептуальная модель цифрового завода производственного предприятия аэрокосмической отрасли [Текст] / И. С. Ткаченко, Д. В. Антипов, А. В. Куприянов, В. Г. Смелов, В. В. Кокарева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25, № 3 (113). С. 90–106.

© Прокофьев А. Б., Ткаченко И. С., Антипов Д. В., 2023

Секция
«ЕДИНАЯ ЦИФРОВАЯ СРЕДА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»

УДК 621.67.001.57

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ
НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИНАМИКИ ЖИДКОСТИ
И МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

С. Г. Валюхов¹, Д. Н. Галдин², А. В. Кретинин³

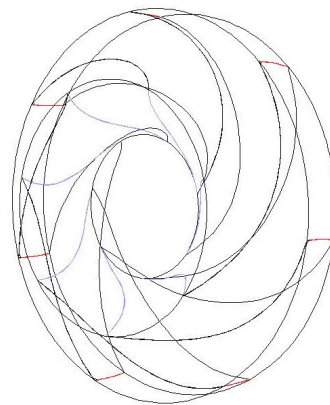
Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, 394026, г. Воронеж, Московский просп., 14
E-mail: ¹ngot@vorstu.ru, ²dmgaldin@yandex.ru, ³avk-vrn@mail.ru

В качестве универсального алгоритма численного моделирования гидродинамических процессов в проточной части центробежного насоса предлагается метод взвешенных невязок на базе нейросетевых пробных функций, который является модифицированным интегрально-сопряженным методом решения уравнений математической физики. Разработанный нейросетевой алгоритм использован для профилирования лопасти двойной кривизны.

Ключевые слова: центробежный насос, лопасть двойной кривизны, нейросетевое профилирование.

Предлагаемый алгоритм заключается в использовании численного метода взвешенных невязок (НМВН) на основе нейросетевых пробных функций для непосредственного решения дифференциальных уравнений гидродинамики. Суть метода состоит в модификации выражения для функционала качества таким образом, что ошибка работы сети оценивается как суммарная невязка решаемых уравнений в произвольных точках расчетной области, количество и координаты которых меняются на каждой итерации. Данный подход также известен и описан в работах [1–4]. Модификация данного метода для задач проектирования заключается в использовании рассчитанных координат линий тока как образующих граничных поверхностей проточной части изделия. На рисунке приведен пример результатов профилирования пространственной лопасти магистрального центробежного нефтяного насоса МНН 7500.249 [5].

Применение НМВН позволяет моделировать произвольные физические процессы в едином нейросетевом логическом базисе, при этом численные алгоритмы отличаются логической простотой, ясностью и прозрачностью получения численных результатов. Эволюционные методы моделирования с момента их появления рассматриваются как некая альтернатива традицион-



Рабочее колесо центробежного насоса
с лопатками, построенными
по линиям тока

ным фундаментальным подходам научных исследований, и использование их при проектировании можно назвать в большой степени новым и нетрадиционным научным подходом. Органичное сочетание его с современной технологией оптимизации позволит получить принципиально новые важные практические результаты.

Библиографические ссылки

1. Кретинин А. В. Метод взвешенных невязок на базе нейросетевых пробных функций для моделирования задач гидродинамики // Сиб. журн. вычисл. математики. РАН. Сиб. отд-ние. 2006. Т. 9. № 1. С. 23-35.
2. Kretinin A. V., Bulygin Yu. A., Kirpichev M. I. & Darneva T. I. Neuronet's method of weighted residuals for computer simulation of hydrodynamics problems, Proceedings of 2010 International Joint Conference on Neural Networks. ISBN 978-1-4244-6916-1, Barcelona, Spain, 2010.
3. Sergey Valyuhov, Alexander Kretinin and Alexander Burakov (2011). Neural Network Modeling of Hydrodynamics Processes, Hydrodynamics - Optimizing Methods and Tools, Harry Edmar Schulz (Ed.), ISBN: 978-953-307-712-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/neural-network-modeling-of-hydrodynamics-processes>
4. Валюхов С. Г., Кретинин А. В. Математическое моделирование гидродинамических процессов в проточной части центробежного насоса с использованием нейросетевых алгоритмов // Насосы. Турбины. Системы, 2011. № 1. С. 53–60.
5. Кретинин А. В., Булыгин Ю. А., Волгин В. А. Использование динамических расчетных сеток в нейросетевом алгоритме взвешенных невязок для моделирования гидродинамических задач // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2007, № 9. С. 33–39.

© Валюхов С. Г., Галдин Д. Н., Кретинин А. В., 2023

УДК 621

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЖРД И ЕГО АГРЕГАТОВ.Е. С. Глуховской¹, А. Е. Малюх²

АО «НПО Энергомаш имени академика В. П. Глушко»
Российская Федерация, 141400 г. Химки, ул. Бурденко, 1
E-mail: ¹evgenich.mephi93@gmail.com, ²loca.leshka@gmail.com

Разработана нейросетевая модель как средство получения предварительных результатов огневых и агрегатных испытаний ЖРД и его агрегатов. Проведены испытания нейросетевой модели. Произведено сравнение результатов реальных испытаний с результатами работы нейросетевой имитационной модели. Разработана программа анализа огневых и агрегатных испытаний ЖРД и его агрегатов.

Ключевые слова: турбонасосный агрегат, деревья принятия решений, случайный лес факторное пространство, прогнозирование, ЖРД, огневые и агрегатные испытания.

Нейросеть – это математическая модель, имитирующая работу человеческого мозга, и использующая множество искусственных нейронов для обучения и адаптации [1]. Нейросети способны обрабатывать информацию, принимать, делая их полезными в таких областях, как машинное обучение, распознавание образов, анализ данных и так далее. Они особенно полезны в прогнозировании и обработке сложных зависимостей, больших объемов данных, автоматическом извлечении признаков зависимостей и адаптации к различным задачам.

Использование нейронных сетей также может потребовать значительных вычислительных ресурсов и данных для обучения, а также тщательной настройки параметров модели для достижения хороших результатов прогнозирования. Для создания нейросети, прогнозирующей число на основе статистики, необходимо выполнить следующие шаги: сбор данных, предобработка данных, выбор модели, обучение нейросети, тестирование модели, оценка качества модели.

Тестирование производилось в два этапа:

1. Тестирование нейросетевой имитационной модели насоса. Имеются геометрические параметры корпуса, крыльчаток 1-й и 2-й ступени, шнека, результаты агрегатных испытаний [в таблице Реальные], также имеется алгоритм обучения нейросетевой модели насоса. На основании этих данных происходит обучение модели, а затем и её тестирование по двум пунктам:

1.1. Тестирование нейросетевой имитационной модели насоса с исходными входными параметрами [в таблице Прогноз на реал];

1.2. Тестирование нейросетевой имитационной модели насоса с искусственным увеличением всех геометрических параметров на 1 %, 5 % [в таблице Прогноз на реал +1/5 %].

2. Тестирование нейросетевой имитационной модели двигателя [2]. Для обучения модели были использованы результаты автономных и огневых испытаний на производительность основных агрегатов: турбины, насосы «Г» и «О», регулятора расхода, дросселя [в таблице Реальные]. Всего было использовано 71 огневое испытание двигателя, из которых 2 двигателя были аварийными. Тестирование проходило в 2 этапа:

2.1. Тестирование нейросетевой имитационной модели двигателя с исходными входными параметрами [в таблице Прогноз на реал];

2.2. Тестирование нейросетевой имитационной модели двигателя с искусственным увеличением всех параметров на 1 %, 5 % [в таблице Прогноз на реал +1/5 %].

В табл. 1, 2 приведены сравнения результатов прогноза с результатами реальных испытаний.

Таблица 1

Сравнение результатов прогноза с реальными агрегатными испытаниями насоса

	$H1_{\text{КТ}}$	$N\Sigma_{\text{КТ}}$	$\eta\Sigma_{\text{КТ}}$	$V1_{\text{КТ}}$	YM	$N\Sigma_{\text{КТ}}$	$V2_{\text{КТ}}$	V_r	ΔP	P_{ap}
Реальные	7279	40215	0,725	0,399	751	10690	0,0202	19,75	16,4	0,42
Прогноз на реал.	7333	40582	0,724	0,399	498,51	10744	0,0202	19,75	18,4	0,38
Прогноз на реал +1 %	8388,46	64913,71	0,33	0,399	22414,61	10686,2	0,0202	19,75	49,24	–0,30
Прогноз на реал +5 %	12482,6	161611,45	–1,26	0,399	111359,89	10488,69	0,0202	19,75	171,57	–3,07

Таблица 2

Сравнение результатов прогноза с реальными огневыми и агрегатными испытаниями двигателя

	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4	Параметр 5	Параметр 6	Параметр 7	Параметр 8
Реальные	2,19	2,08	2,22	2,28	2,29	2,18	2,28	1,84
Прог. на реал	2,55	2,41	2,29	2,59	2,68	2,27	2,45	2,68
Прог. реал. +1 %	1,99	1,88	1,84	2,08	2,09	1,78	1,91	2,03
Прог. реал. +5 %	1,99	1,88	1,84	2,08	2,09	1,78	1,91	2,03

	Параметр 9	Параметр 10	Параметр 11	Параметр 12	Параметр 13	Параметр 14	Параметр 15	Параметр 16	Параметр 17
Реальные	2,32	100,21	302,28	751,95	272,46	65,27	218,88	427,46	630,31
Прог. на реал	2,99	129,57	389,56	943,75	357,95	90,82	293,51	559,12	806,69
Прог. реал. +1 %	2,28	99,77	299,38	719,69	275,50	69,77	225,35	430,34	617,58
Прог. реал. +5 %	2,28	99,77	299,38	719,69	275,50	69,77	225,35	430,34	617,58

На основании данных, приведённых в таблице №1 можно сделать следующие выводы:

1. Если использовать реальные входные данные на насос, совпадающими с требованиями КД, то модель предсказывает результаты автономных испытаний с точностью более 90 % для большинства параметров.

2. Модель реагирует на изменение входных данных насоса. При изменении входных параметров на 1 % по математическим расчётам должно было привести к увеличению напорных характеристик насоса, что модель и спрогнозировала. Однако выходные значения оказались намного выше расчетных, что указывает на аномальные значения. Аналогичный результат при увеличении всех входных параметров на 5 %.

На основании данных, приведённых в таблице № 2 можно сделать следующие выводы:

1. Если использовать реальные входные данные на двигатель, совпадающими с требованиями КД, то модель предсказывает результаты огневых испытаний с точностью более 77 % для большинства параметров;

2. Модель реагирует на изменение входных данных двигателя. Выходные значения оказались намного ближе к расчетным, однако выходные значения с увеличением входных на 1 % и на 5 % идентичны, что указывает на аномальность полученных значений.

Было выяснено, что на это повлияло несколько факторов [3]:

1. Недостаток данных для обучения, модель не имеет достаточной информации для прогнозирования значений при изменении входных параметров, вследствие чего модель имеет ограниченную точность для прогнозирования измененных данных;

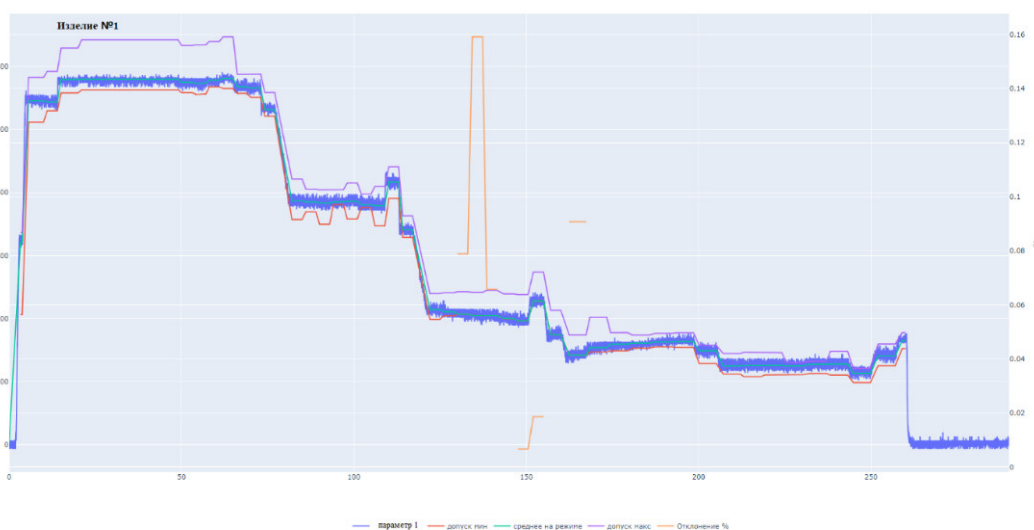
2. Ошибка в настройке и построении нейросетевой модели;

3. Неправильное использование входных данных

Для более точного прогнозирования на стандартных и искусственно измененных входных параметрах огневых испытаний двигателя необходимо обладать большим количеством данных по испытаниям равному не менее тысячи.

Так как имеется 71 испытание в цифровом виде, изучается возможность применить метод аугментации данных – искусственное создание подобных – для увеличения исходного датасета [4]. В данный момент проводятся исследования в данном направлении. Временным решением выступила идея перейти к анализу статистики с учетом ручного задания пограничных значений параметров.

Был разработан алгоритм, позволяющий считывать данные из бинарного файла с результатом испытаний и использовать эти данные для определения влияния каждого процесса на двигатель на основании статистики (см. рисунок).



Характер изменения параметров окислителя

Полученные данные испытаний анализируются на предмет прохождения в ворота, основанных на статистических данных по испытаниям. После чего формируется Excel-файл, в котором цветом и аннотацией указаны все расхождения от статистики с учетом их процентного соотношения, а также файл-протокол о проведении испытания на предмет соответствия расчетных и реальных данных. В данный момент ведется работа по автоматизации большего количества процессов в данной программе по обработке.

Итого, в данный момент мы исследуем имеющиеся данные, а также проводим новые испытания для получения большего количества информации. Таким образом, нейросетевое моделирование можно вовлечь в большее количество процессов, поскольку:

1. При повышении точности прогнозирования уменьшаются затраты на проведение как основных, так и повторных испытаний.
2. Снижается вероятность человеческой ошибки при заполнении таблиц и ручного анализа, так как человек участвует только в конечном контроле результатов испытаний.
3. Увеличивается производительность человека в связи с появлением системы интеллектуального анализа результатов испытаний.
4. Происходит автоматизация процесса анализа испытаний.

Активное развитие нейросетевых технологий для анализа данных результатов испытаний внутри предприятия представляет собой перспективное научное направление. Научные исследования проводятся совместно с КБ и включают в себя изучение и разработку различных алгоритмов обучения нейронных сетей, анализ существующих ошибок и их устранение, а также активное усовершенствование процесса сбора и обогащения данных, используемых для обучения нейросетевых моделей. Это направление исследований направлено на оптимизацию и улучшение производительности анализа данных внутри предприятия, что в свою очередь способствует повышению эффективности производственных процессов и принятию более обоснованных управленческих и экономических решений.

Библиографические ссылки

1. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. М. : Изд. дом «Вильямс», 2006. 1004 с.
2. Neural network and response surface methodology for rocket engine component optimization. Rajkumar Saidyanathan, Florida, Univ., Gainesville, Marshall Space Flight Centre, Huntsville, AL. DOI: 10/2514/6.2000-4880. Publication Date: 06 September 2000-08, September 2000.
3. Habr. Прогнозирование временных рядов с помощью рекуррентных нейронных сетей. URL: <https://habr.com/ru/articles/495884/> (дата обращения: 12.09.2023).
4. Даяб И. С. Обзор методов прогнозирования временных рядов с помощью искусственных нейронных сетей, Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2020. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-prognozirovaniya-vremennyh-ryadov-s-pomoschyu-iskusstvennyh-neyronnyh-setey/viewer> (дата обращения: 12.09.2023).

© Глуховской Е. С., Малюх А. Е., 2023

УДК 621

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТЬЮ ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П. Ю. Гусев

Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84
E-mail: pgusev@cchgeu.ru

В докладе рассматриваются основные проблемы, возникающие на производственном предприятии, при внедрении современных цифровых инструментов. Рассматривается влияние единой цифровой среды и системы управления жизненным циклом изделия на состояние данных предприятия.

Ключевые слова: производство, целостность данных, цифровая модель, имитационное моделирование, агентное моделирование.

PLM-система обеспечивает единое информационное пространство поддержки процессов разработки, производства и эксплуатационного сопровождения изделия. В тоже время, для отечественных предприятиях, на уровне производства возникают сложности с информационным обеспечением, связанные с недостаточным уровнем подготовки цехового персонала и особенностями перехода к бесчертежному производству. Именно на этом этапе можно отметить разрыв в целостности инженерных и производственных данных, что недопустимо для производства и приводит к повышенному уровню брака и сроков изготовления

Даже в том случае, когда производство прошло модернизацию и имеет высокий уровень применения вычислительной техники на цеховом уровне, квалификация персонала зачастую не позволяет использовать PLM-систему на цеховом уровне. Это объясняется тем, что интерфейс PLM-систем сложен и требует наличия инженерной квалификации.

Компромиссным решением на цеховом уровне, как правило, является дублирование технической документации в печатном виде. Обратная связь с конструкторами и технологами в этом случае занимает дополнительное время. К тому же, учитывая, что изделие необходимо выпустить как можно скорее, правки вносятся в печатный вариант без их синхронизации с PLM системой. В результате, теряется актуальность данных, на предприятии одновременно существуют два «подлинника». Таким образом, на крупном производстве может образоваться до нескольких десятков различных несогласованных версий документации на одно и то же изделие.

Применение систем автоматизированного планирования и учета выполненной работы в значительной степени повышают точность и эффективность распределения ресурсов предприятия. Однако, как и в случае применения PLM-систем, основные проблемы использования комплексов планирования возникают при передаче данных на цеховой уровень. Учитывая тот факт, что передаются они в бумажном виде, возникает разрыв между данными, которые хранятся в системе планирования и фактическим состоянием производства.

Возникший разрыв данных приводит к невозможности оперативного регулирования использования производственных ресурсов. Что, в свою очередь, приводит либо к незапланированным простоям оборудования, либо к выполнению задач, которые не являются наиболее актуальными в текущей ситуации. Разрыв производственных данных особенно проявляется при проведении сборочных операций. В этом случае невозможно предоста-

вить детали на сборку точно и в срок, что ведет к срыву основной цели производства – выпуску изделия.

Описанные проблемы ведут к комплексным проблемам обмена данными на производстве, что приводит к непрозрачности всего производственного процесса, затруднениям в управлении и значительно замедленной скорости реакции на любые производственные изменения.

Комплекс проблем, связанный с целостностью производственных данных, возникает уже в момент начала внедрения любой системы автоматизированного планирования. Основное требование к используемым для планирования данным – достоверность. Однако получить достоверные данные, особенно на крупном предприятии затруднительно. Связано это, как было сказано выше, с возникающим разрывом в передачи данных на цеховой уровень. Основная цель персонала цехового уровня – обеспечение заданной производительности, поэтому актуальность данных в любой информационной системе обновляется с задержкой. Для обеспечения оперативности обновления информации необходим удобный инструмент на цеховом уровне производства.

Для проверки достоверности используемых данных можно применить несколько способов. Один из таких способов – фотография рабочего дня. Однако применение фотографии рабочего дня затруднительно, особенно в условиях крупного предприятия или постоянно меняющейся номенклатуры изделий. В таких случаях получение данных путем фотографии рабочего дня может затянуться длительный срок.

Другой способ верификации данных – применение имитационного моделирования. Для этого необходимо создать имитационную модель по имеющимся исходным данным. Далее следует определить наиболее критические точки производства, для которых можно экспертно оценить загруженность работы оборудования. Созданная имитационная модель верифицируется по выбранным критическим точкам. Исходные данные в такой ситуации.

Следует отметить, что в этом случае не получится 100 % точности исходных данных. Однако данный способ успешно применялся сотрудниками ВГТУ при анализе и оптимизации цеха по производству деталей из полимерных композиционных материалов. Точности полученных данных было достаточно для достижения цели работы. Подобный способ верификации данных также применялся при моделировании производства акционерного общества «Конструкторское бюро химавтоматики».

Имитационная модель производства, с учетом применения верифицированных данных, выступает основой системы автоматизированного планирования. С применением верифицированной имитационной модели разрабатывается производственный план. Разработанный производственный план поступает непосредственно на цеховой уровень путем передачи данных на цеховой терминал. Цеховой терминал работает под управлением специально разработанного программного клиента, адаптированного для удобного сенсорного управления.

Обратная связь, реализованная применением программного комплекса установленного на цеховом терминале, обеспечивает достоверность и оперативность получаемых данных. Для работы автоматизированной системы также разработан программный клиент планово-диспетчерского отдела, который позволяет управлять планированием производственных задач не взаимодействуя непосредственно с имитационной моделью.

Таким образом, современные технологические решения, объединенные единой цифровой средой, обеспечивают возможность поддержки актуального состояния производственных данных на всех уровнях. Интеграция разных уровней производства путем использования цифровых решений обеспечивает единое цифровое пространство предприятия.

УДК 004.94: 531: 629.78

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ УПРУГОТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н. В. Еремин

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: kaizoku813@gmail.com

В работе рассмотрены задачи исследования механического поведения упруготрансформируемых композитных конструкций, в частности гибкого шарнира, разворачиваемой композитной стрелы и рефлектора космической антенны.

Ключевые слова: тонкостенные композитные конструкции, разворачиваемая композитная стрела, рефлектор, численное моделирование, механическое поведение.

В настоящее время разворачиваемые композитные конструкции космического назначения различных масштабов является перспективным направлением научно-технического развития космической техники (рис. 1). Разворачиваемые конструкции могут быть эффективно упакованы в транспортное положение, где в дальнейшем они будут развернуты в рабочее состояние. Для уменьшения массы и габаритных размеров используются тонкие композитные оболочки различной кривизны на основе углеродных волокон и эпоксидного связующего. Это позволяет компактно сложить конструкцию и за счет накопленной упругой энергии деформации развернуть её в рабочее состояние [1].

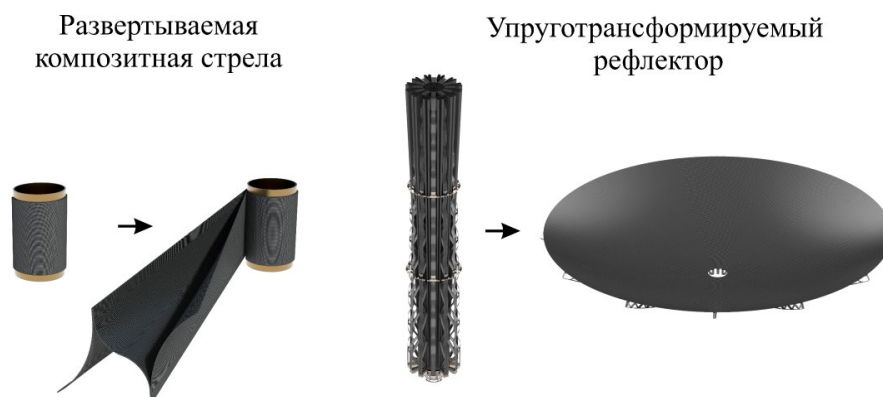


Рис. 1. Типовые упруготрансформируемые тонкостенные композитные конструкции

Несмотря на перечисленные преимущества существует спектр нерешенных задач, связанных с использованием таких конструкций. Поскольку, к элементам космических аппаратов предъявляются строгие технические требования, то при проектировании необходимо учитывать нагрузки, которые она будет испытывать в процессе эксплуатации. Механическое поведение таких конструкций имеет нелинейный характер [1, 2], который сложно определить аналитическими методами, поэтому эффективным решением обозначенных проблем можно получить путем проведения численных расчетов, что и послужило целью настоящих исследований.

Объектами исследований являлись гибкий шарнир, развертываемая композитная стрела (РКС) и рефлектор космической антенны (РКА). Разработаны численные модели прогнозирования напряженно-деформированного состояния тонкостенных композитных конструкций с учетом геометрической нелинейности и сложных контактных взаимодействий. Численный расчет проводился в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYS в явной и неявной формулировке [3]. Напряженно-деформированное состояние конструкции описывается системой нелинейных уравнений механики деформируемого твердого тела. Результаты распределения напряжений РКС и РКА представлены на рис. 2.

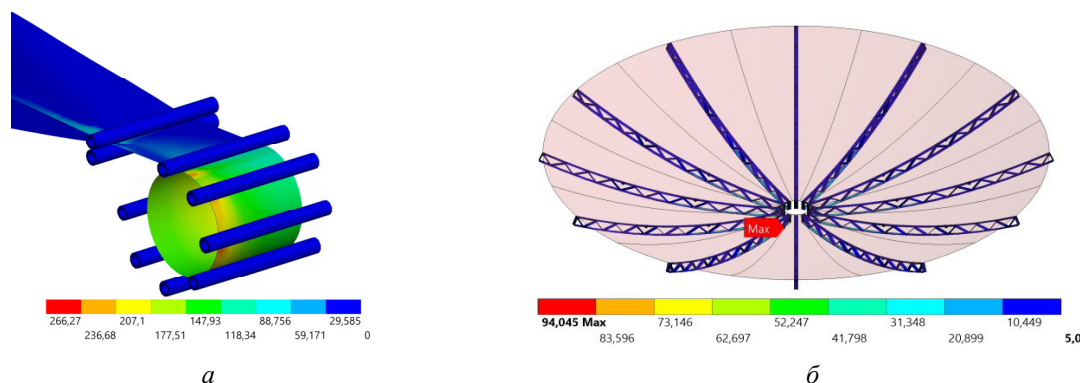


Рис. 2. Распределение напряжений РКС в процессе упругого складывания (а) и РКА в рабочем состоянии (б), [МПа]

Результаты расчетов позволили оценить механическое поведение типовых развертываемых тонкостенных композитных конструкций и выявить их наиболее нагруженные части. Было выявлено, что наиболее нагруженной частью для РКС является зона соединения ленточных пружин, а для РКА это нижние элементы силовых спиц. Таким образом, решены и методически описаны комплексные задачи моделирования тонкостенных композиционных конструкций космического назначения. Разработанные модели позволяют прогнозировать механическое поведение конструкции в ожидаемых условиях эксплуатации, предоставляя инженерам необходимую информацию для достижения оптимального проектирования.

Библиографические ссылки

1. Eremin N. V., Shigin A. O., Sokolov Ya. A. Mechanical calculation of elastic folding of a thin-walled deployable composite boom for space applications // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2023. DOI: 10.1080/15376494.2023.2248994.
2. Жуков А. П., В. С. Пономарёв, С. В. Пономарёв. Моделирование космического рефлектора с гибкими ребрами // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2013. Т. 56, № 7/3. С. 149–151.
3. Benson D. Computational methods in Lagrangian and Eulerian hydrocodes // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1992. Vol. 99, No. 2-3. Pp. 235–394.

© Еремин Н. В., 2023

УДК 629.78

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

М. Е. Кременецкая

Инновационное подразделение Самарского университета им. Королёва
«Центр коммерческого космоса»
Российская Федерация, 443086, г. Самара, Лукачёва, 47, оф. 237
E-mail: mme82@mail.ru

Разработана концептуальная модель системы поддержки принятия решений при проектировании космических аппаратов, базирующаяся на логике анализа конфигурации во взаимосвязи с технологией проектирования.

Ключевые слова: космический аппарат, анализ конфигурации, проектирование, система, поддержка принятия решений, модульная структура.

Создание и развитие космических аппаратов (КА) и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является в настоящее время одним из важнейших направлений применения космической техники для социально-экономических, военных и научных целей [1]. Предварительный этап для разработчика является ключевым, поскольку именно на нем он анализирует свои возможности и рассматривает варианты решения поставленных заказчиком задач. Работы по формированию конфигурации КА и предварительным расчетам систем ведутся параллельно специалистами различных подразделений предприятия. Часть решений по конфигурированию КА принимаются только на основе знаний и опыта, накопленных конструкторами и проектантами, и не поддаются формализации. В совокупности с возможностью выбора основных проектных параметров изделия (как существующих, так и предположительно достигаемых в результате НИОКР) это приводит к формированию некоторого количества альтернативных вариантов конфигурации КА.

Получаемые конфигурации КА по мере уточнения информации подвергаются многоуровневому итерационному оптимизационному процессу. Задача разработчика на данном этапе заключается в определении за короткое время оптимальной конфигурации КА, отвечающей требованиям заказчика и соответствующей современному развитию ракетно-космической техники с учетом технологических возможностей предприятия.

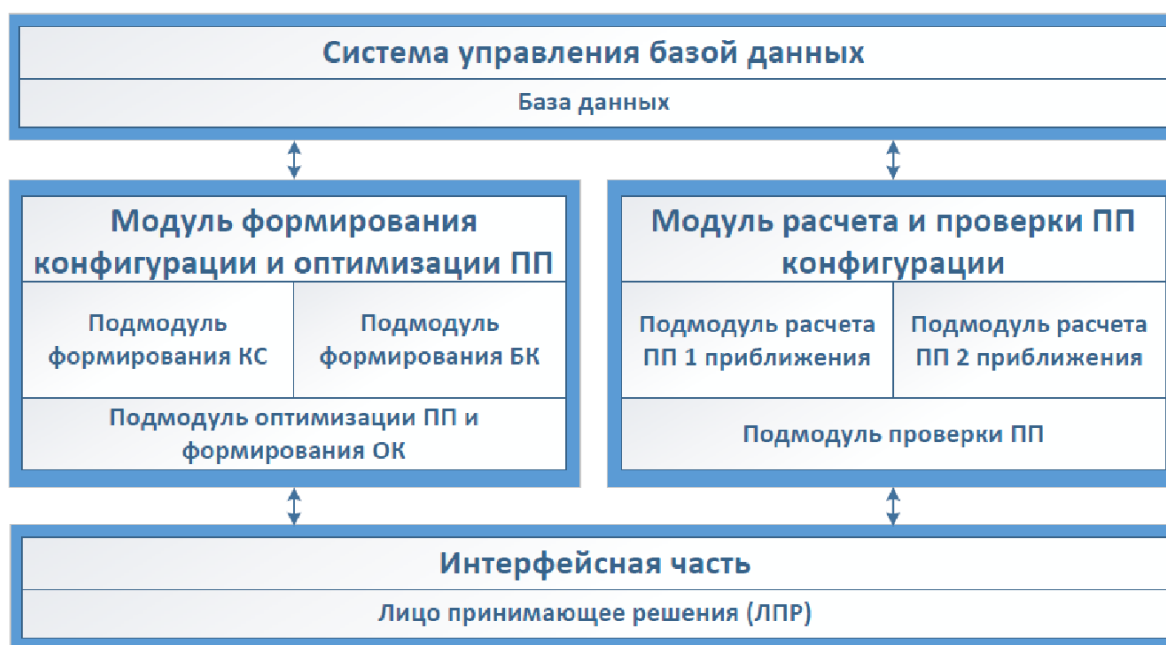
В силу необходимости учета большого количества зависимостей в виде уравнений с многочисленными параметрами, слабой формализуемости алгоритмов действий, необходимости учета большого числа взаимосвязанных факторов и быстро меняющихся требований к проектируемому объекту, а также большого числа альтернативных вариантов решений в зависимости от выбранных целевых критериев, единственным практически возможным средством достижения данной цели является соединение возможностей вычислительной техники с неформальными аналитическими алгоритмами, опытом и интуицией человека – лица принимающего решения. Наиболее тесное взаимодействие достигается в рамках систем поддержки принятия решений (СППР).

Данная работа посвящена разработке концептуальной модели СППР, которая позволит генеральному конструктору в краткие сроки выбрать наиболее оптимальный вариант конфигурации КА, отвечающий требованиям заказчика.

В качестве критерия оптимальности могут быть использованы минимальная масса, максимальный срок активного существования КА, энергоэффективность и другие. Опре-

деление составных элементов конфигурации КА и ее анализа возможно одним из известных способов многокритериального анализа, например, последовательных приближений, случайного поиска, градиентного спуска, минимизации по Парето, методу упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением (TOPSIS) и т.д. [2, 3, 4] По завершении каждого цикла оптимизации при внесении изменений в проектные параметры, связанные с выбранным критерием оптимизации, выполняется коррекция массогабаритных показателей и моделирование орбитального движения КА. На основании результатов моделирования рассчитываются рабочие параметры бортовых систем и сравниваются с начальными ограничениями ТТЗ. Если требования выполняются, конфигурация считается рабочей и выполняется попытка дальнейшей максимизации критерия оптимальности. Если же требования не выполняются, производится откат текущей конфигурации к последней рабочей, и она признается окончательной по данному оптимизационному критерию.

Предложена структура системы предварительного анализа конфигурации КА (см. рисунок).



Структура предварительного анализа конфигурации КА

Управление БД осуществляется одноименной системой (СУБД).

Модуль формирования конфигурации и оптимизации является двухуровневым трехкомпонентным. В основе работы модуля лежат методы многокритериального анализа и оптимизации.

Ядром модуля расчета и проверки конфигурации являются уравнения, описывающие элементы конфигурации по различным взаимосвязанным параметрам – массе, энергопотреблению, сроку службы и т. д.

Целью интерфейсной части является обеспечение взаимодействия ЛПР с системой и наоборот: введение необходимых данных или выбор вариантов; управление процессом анализа и формирования конфигурации, просмотр результатов.

Предложенная концепция модульной архитектуры СППР, базирующейся на предварительно выработанной и также приведенной в работе логике анализа конфигурации во взаимосвязи с технологией проектирования КА, позволит осуществить информационную поддержку этапа предконкурсных работ и сократить сроки их выполнения.

Библиографические ссылки

1. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года. М. : Федеральное космическое агентство, 2006. 82 с.
2. Гущин В. Н. Основы устройства космических аппаратов [Текст] : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 2003. 272 с.
3. Легалов А. И., Ледяев Д. Н., Анкудинов А. В. Анализ конфигурации космических аппаратов средствами специализированной среды инструментальной поддержки // Вестник СибГАУ. 2011. № 2. С. 69–71.
4. Антамошкин О. А. Система поддержки принятия решений на основе многоатрибутивных методов // Вестник СибГАУ. 2009. № 4. С. 50–55.

© Кременецкая М. Е., 2023

УДК 004.942

«ПОТОК» – РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ПЛАТФОРМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Р. С. Куликов^{*}, С. В. Вишняков, А. П. Малышев,
М. А. Орлова, Т. А. Бровко

Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Российская Федерация, 111250, г. Москва,
вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, 14, стр. 1
^{*}E-mail: KulikovRS@mpei.ru

Поток – развиваемая по инициативе НИУ «МЭИ» открытая платформа, объединяющая распределённые в пространстве компьютеры и репозиторий компьютерных моделей, для конфигурирования цифровых двойников системы ГЛОНАСС и моделирования её в целом.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, цифровой двойник, распределённая платформа, компьютерное моделирование.

Развитие сложных систем, к которым относится и система ГЛОНАСС, и введение в их состав новых функциональных дополнений может проходить по множеству направлений, часть из которых друг друга взаимно исключают. Проектирование вариантов развития на ранней стадии проводится с помощью анализа и моделирования. На практике разработчиками используется широкий ассортимент частных моделей элементов системы ГЛОНАСС для той или иной предметной области: модели орбитального движения космических аппаратов, нестабильности шкалы времени, ионосферы, навигационной аппаратуры потребителей и многих других. Различные модели по-разному учитывают различные факторы и дают различные результаты моделирования, которые служат частными аргументами в пользу различных вариантов развития системы. В то же время в целях повышения объективности выбора наиболее целесообразных направлений развития системы ГЛОНАСС и их приоритезации требуется инструмент для единообразной оценки показателей качества той или иной конфигурации системы ГЛОНАСС в целом.

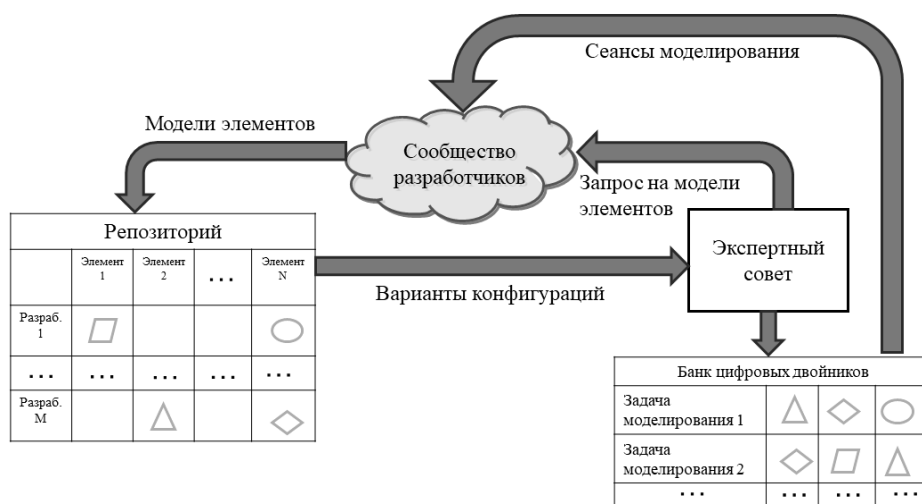
В настоящее время в процессе создания с участием НИУ «МЭИ» находятся две модели системы ГЛОНАСС: в интересах ГК «Роскосмос» (в рамках НИР «Развитие-ГЛОНАСС») и в интересах Минобороны РФ (НИР «Ганимед»), а также распределённая платформа моделирования цифровых двойников системы ГЛОНАСС «Поток». Результаты работы ведомственных моделей планируется учитывать при выборе путей развития системы ГЛОНАСС, а открытая платформа «Поток» предназначена для широкого круга разработчиков в качестве повседневного инструмента для предварительной оценки влияния тех или иных технических решений на показатели качества системы ГЛОНАСС. Далее представлены ключевые особенности технической реализации и организации платформы «Поток».

Первым базовым понятием моделирования на платформе «Поток» является понятие идеальной дискретной шкалы времени, в которой задаются системы уравнений, описывающие векторы состояний элементов системы ГЛОНАСС, начиная с модели нестабильности системной шкалы времени. Каждая система уравнений, задающая тот или иной элемент системы, реализуется в виде программного модуля с определёнными векторами данных на входе и на выходе. Вторым базовым понятием является общая информацион-

ная шина, из которой с тактом моделирования программные модули забирают свои входные векторы данных и на которую выгружают свои выходные векторы данных. Компоненты выходных векторов данных одних программных модулей, моделирующих состояние соответствующих элементов системы, являются компонентами входных векторов других программных модулей. Тактирование выгрузки данных на и из общей информационной шины производится особым программным модулем – центральной службой, которая контролирует появление на шине всех необходимых выходных векторов и рассылает широковещательные сообщения о переходе на следующий такт модельного времени. Программные модули запускаются на различных компьютерах, виртуальных и/или реальных, связанных через Интернет. Внутри программных модулей возможна суб-дискретизация такта моделирования. Один и тот же элемент системы ГЛОНАСС может быть описан с той или иной степенью подробности тем или иным программным модулем. Программные модули сохраняются в общедоступном репозитории; каждый пользователь имеет возможность разместить в репозитории собственный программный модуль, созданный в соответствии с требованиями руководства разработчика. Из размещённых в репозитории различных программных модулей пользователем конфигурируется тот или иной вариант цифрового двойника системы ГЛОНАСС в целом и проводится сеанс моделирования.

В репозитории общедоступного открытого варианта платформы «Поток» размещаются программные модули, не содержащие сведений ограниченного доступа. Для работы со сведениями ограниченного доступа по договорённости с заинтересованными организациями возможен вариант платформы, разворачиваемый в безопасной локальной информационно-вычислительной сети.

При платформе формируется экспертный совет из специалистов и представителей заинтересованных организаций, задачами которого является формирование запроса к сообществу разработчиков на создание моделей элементов системы ГЛОНАСС, экспертиза размещённых в репозитории программных модулей и конфигурирование цифровых двойников, рекомендуемых для решения тех или иных задач моделирования.



Организационная схема платформы «Поток»

Заинтересованные специалисты приглашаются к участию в развитии платформы «Поток».

© Куликов Р. С., Вишняков С. В., Малышев А. П.,
Орлова М. А., Бровко Т. А., 2023

УДК 519

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Я. Ю. Пикалов

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: yapibest@mail.ru

Рассматривается реализация цифрового двойника на примере технологической линии сборки малых космических аппаратов. Приведенный в статье случай использования цифровых двойников для планирования, контроля и поддержания жизненного цикла производственного оборудования представляет интерес в перспективе активного внедрения роботизации в технологические процессы. Для контроля цифрового двойника применяется собственное программное обеспечение, обеспечивающее не только визуализацию, но также контроль столкновений и точность геометрии.

Ключевые слова: цифровой двойник, производственная линия, сборка, роботизация, автоматизация, производственный процесс.

В настоящей статье рассматривается опытная технологическая линия сборки малого космического аппарата (МКА) малой и средней серийности. Для оптимизации трудозатрат и повышения производительности было принято решение о частичной автоматизации производственной линии и внедрении функций цифрового двойника на этапе сборки корпуса МКА.

Структурно опытный участок роботизированной сборки МКА (рис. 1) состоит:

- из автоматизированной складской линии 1;
- роботизированных многофункциональных манипуляторов 2 и 3 со сменным инструментом;
- автоматических транспортировочных платформ для перемещения объектов сборки между участками 4.

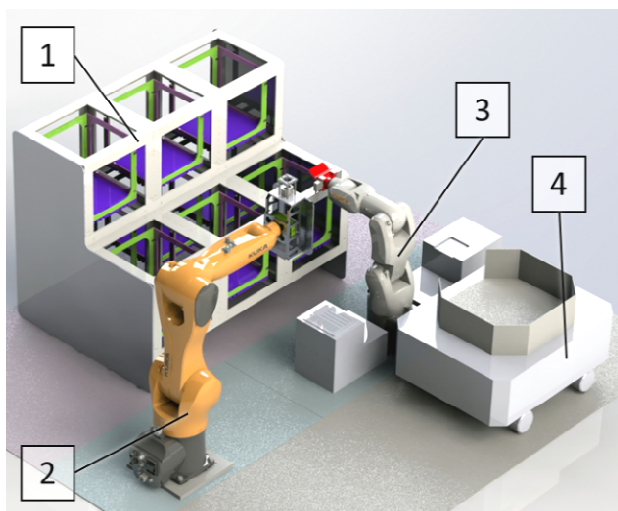


Рис. 1. Структура опытного производственного участка сборки МКА

Робот-манипулятор 2 (рис. 1) предназначен для перемещения крупных комплектующих со склада с помощью специального захвата-манипулятора и производства крупноузловой сборки. Для этого робот оснащен многофункциональным захватом (рис. 2), который содержит 3 инструмента:

- камера машинного зрения (распознавание объектов и характерных точек сборки на изделии);
- малый магнитный захват (удержание небольших металлических объектов);
- большой магнитный захват (перемещение крупных металлических объектов).

Цифровой двойник представленной производственной ячейки должен обеспечивать сразу несколько функций, позволяющих контролировать работу участка и производить его настройку. Для выполнения этих требований были разработаны собственная аппаратная и программная платформы, обеспечивающие обмен данными между оборудованием и программным обеспечением.

Аппаратное обеспечение участка сборки состоит:

- из роботов-манипуляторов производства KUKA (KR3 R540 и KR6 R900);
- захваты на манипуляторах;
- камера машинного зрения;
- автоматизированная складская ячейка.

Программное обеспечение цифрового двойника позволяет отправлять роботу точку или серию точек с углами поворота осей и требуемой скоростью перемещения. Таким образом, в реализации цифрового двойника возможно произвести загрузку моделей объекта сборки, нахождение оптимальных траекторий, симуляцию процесса сборки и отправить задание в рабочую зону, при этом сохраняется визуальный контроль за сборкой и получение телеметрии от роботов. Визуализация цифрового двойника с помощью ОССТ показана на рис. 2. В интерфейсе пользователя возможно также взаимодействие с моделями – выбор отдельных звеньев роботов, управление камерой. Получение телеметрии осуществляется с частотой 20 Гц.

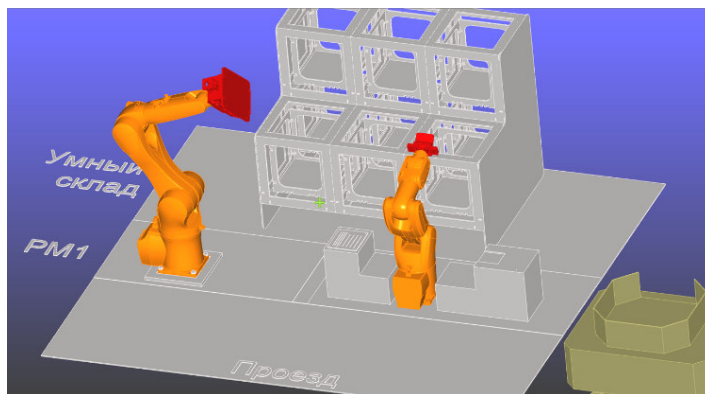


Рис. 2. Визуализация цифрового двойника

В ходе сборки макета космического аппарата производится визуальный контроль сборки с помощью камеры, распознавание меток для установки оборудования, распознавание места захвата деталей из зоны выдачи автоматизированного склада.

Библиографические ссылки

1. Biesinger F., Weyrich M. The Facets of Digital Twins in Production and the Automotive Industry // 2019 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT). 2019. DOI: 10.1109@ICMECT.2019.8932101.

2. Chen C. [и др.]. Digital Twin System of Object Location and Grasp Robot // 2020 5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE). 2020. DOI: 10.1109/ICMCCE51767.2020.00021.
3. Zhang Z. [и др.]. Digital twin system design for dual-manipulator cooperation unit // 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). 2020. DOI: 10.1109/ITNEC48623.2020.9084652.
4. Xia L., Lu J., Zhang H. Research on Construction Method of Digital Twin Workshop Based on Digital Twin Engine // 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA). 2020. DOI:10.1109/AEECA49918.2020.9213649.

© Пикалов Я. Ю., 2023

Секция
**«УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА И ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ
ДЛЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ»**

УДК 658.5

**СИСТЕМА КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОВОЙ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ
МОДЕЛИ АО «РЕШЕТНЁВ»**

А. В. Берестов^{*}, К. Г. Охоткин, Д. В. Дятлов, О. Е. Подвербных, Н. С. Рошкова

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»
имени академика М. Ф. Решетнёва»

Российская Федерация, 662972, ЗАТО г. Железногорск Красноярский край, ул. Ленина, 52

^{*}E-mail: berestov@iss-reshetnev.ru

Рассмотрены основные элементы системы стратегического кадрового обеспечения в условиях перехода на новую индустриальную модель предприятия ракетно-космической промышленности.

Ключевые слова: кадровое обеспечение, стратегия, новая индустриальная модель, ракетно-космическая промышленность.

Согласно Концепции технологического развития России до 2030 года [1], к концу третьего десятилетия XXI века Россия должна обладать собственной научной, кадровой и технологической базой критических и сквозных технологий. Предполагается, что в стране будут созданы условия для высокоинтенсивной инновационной активности корпораций. К 2030 году национальная экономика должна обеспечивать производство высокотехнологичной продукции, при этом доля таких отечественных товаров в общем объеме потребления должна составить не менее 75 %.

Долгосрочный вектор развития предприятий российской ракетно-космической промышленности связан с наращиванием орбитальной группировки космических аппаратов социально-экономического и научного назначения, опережающим созданием ключевых технологий, элементов и целевых приборов для космических комплексов [1]. В этой связи на протяжении более чем двух лет российской космической корпорацией реализуется качественная модернизация системы управления, нацеленная на новую индустриальную модель производства телекоммуникационных систем в АО «РЕШЕТНЁВ». Промышленная трансформация предприятия опирается на комплексный подход к решению задачи кадрового обеспечения таких высоконагруженных функциональных подсистем как НИОКР, производство (единичное и поточное), постпроизводственный сервис и эксплуатационное обеспечение КА. С 2022 года на предприятии инициировано 8 ключевых направлений развития технологий, 4 из них – поточное производство, участок волноводов, производство крупногабаритных трансформируемых рефлекторов, золочение проволоки – должны быть запущены в промышленную эксплуатацию. Очевидно, что принятая портфельная стратегия развития опирается на количественные и качественные изменения в подходах к привлечению персонала по укрупненным группам специальностей 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи», 15.00.00 «Машиностроение»,

25.00.00 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники», 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника» и др.

Используя метод экспертного прогнозирования, нормативный и статистический методы планирования [2], план ожидаемого высвобождения работников, динамическую оценку текучести и актуальных вакансий, кадровая служба разработала прогнозу численности персонала АО «РЕШЕТНЁВ». Согласно данным прогноза, совокупный прирост численности работников предприятия к 2030 году составит 21 %, а к 2025 году в сравнении с 2022 – 14,7 %. Решение столь масштабной и продолжительной по интенсивности задачи возможно посредством реализации комплекса программ, проектов и процессов, образующих систему стратегического кадрового обеспечения предприятия.

Инфраструктуру системы обеспечивают 19 опорных вузов – партнеров предприятия, ряд из которых – СибГУ им. М. Ф. Решетнева, СФУ, ВОЕНМЕХ им. Д. Ф. Устинова реализуют образовательные программы на базовых кафедрах непосредственно на предприятии. Имплементация образовательного процесса во внутрикорпоративной и гибридной среде позволяет предприятию в проактивном режиме осуществлять целевую опережающую подготовку, практическую подготовку, подготовку в рамках передовых инженерных школ и программ передовых производственных технологий, где главный фокус – талантливая, заинтересованная в инженерно-техническом образовании молодежь. Так, в настоящее время по программам целевой подготовки в вузах Красноярска, Томска, Новосибирска, Казани, Самары, Нижнего Новгорода, Санкт-Петербурга и Москвы проходят обучение 475 человек, из них 35 обучаются по программам аспирантуры.

Предприятие сформировало мотивационное предложение для целевиков, включающее гарантированное распределение на практику в соответствии с потребностью предприятия, назначение руководителями практик из числа ведущих учёных и специалистов предприятия, выплату стипендии в период прохождения практики, выплату дополнительной стипендии студентам, выполняющим дополнительные практические задания, компенсацию проезда к месту прохождения практики и обратно, компенсацию расходов на питание (завтраки и обеды), предоставление места в благоустроенном общежитии для проживания на период практики

Профильные подразделения предприятия участвуют в проектировании и профессионально-общественной аккредитации образовательных программ. Предприятие содействует оснащению учебно-материальной базы университетов, стажировкам преподавателей. Под запросы организационной и технологической трансформации в 2023 г. 176 работников АО «РЕШЕТНЁВ» прошли обучение в четыре ведущих вузах страны.

Новым перспективным проектом стала сетевая образовательная программа по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», специализация «Аэрокосмическая техника», открытая в сентябре 2023 г. совместно с СибГУ им. М. Ф. Решетнева и НИУ МАИ. Программа предполагает локализацию базового и общепрофессионального обучения в СибГУ, профильного и практического обучения в НИУ МАИ и непосредственно на производстве в АО «РЕШЕТНЁВ».

Дополнительное привлечение талантливых студентов на предприятие предлагается поддержать в формате конкурса студенческих разработок расширенным мотивационно-образовательным предложением – интерактивная цифровая платформа с размещением по тематике организаций ГК «Роскосмос», кураторы проекта – наставники предприятия, очная защита на предприятии, интерактивный мониторинг работ по проектам, база кейсов.

Исполнение намеченных проектов, процессов и программ уже сейчас обеспечивает восполнение кадрового дефицита, в то же время гибкая своевременная модернизация, создание принципиально новых организационных форм привлечения персонала должны стать маркером качества кадрового менеджмента предприятия.

Библиографические ссылки

1. Концепция технологического развития России до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 года № 1315-р [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/news/1626877/> (дата обращения: 15.09.2023).
2. Алексеева М. М. Планирование деятельности фирмы : учебно-методическое пособие. М. : Финансы и статистика, 2014. 248 с.

© Берестов А. В., Охоткин К. Г., Дятлов Д. В.,
Подвербных О. Е., Рошкова Н. С., 2023

УДК 658.3

МОТИВАЦИЯ ПЕРСОНАЛА НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

С. М. Голдобин

ПАО НПО «Искра»

Российская Федерация, Пермь, ул. Академика Веденеева, 28

E-mail: GoldobinSergey@npoiskra.ru

Персонал – самый ценный ресурс организации, источник, как достижений, так и ошибок. В докладе представлены постулаты и возможности мотивационной модели взаимодействия руководителей с работниками, применительно к повышению качества продукции.

Ключевые слова: персонал, мотивация, качество, ошибки, дефекты.

Одна из целей любой организации – изготовить и поставить потребителю качественную продукцию, то есть соответствующую установленным требованиям, без дефектов. Дефект – это случайное событие, следствие ошибки, допущенной работником. Ошибки являются неизбежным следствием участия человека в производственном процессе, творческой составляющей (вариативности) в его деятельности, уникальности психофизиологической организации индивидуума. Не все ошибки приводят к дефектам, но все дефекты являются следствием ошибки. Ошибки появляются случайно, на разных стадиях жизненного цикла (ЖЦ) продукта как следствие участия в производственном процессе человека, образуя некоторую структуру с узлами и внутренними логическими связями (сеть). Для предотвращения дефектов необходимо выявлять и устранять ошибки до того, как они приведут к дефекту. Один из методов – мотивация персонала на работу по улучшениям.

Мотивационная модель взаимодействия работника и руководителя основана на следующих трёх постулатах.

Работник всегда стремится выполнить работу наилучшим образом.

Работник выполняет работу в соответствии со своей квалификацией. Под квалификацией понимаем не только приобретённые навыки и знания рабочего, но и комплекс этических свойств, включая приверженность корпоративным ценностям организации.

Ошибка работника - следствие недостатков в организации его рабочего пространства. Ошибка – это действие или бездействие работника, приведшее к результатам, хуже прогнозируемых или ожидаемых. Понятие «рабочее пространство» включает все материальные объекты, потоки информации, коллектив с которыми непосредственно или опосредованно взаимодействует работник, в том числе рабочее место с соответствующим оборудованием, нормативные документы, систему оплаты труда, морально – психологический климат в коллективе и т. п.

Мотивационная модель обладает рядом особенностей: Оплата труда является элементом рабочего пространства, должна быть комфортной для работника и не должна содержать стимулирующих составляющих, премий и штрафов. Отсутствуют причины для наказания работника. Если частота и тяжесть последствий ошибок работника неприемлемы, его необходимо обучить либо заменить. Контроль над деятельностью работника не является обязательным и может быть заменён самоконтролем. Повышение производительности труда на рабочем месте – задача не работника, а руководителя путём улучшения рабочего пространства и повышения квалификации работника обучением или заменой.

Повышение качества продукции должно быть следствием общей приверженности персонала к улучшениям. Цель мотивационной модели – повысить эффективность производственного процесса в результате наиболее полного использования потенциальных возможностей работника, создав ему условия для самореализации и совершенствования.

© Голдобин С. М., 2023

УДК 630.587+502.3:679.78+681.3.069

СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО УЧЕБНО-НАУЧНОГО ЦЕНТРА МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОЙ, МИКРОВОЛНОВОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И СПУТНИКОВОГО ГЕОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

И. М. Данилин*, В. А. Лапко, А. А. Кузнецов, И. А. Бабий, А. О. Вайсман

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
Научно-образовательный центр «Институт космических исследований
и высоких технологий»

*E-mail: danilin@ksc.krasn.ru

Обсуждаются возможности создания на базе кафедры «Космические средства и технологии» СибГУ им. академика М. Ф. Решетнева инновационного учебно-научного центра мониторинга лесных ресурсов Сибири, с целью подготовки инженерных кадров высшей квалификации и проведения перспективных научных исследований.

Ключевые слова: инновационные методы дистанционного зондирования лесов, программные средства, моделирование, подготовка инженерных кадров высшей квалификации, Сибирь, Красноярский край.

Использование новейших аэрокосмических методов лазерной и микроволновой аэро- и космической съемки, спутникового геопозиционирования, обеспечивают принципиально новые возможности для мониторинга лесных ресурсов. Высокая эффективность импульсной лазерной локации, в сочетании с субметровым пространственным разрешением микроволновой аэро- и космической съемки, позволяют разработать эффективную систему оценки фактического состояния лесов. Разработка и внедрение в практику такого высокоэффективного комплекса мониторинга лесов и лесопользования на территории Сибири является крайне актуальной задачей, поскольку информация данных лесоустройства в значительной степени устарела (30 и более лет), не отражает реального состояния лесов, традиционные методы инвентаризации лесных ресурсов на сегодняшний день не эффективны, не обеспечивают требуемой точности, высоко затратны по стоимости и времени выполнения.

Целью проекта является создание инновационного учебно-научного центра для подготовки инженерных кадров высшей квалификации, проведение перспективных научных исследований в области разработки новых методов дистанционного зондирования лесов и др. природных ресурсов, разработки комплекса объективного и высокоточного контроля и мониторинга состояния лесных ресурсов и лесопользования в Сибири, на основе интегрирования лазерной и микроволновой аэро- и космической съемки и спутникового геопозиционирования, которые являются основой принципиально новой системы мониторинга, моделирования, прогнозирования и управления лесными ресурсами.

Предлагаемый интегрированный мультисенсорный подход, инновационный математический и программный аппарат, позволяют быстро и точно определять количественные и качественные характеристики лесов. Предлагаемые методические решения и алгоритмы трехмерного моделирования структуры и динамики леса по данным лазерного сканирования, цифровой аэро- и космической съемки являются пионерными, способствующими

более эффективному оперативному и значительно (в 2 и более раза) менее затратному по стоимости и ресурсам контролю и мониторингу состояния и использования лесных ресурсов на огромной территории Сибири.

При использовании метода достигается гораздо более высокая точность лазерных и микроволновых определений биометрических и таксационных показателей деревьев и древостоев, чем при традиционных наземных лесоинвентаризационных работах. Данные лазерной локации и микроволнового сканирования представляются в виде геотрансформированной (введенной в систему реальных географических координат) базы данных и цифровой фотокарты, совместимых в форматах с системами автоматизированного проектирования (САПР) и с основными геоинформационными системами – ArcView, ArcINFO, MapINFO.

Разработка и внедрение комплекса в практику дистанционного мониторинга лесопользования на региональном уровне позволит обеспечить оперативное получение актуальных, достоверных и высокоточных данных о состоянии лесных ресурсов, обеспечит надежную информационную основу для контроля результатов хозяйственной деятельности в использовании лесов, существенно повысит экономическую и экологическую эффективность управления в сфере лесопользования.

Создание и работу инновационного учебно-научного центра предлагается осуществлять в рамках направлений региональной технологической платформы Красноярского края «Инновационные технологии комплексного использования лесных ресурсов», при тесном сотрудничестве и кооперации с институтами Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН», Министерством природных ресурсов и экологии Красноярского края, Министерством лесного хозяйства Красноярского края, предприятиями лесного комплекса Сибири.

Реализация проекта позволит внедрить технологический и программный комплекс в системе мониторинга лесных ресурсов и лесного хозяйства Красноярского края и др. регионов Сибири, создать не менее 30 дополнительных высокотехнологичных рабочих мест, привлечь инвестиции в объеме не менее 100 млн. рублей в год, за счет средств арендаторов лесных участков, лесо- и природопользователей.

В результате реализации проекта будет достигнута значительная экономия бюджетных средств за счет снижения затрат на проведение работ по государственному контролю лесопользования и инвентаризации лесов. Будет гарантированно обеспечена более высокая точность определения запасов древесины, снижение ошибки результатов определений в 3–4 раза, увеличение поступлений в местные и региональные бюджеты за пользование лесом на 20–25 %, за счет получения актуальных и достоверных учетных данных о состоянии лесов.

© Данилин И. М., Лапко В. А., Кузнецов А. А.,
Бабий И. А., Вайсман А. О., 2023

УДК 629.78

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА, КОСМИЧЕСКОЙ БАЛЛИСТИКИ И УПРАВЛЕНИИ ПОЛЁТОМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В. В. Корянов

МГТУ им. Н. Э. Баумана

Российская Федерация, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1

E-mail: vkoryanov@bmstu.ru

В настоящее время происходит активное развитие космонавтики как в прикладном, так и в фундаментальном направлении. Для проектирования космических миссий необходимо обладать высоким уровнем знаний в области космической баллистики и управлении космическими аппаратами. Дальнейшее развитие невозможно без высококвалифицированных кадров, которые должны обладать междисциплинарными компетенциями и быть способными внедрять самые передовые решения в своей работе. Однако в настоящее время имеется ряд вызовов, на которые необходимо отвечать в современных условиях при подготовке высококвалифицированных инженерных кадров.

Ключевые слова: компетенция, практико-ориентированное образование, специалист, динамика движения космических аппаратов, ракетно-космическая отрасль.

В настоящее время происходит активное развитие космонавтики как в прикладном, так и в фундаментальном направлении. Для проектирования космических миссий необходимо обладать высоким уровнем знаний в области космической баллистики и управлении космическими аппаратами [1]. Дальнейшее развитие невозможно без высококвалифицированных кадров, которые должны обладать междисциплинарными компетенциями и быть способными внедрять самые передовые решения в своей работе. Однако в настоящее время имеется ряд вызовов, на которые необходимо отвечать в современных условиях при подготовке высококвалифицированных инженерных кадров [2]. В частности, нам предстоит ответить на ряд следующих вопросов: развитие междисциплинарных компетенций инженера-баллистика в космической отрасли России; дальнейшее взаимодействие с профильными предприятиями и вовлеченность предприятий в учебный процесс; необходимость импортозамещения специализированного программного обеспечения и подходы в подготовке кадров в этом направлении; дальнейшее развитие собственной базы в подразделениях для подготовки инженеров-баллистиков. Ответы на эти вопросы помогут определить пути совершенствования подготовки инженеров-баллистиков для ракетно-космической отрасли России.

Важным импульсом для решения вопроса развития междисциплинарных проектов является возможностями привлечения Университетского сообщества для проектирования перспективных космических миссий. Данное, безусловно, интересное направление, должно стать локомотивом для привлечения молодёжи к работе на предприятиях космической отрасли России. Например, для организации такого взаимодействия необходимо ответить на следующие вопросы: возможности создания студенческих космических аппаратов для полёта на Луну; взаимодействие с профильными предприятиями по вопросам участия в разработке космических миссий; новые междисциплинарные компетенции, сформированные на основе совместной работы над новыми проектами.

Осуществление подобных методов в образовании студентов, практически реализуя непрерывный личностно-ориентированный подход через Передовые инженерные школы, позволит сформировать качественно новые компетенции у студентов и будет способствовать повышению уровня подготовки инженерных кадров в области динамики полёта, космической баллистики и управления полётом космических аппаратов.

Библиографические ссылки

1. Корянов В. В. Динамика движения спускаемых аппаратов в атмосфере планеты. Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 108 с.
2. Золотые Имена Высшей Школы: Книга Почета преподавателей вузов Российской Федерации. М. : Издательство МОО «Лига преподавателей Высшей Школы», 2019. 224 с.

© Корянов В. В., 2023

УДК 629.78

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ»

В. В. Перлюк

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
Институт аэрокосмических приборов и систем
Российская Федерация, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67а
E-mail: Perlvv@mail.ru

В докладе рассматривается опыт участия сотрудников и учащихся ГУАП в отечественных и международных программах космических исследований, а также его использование в развитии учебных программ и лабораторной базы вуза.

Ключевые слова: инженерия космических систем, малые космические аппараты, учебно-исследовательская лаборатория.

1 июля 2023 г. Президент Владимир Путин провёл встречу с гендиректором Роскосмоса Юрием Борисовым. Одна из важных тем в ходе обсуждения касалась вопросов создания отечественной низкоорбитальной группировки спутников. Однако решение этой задачи предъявляет совершенно новые требования к используемым в космической индустрии производственным технологиям и к подготовке нового поколения специалистов. «Для меня абсолютно ясно, что нужно переходить на новую индустриальную модель производства спутников и предоставления услуг. Это очень широкий спектр вопросов, в том числе переход на конвейерную сборку, чтобы мы могли выпускать в год не десятки, а сотни спутников» – отметил в своем интервью 24 августа 2022 г. глава Роскосмоса [1]. Рассмотрению опыта Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП) в подготовке по подготовке специалистов, способных эффективно решать поставленные задачи и посвящен данный доклад.

ГУАП за 83-летний период своей деятельности принимал самое непосредственное участие в исторических этапах развития отечественной и мировой космонавтики. Начиная с 2000-х ГУАП активно включился в международные проекты, выполняемые ведущими международными центрами космической индустрии. Таким образом, в университете накопился большой интеллектуальный потенциал и опыт реализации отечественных и международных проектов в космической индустрии.

Важную роль в формировании качественных специалистов космической индустрии играет привлечение студентов к современным проектам космической направленности. Одним из примеров таких проектов является разрабатываемая специалистами и студентами кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов ГУАП распределенная система навигации и управления полетом группы взаимодействующих микроспутников. По итогам проводимого в 2021 году отраслевого акселератора по цифровым технологиям, проводимого ГК Роскосмос и фондом «Сколково» данный проект был признан победителем.

С 2021 года в Санкт-Петербургском государственном университете по направлению подготовки «Приборостроение» внедрена новая учебная дисциплина «Инженерия косми-

ческих систем» (ИКС) [2]. Общей целью этой дисциплины является знакомство учащихся с различными задачами, решаемыми с помощью современных космических аппаратов, а также с особенностями разработки и эксплуатации малых космических аппаратов (МКА) выполняющих полет на низких орбитах Земли [3]. Эти задачи включают в себя выбор и расчет параметров орбиты полета, оптимизацию состава бортовой аппаратуры, реализацию эффективного метода ориентации и стабилизации, принципы организации системы связи с наземными пунктами. Прикладная часть дисциплины направлена на разработку проекта МКА, способного выполнять различные целевые задачи. В процессе изучения дисциплины, обучающиеся знакомятся с современными международными образовательными программами по использованию МКА, решают задачи по управлению движением, навигации и ориентации микро- и наноспутников в том числе в составе орбитальной группировки, изучают особенности использования двигательных установок на борту МКА. На примере этапов проектирования МКА учащиеся осваивают оптимальные методы теоретических и экспериментальных инженерных исследований. Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с имитационным моделированием базовых бортовых систем МКА, компоновкой спутника в современных пакетах 3D-конструирования, разработкой бортового специального программного обеспечения, имитацией работы бортовых датчиков и систем.

В марте 2023 г. состоялось открытие в ГУАП новой учебно-исследовательской лаборатории «Проектирования и эксплуатации МКА», ориентированной на разработку, сборку, испытания и эксплуатацию малых космических аппаратов (МКА). В лаборатории аспиранты и магистранты университета проводят собственные исследования, связанные с отработкой поведения новых приборов в условиях космоса. Имеющееся в лаборатории технологическое оборудование обеспечивает возможность подготовки экспериментальной технической и испытательной базы для развития микроспутниковых технологий. Примером полученных результатов является созданный силами сотрудников кафедры демонстрационный стенд для отработки взаимной ориентации микроспутников [4]. С его помощью решена актуальная научно-техническая задача по обеспечению полета группы микроспутников с учетом малых взаимных расстояний между ними. С учетом высоких скоростей полета выдерживание взаимной ориентации микроспутников в группе потребовало разработки нового метода с использованием обработки изображения, получаемого с помощью бортовой видеокамеры.

Таким образом, организация учебного процесса и оснащение учебно-исследовательских лабораторий ГУАП позволяет студентам и аспирантам университета осуществлять подготовку собственных проектов, связанных со сборкой функциональных моделей космических аппаратов и решением прикладных задач выбору состава, структуры наноспутника, разработкой и изготовлением собственных нестандартных приборных модулей в формате блоков CubeSat, обеспечением эффективной компоновки оборудования наноспутника, проведением цикла испытаний.

Работа над такими проектами позволяет учащимся получать практический опыт проектирования, изготовления, испытания и эксплуатации МКА и их систем, что, безусловно, важно для формирования нового поколения молодых специалистов, готовых к работе на самых передовых предприятиях, включая ГК Роскосмос.

Библиографические ссылки

1. URL: <https://tass.ru/kosmos/15555851?ysclid=lmkmv6y9r3653373382>. 24 августа 2022, 21:15.
2. Инженерия космических систем : учебное пособие / А. И. Гарютин, А. А. Макаров, В. В. Перлюк, С. Л. Поляков. СПб. : ГУАП, 2021.

3. Федоринов А. Ю., Перлюк В. В. Разработка системы управления движением малых космических аппаратов в группе на основе методов имитационного моделирования / ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». С. 184–185. ISBN 978-5-91995-093-6.

4. Небылов А. В., Перлюк В. В., Леонтьева Т. С. Исследование технологии взаимной навигации и ориентации малых космических аппаратов в группе // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 1. С. 88–93. EDN: EKXBVD.

© Перлюк В. В., 2023

УДК 629.78

ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТВОРЧЕСКАЯ ИНИЦИАТИВА СТУДЕНТОВ

С. В. Резник

МГТУ им. Н. Э. Баумана
Российская Федерация, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1
E-mail: sreznik@bmstu.ru

Рассмотрены вопросы коллективного творчества студентов в рамках системного проектирования перспективных объектов ракетно-космической техники. Обсуждаются вопросы устойчивости коллективов и связь их работы с учебным процессом.

Ключевые слова: специалисты, подготовка, студенты, ракетно-космическая техника.

Результативное научно-техническое творчество студентов является характерным признаком здорового университетского коллектива и одновременно служит подготовке высококвалифицированных специалистов. В рамках ФУМО по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника» ведется обобщение опыта ведущих технических университетов в развитии различных форм творческой деятельности студентов с учетом современных образовательных стандартов и программ [1; 2]. Среди актуальных вопросов выделяются вопросы реализации инициативных студенческих проектов в рамках учебного процесса.

В истории инженерного образования нашей страны имеются яркие примеры временных студенческих объединений (ВТО), разрабатывавших проекты новой авиационной, а позднее ракетно-космической техники. В числе первых – воздухоплавательный кружок профессора Н. Е. Жуковского в ИМТУ. Участники этого кружка (А. Н. Туполев, А. А. Архангельский, Б. Н. Юрьев, В. П. Ветчинкин и др.) стали выдающимися создателями советской авиации.

В 1966 году в МВТУ им. Н. Э. Баумана были начаты работы по инновационному проекту лунохода «Селена» (технический руководитель – В. А. Морев). В ходе системного проектирования был создан натурный макет лунохода. Организованное в этот период Студенческое проектно-конструкторское бюро в течение 25 лет служило базой для многочисленных инициативных студенческих проектов [3].

В 1968–1971 гг. группа энтузиастов под общим научным руководством ученого-космонавта, профессора К. П. Феоктистова вела работы по проекту «Простор», предусматривающего обоснование конструкции автоматических межпланетных станций и пилотируемого космического корабля для полета к Юпитеру, Сатурну, Урану и Нептуну с ядерным ракетным двигателем [4]. Отличительной особенностью этого проекта, в котором участвовали около 50 студентов разных кафедр, была междисциплинарность проектирования. Будущие конструкторы ракет и космических аппаратов вели совместные работы с баллистиками, двигателями, радистами, телеметристами и управленцами.

В 1979–1982 гг. под научным руководством профессоров Г. Б. Синярева и В. Ф. Чижова (технические руководители – Е. К. Белоногов, В. И. Косовцев) студентами был разработан проект многофазовой транспортной космической системы «Альбатрос, первая ступень которой должна была взлетать с водной поверхности [5].

Существенно, что подавляющее большинство результатов упомянутых исследований и разработок было оформлено в виде курсовых и дипломных проектов. Участники ВТО

продолжили свою профессиональную деятельность в науке, стали руководителями крупных научных и производственных коллективов. За развитие новых форм научного творчества в 1971 г. Студенческое научно-техническое общество им. Н. Е. Жуковского было удостоено Премии Ленинского комсомола, аналога современной Государственной премии для молодых ученых.

Более 25 лет назад в МГТУ им. Н. Э. Баумана был организован Молодежный космический центр. В новых экономических условиях студенты под руководством профессора В. И. Майоровой разрабатывают, изготавливают и испытывают конструкции малых искусственных спутников Земли. За последние годы на орбиту были запущены 6 таких спутников, созданных в центре. Ведется прием бортовой телеметрической информации.

Таким образом, по прошествии лет форма ВТО студентов стала традиционной. Однако одной из главных проблем ВТО, как бы они не назвались (молодежный/инновационный центр, конструкторской бюро и т. п.), является организационная устойчивость. По нашему убеждению, имеется несколько условий, обеспечивающих организационную устойчивость ВТО:

- тесная связь с профильной кафедрой для адресного научного руководства отдельными видами исследований и разработок, увязка этих работ с учебным планом студентов, с выполнением домашних заданий, курсовых и дипломных проектов;
- организационная и техническая поддержка со стороны руководства университета с выделением дополнительных площадей, оборудования, приборов, расходных материалов, штатных единиц и стартового финансирования;
- информационная и экспертная поддержка проводимых в ВТО работ со стороны служб университета, содействие в установлении деловых связей с предприятиями реального сектора экономики.

В последние годы в число актуальных проблем развития мировой космонавтики вошли проблемы создания спутниковых группировок, многоразовых транспортных космических систем, космического строительства орбитальных и напланетных сооружений, очистки околоземного космоса, космического туризма. Деятельное участие нашей страны в этих и ряде других работ невозможно без опережающей подготовки специалистов в технических университетах. Начатый в 2022 году национальный проект «Передовые инженерные школы» позволяет заметно расширить возможности реализации студенческих научных инновационных проектов в перечисленных областях и тем самым способствовать укреплению кадрового потенциала отечественной космонавтики.

Библиографические ссылки

1. Аэрокосмическое образование в России. Кадровое обеспечение оборонно-промышленного комплекса / под ред. Д. А. Козореца. М. : Изд-во МАИ, 2021. 264 с.
2. Аэрокосмическое образование в России. Особенности подготовки кадров в условиях глобальных изменений / под ред. Д. А. Козореца. М. : Изд-во МАИ, 2022. 160 с.
3. Резник С. В. Коллективное научное творчество студентов в рамках учебного процесса // Ракетно-космическая техника: фундаментальные и прикладные проблемы : матер. 2-й Междунар. науч. конф. (Москва, 18–21 ноября 2003 г.). М., 2005. С 163–169.
4. М-1: 50 лет после старта / под ред. В. И. Усюкина, А. И. Ганичева, С. В. Резника. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. 216 с.
5. Транспортная космическая система «Альбатрос» / Г. Б. Синярев, В. Ф. Чижов, В. Н. Баранов и др. // К. Э. Циолковский и научно-технический прогресс. М. : Наука, 1982. С. 38–42.

УДК 67-05

**КОМПЕТЕНЦИИ БАЗОВОЙ КАФЕДРЫ «ТЕХНОЛОГИЯ
МАШИНОСТРОЕНИЯ» ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Е. В. Смоленцев

Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84
E-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

В статье рассмотрены компетенции базовой кафедры «Технология машиностроения».

Ключевые слова: технология, базовая кафедра, машиностроение.

Кафедра «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета получила статус базовой в 2013 году и в настоящее время работает при поддержке одного из крупнейших в России предприятий в области ракетного двигателестроения – АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (КБХА). Кафедра расположена на территории базового предприятия, что позволяет осуществлять учебный процесс на современном уровне. В настоящее время на кафедре работают 6 профессоров и 16 доцентов, в том числе – совместители из числа высшего руководства базового предприятия.

Научные интересы кафедры направлены на создание и разработку комбинированных методов обработки в машиностроении, кафедра признана головной в этом научном направлении в стране. При кафедре с 1992 года работает диссертационный совет по специальностям 2.5.5 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» и 2.5.6 «Технология машиностроения».

Уникальные возможности, которые кафедра приобрела за счет тесного сотрудничества с базовым предприятием, позволяют разрабатывать и реализовывать актуальные проекты в области дополнительного профессионального образования и хоз. договорной деятельности, например:

Обучение работе в различных САПР.

– Тренировка сертифицированными экспертами и тренерами национальной сборной участников соревнований разного уровня по Инженерному дизайну (в рамках бывшего WorldSkills).

– Анализ работы конструкторов и поиск путей и способов оптимизации (в первую очередь ускорения работы).

– Разработка заданий для проверки навыков владения определенными компетенциями в области проектирования (для поиска проблемных областей знаний, аттестации специалистов и отбора новых сотрудников).

– Разработка технологических процессов механической обработки деталей

– Написание управляющих программ для станков с ЧПУ.

– Проектирование механических прессов, блоков штамповочных и средств автоматизации

– Разработка комплекса мероприятий по повышению уровня производственной технологичности изделий для различных объемов выпуска продукции (единичного-мелкосерийного, среднесерийного, крупносерийного) с привязкой к возможностям существующих производств.

- Рекомендации по выбору (проектированию) универсальных, специализированных и специальных средств технологического оснащения для технологически проблемных объектов производства.

- Моделирование приоритетности обработки деталей в случае появления узких мест в условиях многономенклатурного производства продукции.

- Решение задач по определению очередности и времени запуска в производственных цехах различных по объему партий деталей широкой номенклатуры.

Таким образом, совместная реализация потенциалов производственной базы АО «КБХА» и интеллектуальной – базовой кафедры «Технология машиностроения» дает возможность реализовать уникальные компетенции на практике.

© Смоленцев Е. В., 2023

УДК 629

ОПЫТ СИБГУ ИМ. М.Ф. РЕШЕТНЕВА В РЕАЛИЗАЦИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК

Е. Ю. Смолина, Ю.А. Аникина

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: alexeeva_85@mail.ru

Достижение технологического суверенитета, переход к инновационно ориентированному экономическому росту требует не только разработки критических и сквозных технологий, но и обеспечение производства данных технологий соответствующими кадрами, обучение которых должно осуществлять на основании опережающей подготовки по передовым программам инженерного образования. Опыт СибГУ им. М. Ф. Решетнева в подготовке кадров для предприятий ОПК позволяет продемонстрировать реализацию данной задачи.

Ключевые слова: опережающая подготовка кадров, предприятия ОПК, технологическое развитие, передовые программы инженерного образования.

В университете в рамках реализации стратегического проекта «Институт передовых производственных технологий» программы академического стратегического лидерства «Приоритет-2030» создан организационный механизм, позволяющий осуществлять опережающую подготовку кадров для предприятий ОПК посредством разработки и реализации модулей (дисциплин) передовых программ инженерного образования, которые разрабатываются и содержат новые технологические решения в области робототехнических разработок, использования новых материалов, космических аппаратов, а также опыта и компетенций, полученных в результате научно-исследовательской деятельности, осуществляемой в лабораториях Университета.

Первый конкурс на разработку модулей был проведен в 2022 году, на который были представлены 79 заявок от профессорско-преподавательского состава Университета, а также от сотрудников научных лабораторий, из которых 20 были разработаны для включения в образовательный процесс. Большее количество модулей были разработаны для базовых направлений подготовки, в связи с чем тематика модулей ориентирована для направлений подготовки востребованных на предприятиях ОПК. Для усовершенствования предлагаемых в модуле образовательных технологий с целью включения в дальнейшем их в основные образовательные программы, предложенные модули были реализованы в форме дополнительных образовательных программ. Общая численность, прошедших обучение студентов, составляет в 2022 году 189 человек, в том числе большее число, прошедших обучение на модулях, составили обучающиеся из институтов: космической техники – 78 чел; информатики и телекоммуникаций – 58 чел и института машиноведения и мехатроники – 42 чел. В связи с большим интересом к данным модулям со стороны обучающихся инженерных направлений подготовки весной текущего года модули были реализованы повторно. Общая численность, прошедших обучение по модулям в 2023 году, составляет 133 студента.

Второй конкурс на разработку модулей опережающей подготовки кадров был проведен весной 2023 года, по результатам которого были отобраны для разработки 10 модулей

передовых программ инженерного образования, которые планируются для реализации осенью 2023 года. Тематика большего числа разрабатываемых модулей согласована и поддержана предприятиями ОПК.

Большое значение для получения студентами передового опыта имеет вовлечение в реализацию образовательных модулей научных подразделений СибГУ. В 2022 году семь лабораторий Университета разработали и реализовали девять модулей (дисциплин) передовых программ инженерного образования. Тематика модулей лабораторий определялась в соответствии с приоритетными направлениями проводимых в университете исследований и разработок. Численность обучающихся, прошедших обучение на модулях научных лабораторий, составила – 63 студента. В рамках конкурсного отбора на разработку модулей передовых программ инженерного образования, который состоялся весной 2023 года из 10 допущенных модулей до дальнейшей разработки экспертами Совета ИППТ четыре были представлены научными лабораториями.

Для обеспечения образовательного процесса современной материально-технической базой создан Центр коллективного пользования ИППТ посредством формирования лабораторных кластеров. В университете сформированы кластеры аддитивных производственных технологий, робототехнических технологий, цифровых технологий.

Кластер аддитивных производственных технологий, включает учебно-проектный класс и учебно-демонстрационный класс АТ и 3D-моделирования, которые оснащены 3D-принтерами в количестве 12 штук. Кластер робототехнических технологий, включает лаборатории современных машиностроительных производств и оцифровки и измерения объектов машиностроения, которые оснащены современным робототехническим оборудованием. Кластер цифровых технологий, включает лаборатории машинного обучения и технического зрения, космической и тропосферной связи и информационной безопасности наземного и космического сегмента спутниковой связи, все лаборатории данного кластера оснащены современным ПО.

Реализация модулей также осуществлялась на базе центра коллективного пользования ИППТ, где были реализованы и проведены – 14 модулей (дисциплин) передовых программ инженерного образования, общая численность обучающихся, прошедших обучение в 2022 году с использованием материальной базы центра коллективного пользования, составила 172 студента.

В 2023 году был оборудован и введен в образовательный процесс новый кластер автономных технических комплексов и систем, в частности запущена радиомонтажная лаборатория. Материальное оснащение данной лаборатории позволит не только использоваться для осуществления образовательного процесса по основным программа инженерного образования, в частности, для преподавания дисциплин физика, но на базе данной лаборатории будут проводиться научные исследования.

Первый конкурс на разработку модулей был проведен в 2022 году, на который были представлены 79 заявок от профессорско-преподавательского состава Университета, а также от сотрудников научных лабораторий, из которых 20 были разработаны для включения в образовательный процесс. Большее количество модулей были разработаны для базовых направлений подготовки, в связи с чем тематика модулей ориентирована для направлений подготовки востребованных на предприятиях ОПК. Для усовершенствования предлагаемых в модуле образовательных технологий с целью включения в дальнейшем их в основные образовательные программы, предложенные модули были реализованы в форме дополнительных образовательных программ. Общая численность, прошедших обучение студентов, составляет в 2022 году 189 человек, в том числе большее число, прошедших обучение на модулях, составили обучающиеся из институтов: космической техники – 78 чел; информатики и телекоммуникаций – 58 чел и института машиноведения и мехатроники – 42 чел. В связи с большим интересом к данным модулям со стороны

обучающихся инженерных направлений подготовки весной текущего года модули были реализованы повторно. Общая численность, прошедших обучение по модулям в 2023 году, составляет 133 студента.

Второй конкурс на разработку модулей опережающей подготовки кадров был проведен весной 2023 года, по результатам которого были отобраны для разработки 10 модулей передовых программ инженерного образования, которые планируются для реализации осенью 2023 года. Тематика большего числа разрабатываемых модулей согласована и поддержана предприятиями ОПК.

Стоит отметить, что основная цель формирования модулей (дисциплин) передовых программ инженерного образования состоит в обновлении основных образовательных программ посредством включения в основные программы модулей опережающей подготовки кадров. Так, в новом 2023-2024 учебном году за счет проведенной в вузе актуализации образовательных программ 163 студента инженерных специальностей пройдут обучение по модулям опережающей подготовки в рамках основного обучения.

Библиографические ссылки

1. Приоритет 2020. Программа развития СибГУ им. М. Ф. Решетнева [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sibsau.ru/newsitems/46/>.
2. Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sibsau.ru/page/campus-project>.

© Смолина Е. Ю., Аникина Ю.А., 2023

Секция
**«СОЗВЕЗДИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ МИССИИ. ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ „CUBESAT“»**

УДК 629.78

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАДУВНОГО ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА
СПУТНИКА CUBESAT НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА**

Е. Н. Абрамова¹, С. В. Резник²

МГТУ им. Н. Э. Баумана
Российская Федерация, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1
E-mail: ¹abramova_en@bmstu.ru ²sreznik@bmstu.ru

Одной из актуальных проблем современной космонавтики является засорение околоземного космоса вышедшими из строя объектами ракетно-космической техники, в том числе отработавшими спутниками. Оснащение спутников надувными тормозными устройствами позволит уводить их в плотные слои атмосферы после исчерпания ресурса.

Ключевые слова: надувное тормозное устройство, космический мусор, тепловой режим.

Значительную часть всех объектов космического мусора составляют отработавшие спутники, в том числе стандарта CubeSat, объем запусков, которых увеличивается с каждым годом [1]. Одним из эффективных способов уничтожения отработавших спутников могут быть надувные тормозные устройства (НТУ).

НТУ представляет собой тонкостенную оболочку из полимерной пленки [2]. До поступления команды на торможение спутника оболочка находится в свернутом положении в контейнере, имеющего размеры 1U (рис. 1, а). Развертывание оболочки производится под действием внутреннего давления по команде системы управления. После развертывания оболочки увеличивается площадь поперечного сечения, что ведет к увеличению силы аэродинамического сопротивления и снижению орбиты вплоть до уничтожения в плотных слоях атмосферы (рис. 1, б).

В настоящей работе предложена методика определения рациональных параметров оболочки НТУ. В качестве примера для НТУ спутника Cubsat размерности 2U выбрана оболочка сферической формы из полимерной пленки толщиной 20 мкм.

С помощью численного моделирования движения в разреженной атмосфере определялась продолжительность спуска с круговой орбиты высотой 300 км для оболочки диаметром от 1 м до 6 м (рис. 2 а, б). Установлено, что НТУ диаметром 3 м, удовлетворяющее весовым ограничениям, позволяет увести отработавший Cubsat размерности 2U в плотные слои атмосферы за 5 часов.

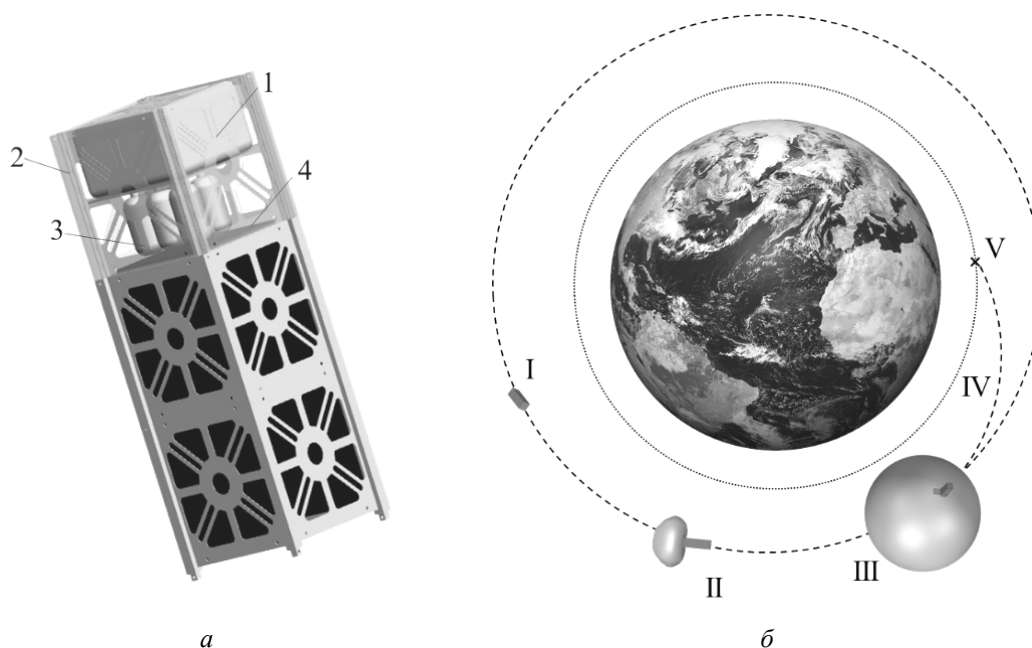


Рис. 1. Спутник с закрытым контейнером НТУ(а) и схема увода спутника в плотные слои атмосферы (б):

1 – оболочка; 2 – контейнер; 3 – система надува; 4 – система управления;
 I – движение по рабочей орбите; II – разворачивание надувной оболочки; III – начало торможения;
 IV – движение в плотные слои атмосферы; V – разрушение в плотных слоях атмосферы

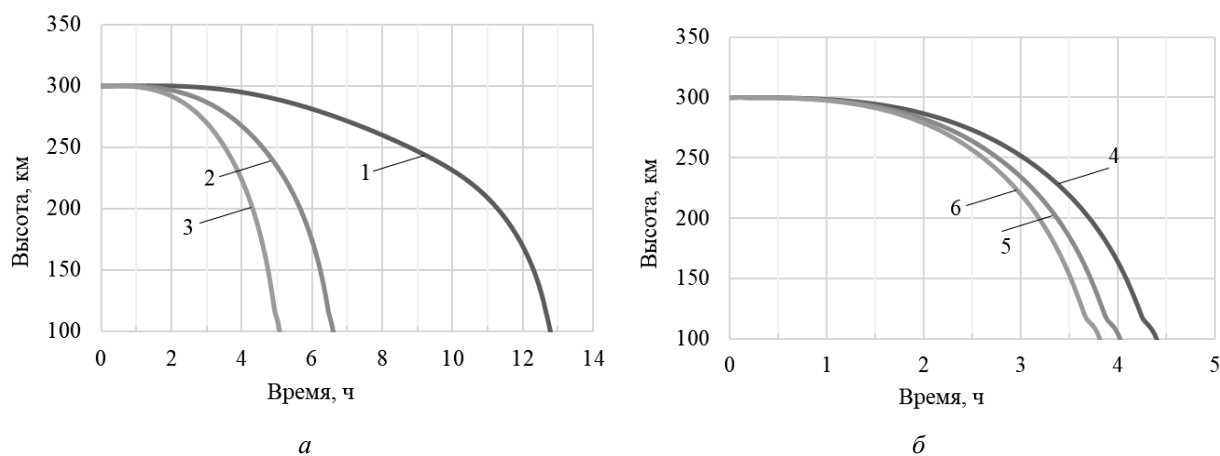


Рис. 2. Продолжительность спуска спутника CubeSat 2U в плотные слои атмосферы от диаметра оболочки НТУ:
 1 – 1 м; 2 – 2 м; 3 – 3 м; 4 – 4 м; 5 – 5 м; 6 – 6 м

Для гарантированного увода спутника оболочка НТУ должна сохранять свою форму и размеры до некоторой критической высоты, на которой произойдет ее разрушение под действием потоков теплового излучения от Солнца, Земли и конвективного нагрева в разреженной атмосфере. В результате численного моделирования определена температура разрушения для оболочки НТУ из полиимидной (ПИ) и полиэтилентерефталатной (ПЭТФ) пленки, с металлизацией и без покрытия для двух видов орбит (см. таблицу).

Высота разрушения оболочки НТУ

Конфигурация	Высота разрушения, км
Орбита в плоскости терминатора, пленка ПИ металлизированная	135
Орбита в плоскости терминатора, пленка ПИ без покрытия	124
Орбита с теневым участком, $i = 55^\circ$ пленка ПИ металлизированная	136
Орбита теневым участком, $i = 55^\circ$ пленка ПИ без покрытия	124
Орбита с теневым участком, $i = 55^\circ$ пленка ПЭТФ металлизированная	136
Орбита с теневым участком, $i = 55^\circ$ пленка ПЭТФ без покрытия	180

Выполненные исследования служат основой для выбора рациональных конструктивно-технологических решений нового поколения малых космических аппаратов. Работы будут продолжены в рамках Передовой инженерной школы МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Библиографические ссылки

1. Каширин А. В., Глебанова И. И. Анализ современного состояния рынка наноспутников как подрывной инновации и возможностей его развития в России // Молодой ученый. Экономика и управление. 2016. № 7 (111). С. 855–867.
2. Устройство аэродинамической системы увода малого космического аппарата с орбиты / А. В. Крестина, И. С. Ткаченко, С. С. Волгин, М. А. Иванушкин // Инженерный журнал: наука и инновации. 2022. № 1(121). 15 с.

© Абрамова Е. Н., Резник С. В., 2023

УДК 004.77

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ФУНКЦИЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТЕКА RESHUCUBE

Н. Д. Кустов

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: kustovnd@sibsau.ru

В данной работе показаны реализации некоторых прикладных функций, которые могут быть применены в интегрированной космической сети. Представленные функции реализованы в сетевом стеке ReshUCube с применением протокола CoAP.

Ключевые слова: кубсат, интегрированная сеть, CoAP, малые космические аппараты.

В настоящее время СибГУ им. М. Ф. Решетнева реализует несколько космических миссий малых космических аппаратов (МКА) типа CubeSat – ReshUCube. Приоритетным направлением развития в данной области является формирование группировок МКА, межспутниковое взаимодействие и интеграция с наземными сетями. В связи с этим ранее была предложена сетевая архитектура и стек сетевых технологий [1], объединяющий в себе: технологию LoRa, стандарт 6LoWPAN, некоторые уровни стека TCP/IP и облегченные прикладные протоколы.

Целью данной работы является демонстрация прикладных функций интегрированной космической сети, которые могут быть реализованы средствами предложенного сетевого стека. Ключевым прикладным протоколом в данном случае является RESTful протокол CoAP [2]. На транспортном уровне используется протокол UDP, на сетевом – IPv6.

Для демонстрации использовался тестовый стенд, состоящий из нескольких узлов: управляющий узел (персональный компьютер), граничный маршрутизатор, узел ReshUCube. К управляющему узлу подключается граничный маршрутизатор, создается виртуальный туннельный интерфейс, выполняющий преобразование на границе TCP/IP-сети и сети ReshUCube. Функционирование протокола CoAP на управляющем узле обеспечивается Python-программой при подключении библиотеки «AioCoap». Сетевые функции остальных узлов обеспечиваются средствами операционной системы RIOT.

Прикладные функции получения телеметрии реализованы через CoAP GET: /sensors/bat – получить текущее напряжение на батарее (в мВ); /sensors/light – получить данные с датчика освещенности; /led – получить текущее состояние светодиода. Командные функции реализованы через CoAP POST, например, POST «0..1» /led – отключение/включение светодиода. Функция получения фото наиболее сложная и включает последовательность запросов и ответов. UML-диаграмма процесса приведена на рис. 1. Сам процесс загрузки фото показан на рис. 2.

Таким образом, в результате работы показано, что предложенный стек сетевых технологий может обеспечить прикладные функции интегрированной космической сети при

использовании стандартных протоколов и средств. Полученные результаты будут использованы в рамках космической миссии ReshUCube-3¹.

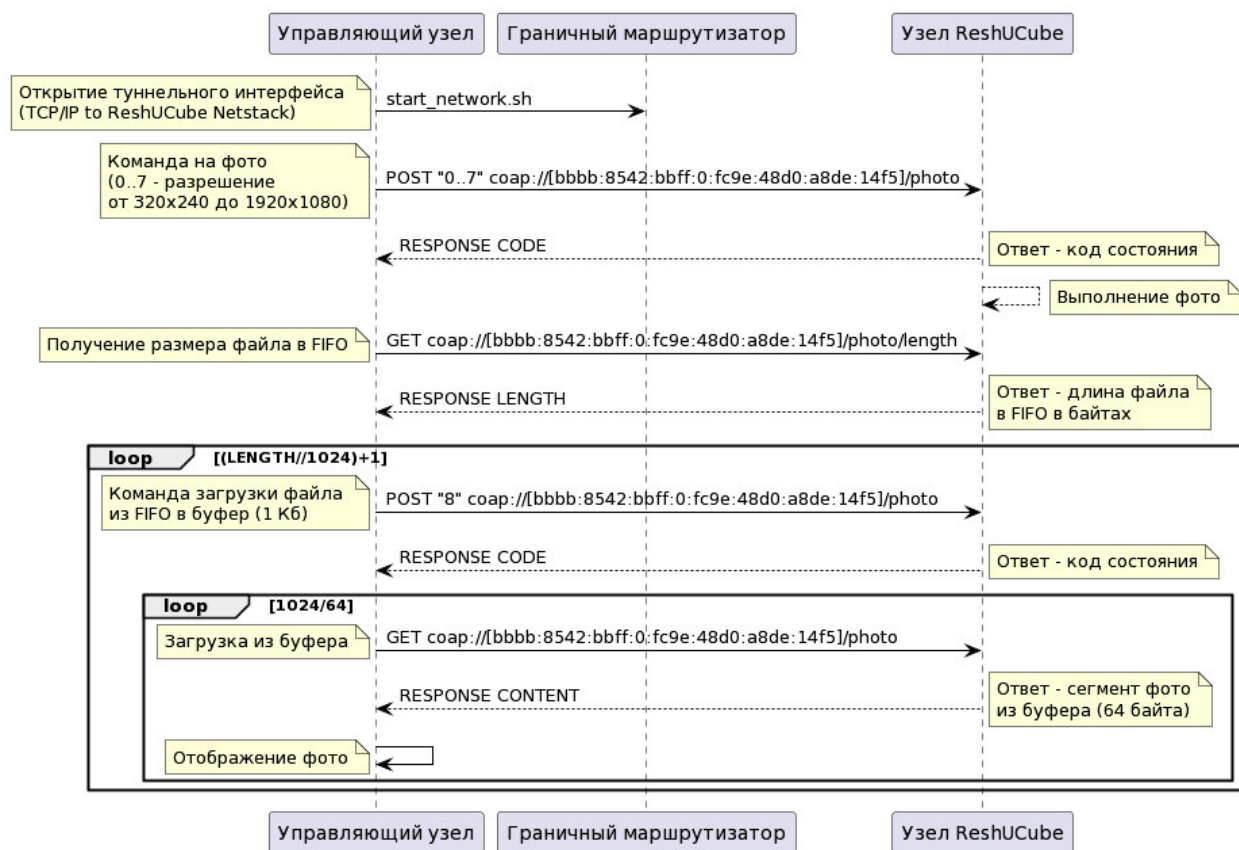


Рис. 1. Диаграмма последовательности процесса получения фото

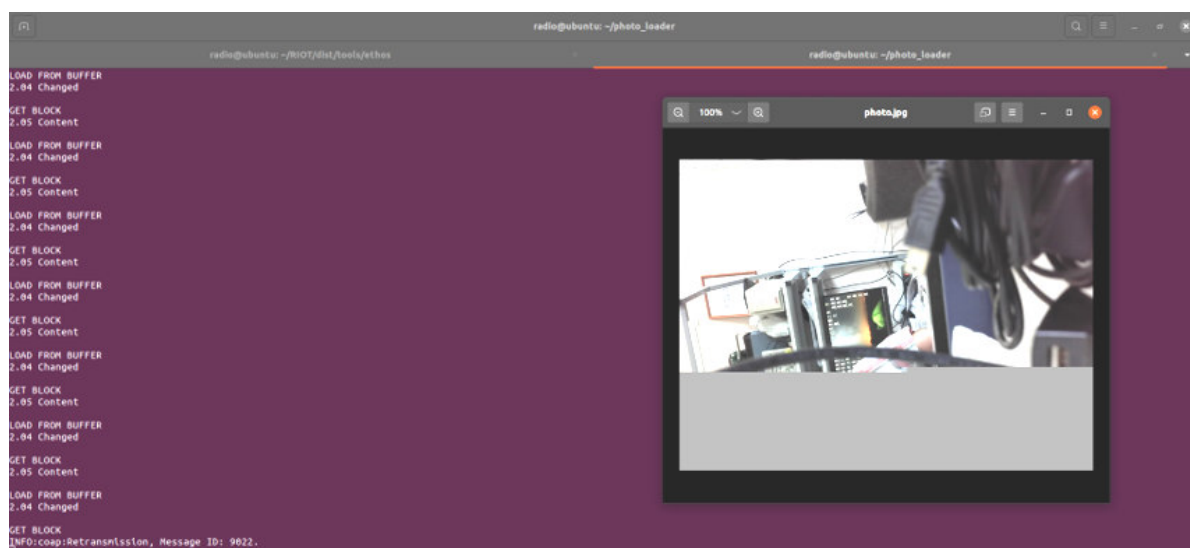


Рис. 2. Демонстрация процесса получения фото

¹ Работы по осуществлению космических миссий проводятся при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (договор № 126С2/МОЛ/84929 от 31.03.2023 «Космическая миссия ReshUCube-3») и Благотворительного Фонда имени Хазрета Совмена.

Библиографические ссылки

1. Кустов Н. Д., Евдокимов К. С., Шахматов А. В. Интегрированная космическая сеть: обоснование архитектурных и технических решений космической миссии ReshUCube-2 // Сибирский аэрокосмический журнал. 2023. Т. 24, № 2. С. 260–272. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-2-260-272.
2. Shelby Z., Hartke K., Bormann C. The Constrained Application Protocol (CoAP), RFC 7252, DOI 10.17487/RFC7252, June 2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc7252> (дата обращения: 05.01.2023).

© Кустов Н. Д., 2023

УДК 52-323.8

ПОСТРОЕНИЕ ФОРМАЦИИ НАНОСПУТНИКОВ МЕТОДОМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В РАМКАХ КОСМИЧЕСКОЙ МИССИИ RESHUCUBE-3*

М. М. Лукьянов, Д. М. Зуев

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: mishka.1255555@mail.ru

Рассмотрена возможность построения формации наноспутников с применением дифференциальной аэродинамической силы. Выделены этапы и принципы сбора и поддержания конфигурации из четырех аппаратов CubeSat разного форм-фактора.

Ключевые слова: спутниковая формация, аэродинамическое управление, CubeSat.

Спутниковые формации – класс многоспутниковых систем, предполагающим наличие контроля относительного положения космических аппаратов (КА). Космические миссии такого рода необходимы для реализации задач, требующих поддержания определенной дистанции между КА. К примеру, для построения сети межспутниковых коммуникаций. Тенденция развития малых космических аппаратов (МКА), имеющих ограничения по массе и энергии, объясняет интерес к применению аэродинамического управления для контроля относительного движения спутников. В данной работе рассматриваются основные аспекты построения и поддержания формации наноспутников CubeSat [1] посредством активного аэродинамического управления в рамках миссии ReshUCube-3.

В качестве управляющего воздействия в данном методе выступает дифференциальная сила сопротивления [2]. Ее наличие приводит к разности темпов снижения спутников, которая вызывает их относительный дрейф вдоль орбиты. Регулировать аэродинамическое воздействие на КА можно путем изменения его режима ориентации относительно направления движения, меняя тем самым площадь поперечного сечения. Реализация данной схемы управления предполагает наличие активной системы ориентации и стабилизации [3].

Наноспутники обычно запускаются в качестве попутной нагрузки и выводятся на орбиту при помощи специальных транспортно-пусковых контейнеров (ТПК). Для обеспечения несоударения CubeSat отделяются от ТПК с разницей во времени и с разной скоростью. Таким образом, после запуска спутники движутся по близким орбитам, но свободно расходятся вдоль них за счет разности орбитальной высоты.

Рассмотрим этапы сбора формации на примере пары спутников. Чтобы остановить их расхождение вдоль орбиты, для начала необходимо выровнять величины их орбитальных периодов. Для этого следует замедлить снижение КА, выведенного на более низкую орбиту, переведя его в режим ориентации с минимальным лобовым сопротивлением.

* Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «Дежурный по планете» (Space Pi) 14-й очереди. Проект «Космическая миссия ReshUCube-3», договор № 126С2/МОЛ/84949 от 31.03.2023.

На второй стадии требуется снизить межспутниковое расстояние, сохраняя режимы ориентации обоих спутников из первого этапа. При этом спутники будут сближаться за счет возникающей разницы орбитальных периодов.

В заключении следует провести повторное выравнивание орбитальных периодов. Момент выравнивания должен совпасть с достижением заданного межспутникового расстояния.

Для поддержания сформированной спутниковой конфигурации аппараты должны иметь одинаковые темпы снижения. Они определяются баллистическим коэффициентом B_C , отражающим отношение массы тела от его миделевой площади A . В целях оптимизации расходов энергии рационально выполнять поддержание формации в режиме свободной ориентации, которому соответствует усредненное эффективное значение A .

Миссия ReshUCube-3 предполагает наличие трех CubeSat 1U с раздвижными солнечными панелями и одного 3U. Для них определены наиболее легко реализуемые режимы ориентации, подобраны массы, обеспечивающие равенство B_C , и проведены расчеты соответствующих величин A и B_C (табл. 1).

Значения баллистических параметров CubeSat при стабильных режимах ориентации

Форм-фактор	Масса, кг	Величина	Режим аэродинамического сопротивления		
			Минимальное	Промежуточное	Максимальное
1U	2,0	Площадь миделя, см ²	100	202	300
3U	3,5		100	300	353
1U	2,0	Баллистический коэффициент, кг/м ²	91,0	45,1	30,3
3U	3,5		159,1	53,0	45,1

Согласно таблице, большей вариативности управления можно добиться при запуске спутника 3U на более низкую орбиту.

На данном этапе проектирования орбитального движения аппаратов миссии ReshUCube-3 выработаны принципы выбора баллистических параметров, обеспечивающих возможность стабилизации межспутникового расстояния, проведено моделирование различных сценариев группового запуска и сбора спутников в формацию.

Библиографические ссылки

1. CubeSat Design Specification [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cubesat.org/cubesatinfo/> (дата обращения: 02.09.2023).
2. Андриевский Б., Кузнецов Н., Попов А. Алгоритмы аэродинамического управления относительным движением двух спутников по околокруговой орбите // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2020. № 4. С. 28–58.
3. Xia X., Sun G., Zhang K et al. NanoSats/CubeSats ADCS survey // 29th Chinese Control And Decision Conference. Chongqing, 2017. P. 5151–5158. Doi: 10.1109/CCDC.2017.7979410 (дата обращения: 02.09.2023).

© Лукьянов М. М., Зуев Д. М., 2023

УДК 681.3:629.7

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СЕМЕЙСТВА КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ ReshUCube*

В. Х. Ханов¹, А. В. Шахматов, Д. М. Зуев, С. А. ЧекмарёвСибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

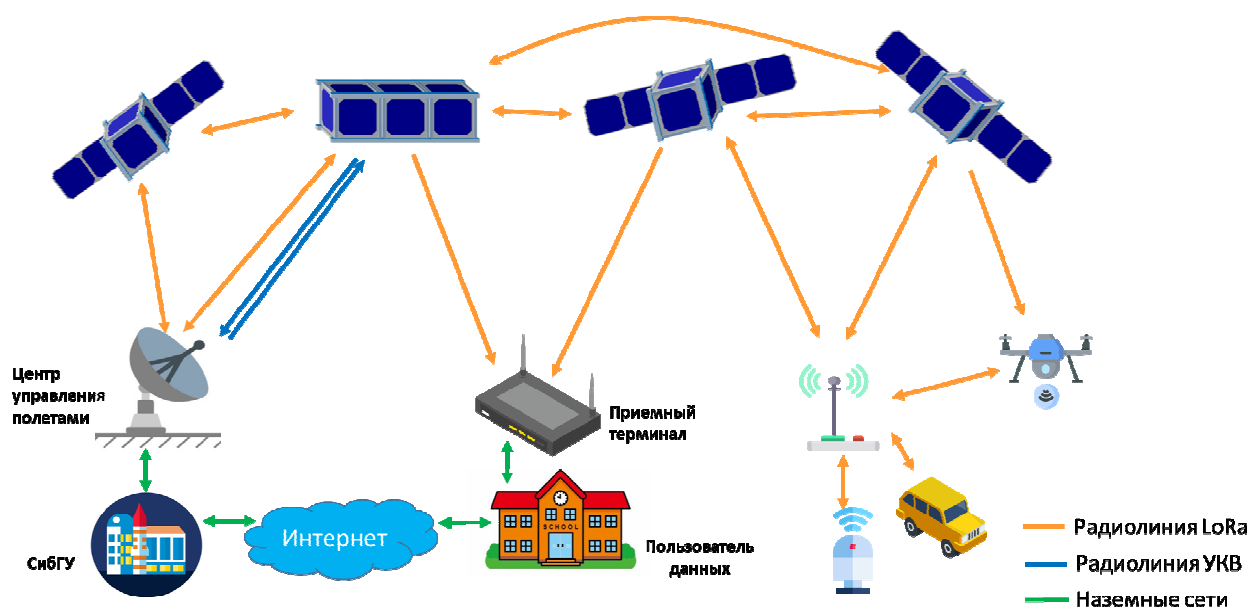
¹E-mail: khvkh@mail.ru

Рассмотрены результаты предыдущих космических миссий ReshUCube, и представлена концепция дальнейшего развития спутникостроения малых космических аппаратов нанокласса в СибГУ им. М. Ф. Решетнева.

Ключевые слова: наноспутники, наноспутники семейства ReshUCube.

СибГУ им. М. Ф. Решетнева с 2020г. развивает программу спутникостроения малых космических аппаратов класса Кубсат. За это время осуществлены работы по проектированию, изготовлению и запуску двух космических миссий ReshUCube-1 и ReshUCube-2, проводятся работы по осуществлению космической миссии ReshUCube-3.

Космическая миссия ReshUCube-1 решала задачу реализации концепции конфигурируемой полезной нагрузки (конфигурируемой космической лаборатории). Наноспутник ReshUCube-1 находится на стадии эксплуатации и, в целом, решает возложенные на него функции [1].



Структура экспериментальной интегрированной сети миссии ReshUCube-3

* Работы по осуществлению космических миссий проводятся при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (договор № 126С2/МОЛ/84929 от 31.03.2023 «Космическая миссия ReshUCube-3») и Благотворительного Фонда имени Хазрета Совмена.

Космические миссии ReshUCube-2 и 3 посвящены реализации концепции интегрированной сети передачи данных в космическом и наземном сегменте, включая и межспутниковое взаимодействие аппаратов на орбите [2]. Базой такой сети является технология LoRa, поверх которой работает сетевой уровень 6LoWPAN, что вместе обеспечивает низкоскоростную сеть IPv6 на дальности между спутниками до 1000 км. ReshUCube-2 предназначен для летной отработки некоторых ключевых аппаратных и программных элементов интегрированной сети. Наноспутник ReshUCube-2 запущен находится на стадии летных испытаний, через некоторое время будет осуществлен переход к предусмотренной программе работ по тестированию разработанных технических решений.

Космическая миссия ReshUCube-3 предназначена для создания экспериментальной интегрированной сети из 4-х наноспутников (см. рисунок выше).

Считая оба представленных направления перспективными и сохраняя принцип преемственности лаборатория МКА СибГУ им. М. Ф. Решетнева полагается, что на среднесрочную перспективу основной темой работы должна стать интегрированная сеть передачи данных в космическом и наземном сегменте на базе реализации концепции конфигурируемых платформы и полезной нагрузки.

Библиографические ссылки

1. Предварительные результаты космической миссии ReshUCube-1 / В. Х. Ханов, Д. М. Зуев, А. В. Шахматов [и др.] // Решетневские чтения : материалы XXVI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева, Красноярск, 09–11 ноября 2022 года. Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2022. С. 452–454.

2. Кустов Н. Д. Применение концепций интегрированной космической сети и интернета транспортных средств // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, 2022. С. 378–382.

© Ханов В. Х., Шахматов А. В., Зуев Д. М., Чекмарёв С. А., 2023

УДК 374.14

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА RESHUCUBE-1 ЗА ПЕРВЫЙ ГОД РАБОТЫ НА ОРБИТЕ*

О. Е. Шимова¹, Д. Д. Великанов, М. М. Лукьянов,
В. В. Учеватов, Д. М. Зуев

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
¹E-mail: oksanaagafonova3@gmail.com

В данной публикации рассматриваются результаты работы с космическим аппаратом ReshUCube-1 за первый год работы на орбите.

Ключевые слова: космос, спутник, ReshUCube, телеметрия, эксплуатация.

Общие сведения о КА. 9 августа 2023 года прошёл ровно год с запуска спутника ReshUCube-1. Космический аппарат (далее – КА) имеет небольшие размеры (10×10×34 см) и относится к формату Cubesat 3U. Миссией спутника является проведение научно-образовательных экспериментов, а также летная отработка концепции реконфигурируемой лаборатории с возможностью загрузки нового программного обеспечения (далее – ПО) в процессе полёта [1].

Полезная нагрузка (ПН) для спутника была разработана лабораторией «Малые космические аппараты» (далее – МКА) Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева (далее – СибГУ). Она имеет в своём составе различные научные приборы и датчики, позволяющие выполнять задачи космической лаборатории: наблюдение за земной поверхностью, мониторинг радиационной обстановки на орбите, технологические эксперименты, изучение атмосферы и магнитосферы Земли, стойкость электронных компонентов в космическом пространстве [2]. Служебная платформа ReshUCube-1 разработана компанией ООО «СПУТНИКС». Проект был реализован в рамках проекта «Space Pi» программы «Дежурный по планете» Фонда содействия инновациям [2].

Немного в числах. За год работы на околоземной орбите КА пролетел около 250 млн. км. Операторы Студенческого центра управления полётами (далее – СЦУП) провели около 2 тысяч сеансов со спутником, причём из этого числа около 200 сеансов было проведено через наземную станцию ГАНУ РЦ РС(Я) «Малая академия наук РС(Я)» г. Якутска (далее – МАН) [3]. Количественный охват образовательных мероприятий со школьниками составил около 1000 человек.

Летные операции. Неполадок в аппаратуре на борту КА, сбоев в ПО за эксплуатационный период выявлено не было. Работа с КА ведётся штатно. Эффективно организовано взаимодействие лаборатории МКА и СЦУП. Работа операторов и наземного оборудования СЦУП позволяет использовать все возможные сеансы связи с КА. Количество сеансов удалось увеличить за счёт дистанционной работы через наземную станцию МАН, терри-

* Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «Дежурный по планете» (Space Pi) 6-й очереди («Космическая миссия ReshUCube», договор № 71C2/МОЛ/71271 от 29.11.2021).

ториально расположенной в городе Якутск. Освоены и регулярно выполняются регламентные работы со спутниковой платформой.

Результаты экспериментальной программы. За всё время эксплуатации производился сбор следующих научных данных: напряженность магнитного поля Земли, температурные данные работы аппаратуры на борту КА, технические параметры служебной платформы КА, снимки различных территорий Земли.

Хранение и обработка телеметрии. Все проводимые сеансы связи логируются для возможности дальнейшего более тщательного изучения состояния и поведения КА. Для удобства обработки телеметрии был разработан прототип базы данных, где реализованы функции сортировки, отбора по различным критериям, построение графиков и выгрузка данных в удобном формате для дальнейшей обработки.

Образовательные программы, реализуемые на основе данных КА. На сегодняшний день СибГУ активно работает со школьниками и студентами. Проводится трёхлетней образовательная программы ReshUSpace, на которых школьники обрабатывают реальные телеметрические данные КА. Организованы экскурсии в СЦУП с проведением сеанса связи с КА. Сотрудниками лаборатории МКА и студентами СибГУ разработана база различных методических материалов, позволяющих эффективно проводить мероприятия по работе со школьниками. Проводятся курсы для студентов Университета и технические школы.

Планы. Основным сдерживающим фактором дальнейшего развития является отсутствие сжатия данных и их организованного хранения собираемых данных. В связи с этим ведутся работы по разработке ПО для ПН, реализующего функции хранения, накопления, сортировки данных (бортовая база данных), а также скрипты для работы с снимками на борту – сжатие, кадрирование необходимых частей снимка для загрузки в первоначальном качестве. Требуется также накопление опыта работы с системой ориентации стабилизации для получения снимков необходимой местности.

На данный момент проводится модернизация образовательных программ в СибГУ с учетом опыта эксплуатации и полученных научных данных. Планируется проводить такую модернизацию рабочих программ дисциплин на регулярной основе.

Библиографические ссылки

1. Ханов В. Х., Зуев Д. М., Шахматов А. В. Реализации полезной нагрузки наноспутника ReshUCube-1 как реконфигурируемой космической лаборатории // Решетневские чтения. 2021. Т. 1. С. 418–419.
2. ReshUCube-1 Университета Решетнева [Электронный ресурс]. URL: <https://reshucube.ru/> (дата обращения: 07.09.2023).
3. Научно-образовательный проект Space Pi [Электронный ресурс]. URL: <https://www.space-pi.ru/> (дата обращения: 07.09.2023).

© Шимова О. Е., Великанов Д. Д., Лукьянов М. М.,
Учеватов В. В., Зуев Д. М., 2023

Круглый стол
«СОЗДАНИЕ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА
В ОРГАНИЗАЦИЯХ ГОСПОРКОРАЦИИ „РОСКОСМОС“.
МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ КООПЕРАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ, УНИВЕРСИТЕТОВ,
НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ И МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ»

УДК 334.025

АКСЕЛЕРАТОР ПАО «РКК «ЭНЕРГИЯ». ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

П. М. Красноперов, М. В. Черемисин

Публичное акционерное общество
«Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва»
Российская Федерация, 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4а
E-mail: accel@rsce.ru

РКК «Энергия» (входит в Госкорпорацию «Роскосмос») стала еще одной компанией в России, которая запустила с 2022 года на постоянной основе корпоративную акселерационную программу. Особенностью первого конкурсного отбора стала студенческая, вузовская направленность поиска проектов, а также внутренних идей от проактивных сотрудников компании.

Ключевые слова: корпоративный акселератор, инновации, конкурс, отбор, высшее учебное заведение.

При запуске первого корпоративного акселератора ПАО «РКК «Энергия» был выбран основной ориентир на студенческие сообщества и научные команды с наставниками, которым интересна возможность уже во время учебы в вузе начать реализовать свои идеи с помощью ресурсов крупного производственного предприятия. Свою выгоду, безусловно, преследует и наша компания. Нам становятся доступны новые интересные идеи, зарождающиеся в молодежной среде и сами кадры готовые их воплощать в жизнь. Задачи, связанные с покорением космоса, освоением планет Солнечной системы, всегда были интересны молодежи. Спрос на космическое образование остается высоким и сегодня. На вход конкурсного отбора акселератора поступило 49 проектов по заранее определенным четырнадцати направлениям. Вовлекая нашу компанию в методичную работу с элементами «открытых инноваций», для первого раза был выбран широкий фронт направлений поиска, пересекающийся с научными школами предприятия (секции НТС) и задачами диверсификации. Больше всего проектов пришло по направлениям «Двигатели, двигательные установки и энергетические установки» (10 шт.) «Производство и технологии» (7 шт.).

В рамках мероприятий по подготовке акселератора была проведена большая работа по формированию пула внутренних экспертов, силами собственных подразделений был разработан сайт и автоматизированная система сбора и обработки заявок.

Старт конкурсному отбору был дан символично 12 апреля, в главный день для отечественной космической отрасли. Конкурс проходил в три этапа. Подача заявок была ограни-

чена до 12 августа через личный кабинет на сайте accel.energia.ru, была продлена на один месяц, в том числе для дополнительного информационного повода.

На втором этапе проводилась предметная экспертиза заявок и их отбор для акселерации с заслушиванием проектов по видеоконференцсвязи перед экспертами направлений.

Для авторов проектов, прошедших на третий этап, было организовано тематическое обучение от партнёров с получением сертификата при удачном прохождении испытаний.

Конкурс завершился защитой финалистов на итоговом мероприятии – демо-дне, на котором участники представили окончательные версии своих проектов комиссии. Были определены четыре команды-призёра, две из которых поделили третье место. Первое место получил проект студентов и научных сотрудников МГТУ им. Н. Э. Баумана, второе – сборная команда студентов МГТУ им. Н. Э. Баумана, МФТИ, МГУ. Третье место поделили два внутренних проекта РКК «Энергия». Денежный призовой фонд был распределён по всем командам в следующем порядке: 1-е место – 1 млн руб., 2-е – 700 тыс. руб., 3-е – по 500 тыс. руб.

Часть проектов, которые не вошли в призовую тройку, были взяты на сопровождение для их проработки в интересах корпорации, в том числе совместно с вузами, к которым они имеют отношение.

Предварительные итоги работы акселератора в ПАО «РКК «Энергия» демонстрируют заданный курс по выстраиванию новых механизмов и процессов инновационной деятельности компании, в том числе в экспериментальном режиме.

Библиографические ссылки

1. Бирман Л. А., Кочурова Т. Б. Стратегия управления инновационными процессами : учебное пособие ; Акад. нар. хоз-ва при Правительстве РФ. Москва : Дело, 2010. 141 с. (Образовательные инновации).
2. Федеральный проект Платформа университетского технологического предпринимательства. Режим доступа: <https://univertechpred.ru/> (дата обращения: 15.07.2023).
3. Акселераторы федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства». Режим доступа: <https://pt.2035.university/accelerator> (дата обращения: 15.07.2023).

© Красноперов П. М., Черемисин М. В., 2023

УДК 378.2

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ФИЗТЕХ-ШКОЛЫ
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПЫТ СОВМЕСТНЫХ НИОКР
С ПРЕДПРИЯТИЯМИ ГК «РОСКОСМОС»**

А. С. Кузьмичев, М. В. Рыжаков, С. С. Негодяев

Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)
Российская Федерация, 141701, Московская область, г. Долгопрудный,
Институтский переулок, 9
E-mail: kuzmichev.as@mipt.ru

В докладе изложены основы формирования и внедрения образовательных программ по космической тематике, реализующихся в МФТИ в настоящее время. Одновременно, планируется рассказать об опыте последних лет по выполнению в стенах ВУЗа масштабных НИОКР по заказам предприятий ГК «Роскосмос».

Ключевые слова: модернизация образовательного процесса, студенческое конструкторское бюро, моделирование многоспутниковых группировок, дистанционное зондирование земли.

В докладе будут отмечены особенности построения образовательного процесса в области аэрокосмических технологий, начиная со старших классов школы, посредством проведения тематических олимпиад и выездных конференций с целью популяризации, поиску и поддержки интересующихся молодых людей. На втором этапе подготовки кадров на наш взгляд, МФТИ удастся совмещать классическую фундаментальную физико-математическую и инженерную подготовку, с запросами студентов младших курсов о погружении в специальность буквально с 2–3 курса, а также менторству со стороны аспирантов и молодых ученых, вовлеченных в актуальные научные и промышленные задачи.

Кроме этого, при поддержке ректората, в последние 7–8 лет, есть возможность формирования гибкого учебного плана для каждого студента, обеспечивающего широкий выбор карьерных траекторий посредством, в том числе и проектного обучения в рамках выполнения НИР на базе институтских лабораторий и научных партнеров вуза.

В последние годы, в связи с расширением возможностей МФТИ в части использования уникального научного оборудования, модернизации опытно-производственной базы, на базе факультетских кафедр стали открываться тематические лаборатории для реализации НИОКР по заказам предприятий ГК «Роскосмоса», ФПИ и ряда негражданских заказчиков. Таким образом, начиная с 2015 года сотрудниками лабораторий физтех-школы аэрокосмических технологий были выполнены или выполняются по заказу следующих предприятий: АО «ЦНИИМАШ» (СЧ НИР «Норма», НИР «Лазер-П», СЧ НИР «Млечный путь-проект-МФТИ»), ПАО «РКК «Энергия» (СЧ ОКР «Научная аппаратура «Гиперспектрометр»), АО «НПК «СПП» (СЧ ОКР «Виртуальный полигон»).

Одновременно, стоит отметить, что при поддержке ГК «Роскосмос», в ходе реализации СЧ НИР «Млечный путь-проект-МФТИ», под началом нашего вуза выполняются работы в кооперации с опорными вузами ГК «Роскосмос» – МГУ, МГТУ им. Н. Э. Баумана, МАИ.

© Кузьмичев А. С., Рыжаков М. В., Негодяев С. С., 2023

УДК 65.132

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ НИОКТР НА ОСНОВЕ ОПЫТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УНИВЕРСИТЕТА И ОРГАНИЗАЦИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

А. В. Шишмарёва

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

Представлено краткое описание практического опыта реализации НИОКТР СибГУ им. М. Ф. Решетнева по заказу предприятий ракетно-космической отрасли (РКО), приведен перечень текущих направлений научных исследований, а также выявлены резервы повышения эффективности НИОКТР на основе имеющегося опыта.

Ключевые слова: ракетно-космическая отрасль, научно-технический задел, эффективность НИОКТР.

Согласно действующей Концепции технологического развития до 2030 года Россия стоит на пути создания массового и широкого производства высокотехнологичной продукции, а также стремится к формированию собственной научной, кадровой и технологической базы критических и сквозных технологий в наукоемких отраслях экономики [1]. Ракетно-космическая промышленность – это часть оборонно-промышленного комплекса страны, специализирующаяся на научной разработке и производстве ракетного оружия, космической техники, обеспечении ими Вооружённых Сил и других вооружённых формирований государства [2]. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) в ракетно-космической отрасли (РКО) – это особый тип производства, созданный для обеспечения научно-технического прогресса и развития промышленности страны [3]. Методология оценки эффективности НИОКР имеет коммерческую направленность и учитывает экономические, социальные, экологические и другие цели и интересы заказчика. Эффективность НИОКТР должна прогнозироваться на стадии формирования идеи на проведение научной разработки и разработки плана НИОКР [4].

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева – первый опорный университет Восточной Сибири, миссия которого заключается в обеспечении опережающего социально-экономического развития региона за счет подготовки высококвалифицированных кадров и проведения фундаментальных и прикладных научных исследований в области передовых технологий наукоёмкого и высокотехнологического производства. Приоритетными направлениями научно-исследовательской и образовательной деятельности университета в ракетно-космической отрасли являются: системы космической связи, навигации, геодезии; полимерные композиционные материалы; крупногабаритные трансформируемые конструкции из ПКМ; аддитивные технологии; цифровые двойники; новые биоразлагаемые полимеры; искусственный интеллект, большие данные; машинное обучение; моделирование сложных технических систем.

СибГУ им. М. Ф. Решетнева имеет многолетнюю практическую историю в области взаимодействия с предприятиями ракетно-космической отрасли: АО «РЕШЕТНЁВ», АО «Красмаш», АО НПП «Радиосвязь» и др. в сфере выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, государственного оборонного заказа, а также работ

по договорам подряда. Основным заказчиком научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ является АО «РЕШЕТНЁВ». С 2015 года по настоящее время реализовано более 15 проектов НИОКТР в рамках гособоронзаказа.

АО «РЕШЕТНЁВ» и СибГУ им. М. Ф. Решетнева в 2021 году заключили соглашение о стратегическом взаимодействии на предмет совместной деятельности в области реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведения совместных конференций, семинаров, выставок, конкурсов, реализации образовательных программ и программ повышения квалификации сотрудников и практической подготовки обучающихся. В настоящее время сотрудничество осуществляется по актуальным темам, в рамках которых научные и научно-исследовательские лаборатории, а также студенческие, образовательные и производственные подразделения университета вовлечены в реализацию НИОКТР по заказу АО «РЕШЕТНЁВ».

Наиболее значимыми и масштабными проектами, реализуемыми в настоящий момент, являются СЧ ОКР «Мембрана-СибГУ», СЧ ОКР «Оптика-ТДК-СГУ», СЧ ОКР «СКИФ», СЧ ОКР «Марафон». Реализация данных проектов стала возможна на основе формирования предметной исследовательской базы, проведения научно-исследовательских работ с перспективой их коммерциализации под конкретного заказчика и вовлечения в процесс работ высококвалифицированных кадров – сотрудников университета и партнеров.

Таким образом, можно выявить следующие резервы повышения эффективности реализации НИОКТР в ракетно-космической отрасли.

- Кадровый – выявление перспективных исследователей, R&D, СИ, формирование команд.
- Производственно-технологический – повышение уровня загруженности производственных мощностей, создание центров коллективного пользования.
- Инвестиционный – использование грантов, государственного задания и средств заказчиков как инструмент формирования перспективного научно-технического задела.
- Инновационный – проведение опережающих патентных исследований, получение РИД, формирование НТЗ.
- Коммуникативный – налаживание коопераций, проведение презентационных мероприятий.
- Организационный – совершенствование системы организации НИОКТР и передачи результатов, ведение баз данных.

Реализация данных принципов направлена на повышение эффективности проведения исследований и разработок, что в свою очередь, отвечает требованиям Концепции технологического развития России и принципам устойчивого развития наукоёмких отраслей.

Библиографические ссылки

1. Концепция технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (Распоряжение от 20 мая 2023 года № 1315-п). URL: <http://static.government.ru/media/> (дата обращения 03.09.2023).
2. Энциклопедия Министерства обороны Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details_rvs.htm?id=14452 (дата обращения 03.09.2023).
3. Романов В. М., Кузнецова А. Ю. Экономические аспекты управления НИОКР в ракетно-космической отрасли [Текст] // Электронный журнал «Труды МАИ». Вып. № 59. URL: https://agat-roskosmos.ru/upload/docs/11elibrary_41441337_66062911.pdf (дата обращения 05.09.2023).
4. Экономика космоса [Электронный ресурс]. 2022. № 1(1). URL: <https://agat-roskosmos.ru/upload/iblock/127/1277437cb941a263516986787a78c814.pdf> (дата обращения 02.09.2023).