

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
«КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА,
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ
И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ»
ИМ. А.Г. ИОСИФЬЯНА»
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»)
ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ. ТРУДЫ ВНИИЭМ



Главный редактор:

доктор техн. наук, профессор
В. Я. ГЕЧА

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, доцент **А. Б. Захаренко**
(зам. главного редактора),
кандидат техн. наук **Э. В. Гаджиев**,
кандидат техн. наук **С. А. Золотой**
(Республика Беларусь),
доктор техн. наук **А. С. Исхаков**,
доктор техн. наук **Н. Д. Карачун**,
доктор воен. наук,
кандидат техн. наук **Н. О. Кобельков**,
доктор техн. наук **И. В. Минаев**,
доктор техн. наук **Е. В. Овчинникова**,
доктор физ.-мат. наук,
академик РАН **А. А. Петрукович**,
доктор техн. наук **А. П. Сарычев**,
доктор техн. наук **Н. И. Сидняев**,
доктор физ.-мат. наук,
кандидат хим. наук **А. П. Тютнев**,
доктор техн. наук **А. Ю. Федотов**,
кандидат техн. наук **А. Л. Чуркин**,
отв. секретарь редколлегии **О. А. Чунихина**

Ответственный редактор:

доктор техн. наук **А. Б. Захаренко**

МАТЕРИАЛЫ
тринадцатой международной
научно-технической конференции

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ



МОСКВА 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Вступительное слово П. С. Филиппов	10
Национальный проект «Космос» и перспективы развития орбитальной группировки космических аппаратов ДЗЗ Госкорпорация «Роскосмос»	12
120 лет со дня рождения А. Г. Иосифьяна – основателя и первого директора ВНИИЭМ А. Л. Чуркин	12
Космические системы и комплексы дистанционного зондирования Земли И. Р. Халилюлин, А. Б. Желубенкова	12
Применение государственной системы космического мониторинга Росгидромета для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды В. В. Асмус, С. В. Тасенко, А. А. Максимов	14
Перспективные космические системы оптико-электронного и радиолокационного наблюдения И. Р. Халилюлин, А. Б. Желубенкова	16
Анализ возможности использования материалов съёмки, полученных с ОГ КА «Канопус-В», для создания национальной глобальной цифровой модели поверхности Земли О. А. Никонов	17

**СЕКЦИЯ № 1. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, БОРТОВЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ**

Развитие системы мониторинга состояния ионосферы с космических аппаратов на разных высотах орбит Н. Г. Котонаева, И. В. Романов, С. В. Журавлев, К. Г. Цыбуля	20
Концептуальная модель адаптивной системы управления элементами космической инфраструктуры, построенных по микросервисной архитектуре Д. А. Никитушин, А. Д. Никитушина, А. А. Яровиков, А. М. Сафонова	22
Вейвлет-фильтрация шумов после коррекции смаза и расфокусировки на спутниковых снимках К. И. Соколов, Н. В. Макарова	25
Направления модернизации космических средств радиометрии в интересах совершенствования технологий гидрометеорологического обеспечения И. А. Барсуков, В. В. Болдырев, М. И. Гаврилов, С. А. Гришунин, Г. Е. Евсеев, И. А. Зубков, А. М. Стрельцов, В. В. Яковлев	27
Проблемы и перспективы развития оптических средств наблюдения космических систем дистанционного зондирования Земли К. Е. Токарев, Т. В. Никольская	29
Применение принципов реализации летной годности атмосферных летательных аппаратов к вопросам обеспечения надежности космических орбитальных группировок И. В. Ашарина, В. Ю. Гришин, А. В. Орлов	32
Оценка возможности использования КА мониторинга околоземного космического пространства для получения съемочной информации ДЗЗ С. А. Архипов, В. Я. Геча, С. А. Новоселов	35
Применение оптической космической системы «Млечный путь» для дистанционного зондирования Земли Ю. А. Рой, В. Ф. Боровский, Ю. Г. Сухой, Т. В. Никольская	37

Создание малогабаритных квантово-оптических средств измерений текущих навигационных параметров космических аппаратов дистанционного зондирования Земли К. Е. Токарев	40
Алгоритмы взаимного информационного согласования в системах управления орбитальными группировками космических аппаратов И. В. Ашарина	43
Радиовидимость космических аппаратов группировки, размещенной на круговой орбите И. В. Ашарина	46
Современное состояние отечественных ПЗС и КМОП фотоприемников космического назначения Г. И. Вишневский, М. Г. Выдревич, А. Г. Попов, М. В. Четвергов	49

СЕКЦИЯ № 2. КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ, СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ И АНТЕННЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Применение двигателей Д-18 и СПД-50М для ЭРДУ МКА. Рассмотрение возможности применения криптона для функционирования ЭРДУ МКА Е. А. Яннаева, А. Ю. Чугунков, М. Ю. Берникова, С. Ю. Приданников, П. А. Дронов	52
Разработка метода выбора проектных параметров электрореактивной двигательной установки для поддержания низкой орбиты космического аппарата с использованием цифровых моделей В. В. Волоцув	54
Маневрирование разгонного блока на этапе выведения космического аппарата Н. И. Сидняев	56

Уточнение угловой ориентации и орбитального движения космического аппарата радиолокационного наблюдения Земли на основе анализа целевой информации с привлечением опорных оптико-электронных данных С. И. Гусев, В. А. Ушенкин	58
Электроракетная двигательная установка для космических аппаратов ДЗЗ М. Ю. Селиванов	60
Линза с градиентным изменением показателя преломления для проходной АФАР Е. В. Овчинникова, А. Н. Рогов	61
Моделирование вращающегося сочленения Е. В. Овчинникова, А. Д. Филимонов	63
Декодирование сверточных кодов с выкалыванием в системах спутни- ковой связи Л. Л. Кузнецов, А. Э. Москвитин	69
Улучшение коэффициента полезного действия бироторных электромашин А. Б. Захаренко, Д. Ю. Носов	70
Выбор главных размеров электродвигателя для привода беспилотного летательного аппарата А. Б. Захаренко, И. А. Тепляков	72
Результаты применения принципа подобия электрических и тепловых цепей при моделировании режимов работы электронагревателей для систем обеспечения тепловых режимов космических аппаратов Л. Н. Германов	74
Инновационные построения системы электроснабжения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли А. И. Груздев, М. С. Шевцов	76
Проблемы проектирования и подходы к созданию систем электроснаб- жения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли В. Д. Власов, А. И. Груздев, А. Б. Желубенкова, Ю. А. Иванова, Д. А. Мишуков	78

Концепция и опыт создания параметрических рядов модульных конструктивно унифицированных батарей на базе промышленных (COTS) литий-ионных аккумуляторов В. Д. Власов, А. И. Груздев, А. Б. Желубенкова, Ю. А. Иванова, Д. А. Мишуков	81
---	----

Интеллектуальный поиск технических норм: RAG-бот на базе векторных данных для инженерных задач Ю. А. Иванов	85
---	----

СЕКЦИЯ № 3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА, АРХИВАЦИИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ

Тенденция развития средств приема информации с КА ДЗЗ К. Н. Филькин, В. В. Мороз, А. К. Гончаров, В. В. Ахлынин	89
---	----

Комплекс имитационного моделирования систем спутниковой связи и дистанционного зондирования Земли А. П. Журавлев, Н. В. Покусин	91
---	----

Алгоритм управления стандартной обработкой данных ДЗЗ М. М. Егин, Г. А. Козлов, А. Е. Кузнецов, О. А. Пресняков	94
---	----

Программный комплекс для автоматизированного сличения объектов местности по данным российско-белорусской орбитальной группировки космических аппаратов ДЗЗ М. П. Богданович, К. А. Васильцов, А. А. Золотой, Е. Е. Коноплин	96
---	----

Автоматическое обнаружение дефектов размытия и смаза изображений ДЗЗ С. Д. Антонушкина, В. В. Еремеев, П. А. Князьков	99
---	----

Автоматическое выделение резких границ объектов на спутниковых снимках с использованием их структурно-нейросетевого анализа С. В. Антонушкина, С. Д. Антонушкина, М. Д. Щелкушкин	100
---	-----

Применение алгоритмов обнаружения изменений при обработке данных площадной съёмки А. С. Горобченко, М. М. Егин	102
Применение текстурного анализа для классификации объектов на радиолокационных изображениях Л. Л. Кузнецов	104
Сегментация облачного покрова на изображениях, получаемых спутником на высокоэллиптической орбите Н. А. Егошкин, А. В. Соловьев	106
Повышение точности геодезической привязки информации от спутников на высокоэллиптической орбите Н. А. Егошкин, А. В. Соловьев	107
Разработка программного обеспечения высокоскоростной автоматической нейросетевой сегментации облачности на оптических спутниковых снимках В. А. Ушенкин, С. А. Ларюков, В. А. Овчинников	109

СЕКЦИЯ № 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТРАНЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Автоматизация поиска объектов, находящихся в охранных зонах газораспределительных сетей, по данным дистанционного зондирования Земли С. С. Новиков, П. Е. Новикова	112
Опыт применения открытых информационных систем для оценки динамики развития наводнений на основе анализа разновременных мультимодальных данных дистанционного зондирования Земли из космоса А. А. Антонова, Я. В. Алексеенко, В. И. Карташев	113
Аналитика в области космической деятельности И. М. Бойко, А. А. Мацко, Д. С. Писаревский	115

Мониторинг параметров облачности, осадков и опасных явлений погоды по данным высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы «Арктика-М» Е. В. Садовникова, Е. В. Волкова, А. В. Кухарский	117
Метод структурозонального анализа и опыт его применения в дистанционном зондировании В. А. Котцов	119
Идентификация объектов дорожной сети на спутниковых снимках с использованием нейросетей и контекстной информации о наблюдаемой сцене С. В. Антонушкина, В. А. Еремеев, Е. С. Межевых	121
Обнаружение водных объектов по данным спутниковых снимков космического аппарата «Sentinel-2» А. С. Вендин, С. А. Ларюков	123
Обнаружение дефектов линии порезов мозаичных изображений ДЗЗ М. М. Егин, П. А. Князьков	125
Семантическая сегментация искусственной застройки на основе спутниковых снимков Sentinel-2 с применением модели U-NET и энкодера Resnet-18 И. А. Панков	127
Использование широкополосного лазерного излучения для дистанционного зондирования морской поверхности В. В. Булатов, А. Н. Пономарев	129

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ



Уважаемые коллеги, дамы и господа!

От имени организационного комитета, Корпорации ВНИИЭМ, разрешите Вас приветствовать и поздравить с началом работы Тринадцатой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли»!

Мы собрались сегодня, чтобы обсудить важнейшие вопросы развития технологий дистанционного зондирования, разобраться в перспективах совершенствования существующих спутниковых группировок, рассмотреть новые подходы к решению проблем оперативного мониторинга природных ресурсов, экологической обстановки и чрезвычайных ситуаций.

За последнее десятилетие космическая отрасль пережила значительные изменения. Современные системы позволяют получать высококачественные снимки поверхности планеты практически в режиме реального времени, что открывает перед нами огромные возможности для решения практических задач народного хозяйства и науки. Сегодня мы можем говорить о появлении новых направлений исследований и разработок, таких как глобальное картографирование изменений климата, выявление последствий стихийных бедствий, контроль экологического состояния территорий и многие другие важные направления.

Но одновременно с ростом возможностей возникают и серьезные вызовы. Мы сталкиваемся с проблемами повышения точности измерений, обработки больших объемов данных, снижения стоимости производства спутников и их запуска, повышения надежности оборудования и защиты орбитальных аппаратов от космического мусора и других угроз. Эти проблемы требуют консолидации усилий ученых, инженеров и государства для достижения значимых результатов.

Наша конференция станет площадкой для конструктивного диалога и активного взаимодействия участников, обмена идеями и опытом, выявления ключевых направлений дальнейшего развития отечественной космической отрасли. Уверен, что наши совместные усилия позволят сделать значительный вклад в решение важнейших задач нашего государства и обеспечить конкурентоспособность отечественных решений на мировом рынке дистанционных методов наблюдения.

В этом году на пленарном заседании и 4 секциях запланировано заслушать 54 доклада, в работе конференции примут участие представители 36 российских и 2 зарубежных организаций.

В 2025 году исполнилось 120 лет со дня рождения Андроника Гевондовича Иосифьяна – выдающегося учёного и талантливого инженера, академика, доктора технических наук, профессора, основателя и первого директора «ВНИИЭМ».

Иосифьян внёс значительный вклад в развитие космической отрасли в стране. Принимал непосредственное участие в подготовке и запусках многочисленных ракет и спутников. Под его руководством ВНИИЭМ стал головной организацией для основных предприятий ракетно-космической техники по разработке электротехнического оборудования ракет.

От имени организаторов и всего коллектива ВНИИЭМ желаю Вам продуктивной работы, интересных дискуссий и успешного сотрудничества!

*Генеральный директор АО «Корпорация «ВНИИЭМ»
П. С. Филиппов*

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «КОСМОС» И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ

Госкорпорация «Роскосмос», г. Москва

120 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ А.Г. ИОСИФЬЯНА – ОСНОВАТЕЛЯ И ПЕРВОГО ДИРЕКТОРА ВНИИЭМ

А. Л. Чуркин
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

И. Р. Халилюлин, А. Б. Желубенкова
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» обладает компетенциями по созданию космических систем дистанционного зондирования Земли различного назначения: оптико-электронного, радиолокационного, гидрометеорологического, гелиогеофизического.

В ноябре 2024 г. обеспечен запуск космических аппаратов (КА) «Ионосфера-М» № 1, № 2 с космодрома Восточный. В июле 2025 г. обеспечен запуск КА «Ионосфера-М» № 3, № 4 с космодрома Восточный.

Космическая система «Ионозонд» с КА «Ионосфера-М» предназначена для оперативного получения информации о гелиогеофизической обстановке, известной как «космическая погода». Основными задачами являются непрерывный глобальный мониторинг космического пространства вокруг Земли для отслеживания процессов, происходящих в ионосфере.

КА «Ионосфера-М» – первые в современной России оперативные гидрометеорологические космические аппараты с уникальным набором целевой аппаратуры, включающим низкочастотный бортовой радиолокационный комплекс ЛАЭРТ.

Получаемые с КА «Ионосфера-М» данные позволяют построить комплексную физическую трехмерную модель ионосферы Земли, осуществить диагностику и прогноз условий распространения радиоволн, изучать реакцию ионосферы на природные и антропогенные явления.

В ноябре 2024 г. сдан в эксплуатацию космический комплекс (КК) «Метеор-3М» с КА «Метеор-М» № 2-3, № 2-4, разработанный для дистанционного зондирования Земли и атмосферы в интересах метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, климатического мониторинга, мониторинга экологической обстановки и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Получаемые КК «Метеор-3М» радиолокационные изображения позволяют обеспечить полное покрытие северного морского пути и Арктического региона.

В рамках работ по созданию КК «Метеор-3М» создан и эксплуатируется в составе КА «Метеор-М» первый в России бортовой радиолокационный комплекс на базе АФАР отечественного производства, ряд характеристик которого превзошел требования ТТЗ, в том числе по разрешению и радиометрии. Полученные и отработанные технологии позволяют создавать новые радиолокационные комплексы на базе АФАР с наилучшим разрешением.

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» продолжают работы по созданию оптико-электронного КА сверхвысокого пространственного разрешения с проекцией пиксела 0,35 м (РБКА) и КА обзорного наблюдения поверхности Земли в видимом и инфракрасном диапазонах («Канопус-В»-О).

Высокотехнологичный РБКА, предназначенный для получения снимков Земли с высоким разрешением, позволит оперативно получать информацию в различных оптических диапазонах, благодаря высокой скорости перенацеливания, возможности работы в режиме видеосъемки, получения 4К-видео и проведению атмосферной коррекции снимков станет незаменимым инструментом для мониторинга объектов инфраструктуры, контроля за ситуацией на Земле и проведения геодезических работ, позволит оперативно проводить мониторинги при чрезвычайных ситуациях, обеспечит разработку и обновление топографических карт масштаба до 1:10 000 и планов городов масштаба до 1:10 000, создание цифровых моделей рельефа, инвентаризацию и контроль строительства объектов инфраструктуры.

Производительность РБКА позволит ежемесячно полностью обновлять покрытие снимками территории Республики Беларусь, Российской Федерации со сверхвысоким пространственным разрешением.

Новейший КА «Канопус-В»-О один из наиболее ярких примеров реализации политики импортозамещения в российской ракетно-космической отрасли. При его разработке успешно применена стратегия замены импортных комплектующих на образцы отечественного производства.

Космическая система, в которую войдут КА «Канопус-В»-О, создается для обновления и поддержания действующей орбитальной группировки «Кано-

пус-В». Орбитальная группировка из четырех КА «Канопус-В»-О позволит обеспечить полное обновление территории РФ каждые 8 часов.

КА «Канопус-В»-О предназначен для решения задач мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, пожароопасной обстановки, обнаружения тепловых аномалий, наводнений и паводковой обстановки, вулканической деятельности, картографирования земной поверхности и информации. Основным потребителем целевой информации КА «Канопус-В»-О является МЧС.

В докладе рассматриваются перспективные космические системы, продолжение работ по которым предусмотрено национальным проектом до 2036 года.

ПРИМЕНЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РОСГИДРОМЕТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В. В. Асмус, С. В. Тасенко, А. А. Максимов

*(ФГБУ «Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета», г. Москва)*

Данные дистанционного зондирования Земли из космоса имеют исключительное значение для решения задач Росгидромета. Информация космических систем гидрометеорологического, океанографического, гелиогеофизического назначения и мониторинга окружающей среды незаменима для решения на современном уровне таких задач как: оперативное гидрометеорологическое и гелиогеофизическое обеспечение, включая мониторинг и прогноз состояния атмосферы, океана, суши и околоземного космического пространства; контроль опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций, в том числе наводнений, лесных пожаров, засух и др.; мониторинг глобальных изменений Земли и её климата; мониторинг загрязнения окружающей среды.

Основой наземного сегмента космической системы наблюдения Росгидромета является созданная и введенная в эксплуатацию в 70 – 80-е годы прошлого столетия Государственная территориально-распределенная система космического мониторинга (ГСКМ) в составе Европейского (гг. Москва-Обнинск-Долгопрудный), Сибирского (г. Новосибирск) и Дальневосточного (г. Хабаровск) спутниковых центров приема, обработки и распространения спутниковой информации ФГБУ «НИЦ «Планета», зоны радиовидимости которых позволяют обеспечить полное покрытие всей территории России и ближнего зарубежья космической съёмкой в режиме реального времени. Наземный сегмент системы

космического мониторинга непрерывно модернизируется и развивается, что позволяет успешно спутниковую информацию для многих практических задач в интересах социально-экономического развития страны.

В настоящее время ГСКМ Росгидромета обеспечивает прием информации с 20 отечественных и 23 зарубежных спутников наблюдения Земли. По технической оснащенности (более 60 антенн), по объему принимаемых данных (более 1,5 Тбайт/сутки), спектру решаемых задач и номенклатуре выпускаемой информационной продукции (667 видов), размеру архива данных, имеющего статус Госфонда Российской Федерации, количеству потребителей (597) федерального и регионального уровня (включая подразделения Росгидромета, Минобороны России, МЧС России, Минприроды России, гидрометслужбы стран СНГ, Минтранса России, Минсельхоза России, Минобрнауки России и др.).

Для эффективного решения задач развиваются методы и технологии космического мониторинга на основе комплексного использования данных российских и зарубежных космических аппаратов, наземных наблюдений, сети грозорегистраторов, прогностических моделей и др.

Основные виды спутниковой информационной продукции, выпускаемые на базе ГСКМ Росгидромета подразделяются по следующим направлениям: облачность (глобальный и региональный мониторинг облачности, карты нефанализа, мониторинг тропических циклонов); осадки, ветер (карты метеорологических явлений, параметров облачности и осадков, полей ветра); химический состав атмосферы (карты диоксида азота, углекислого газа, угарного газа, диоксида серы, метана и др.); наводнения и пожары (карты затоплений, пожарной обстановки); температура водной поверхности и суши (карты температуры поверхности морей и океанов, температуры поверхности суши); снежный и ледяной покровы (карты распределения снежного покрова, ледовой обстановки, дрейфа льда); состояние природной среды (карты аэрозольного индекса, вегетационного индекса, загрязнения морской среды и поверхностных вод суши, мониторинг вулканической активности); данные атмосферного зондирования (вертикальные профили температуры и влажности, поля геопотенциала); ряды климатически значимых характеристик морского ледяного, снежного, почвенного и растительного покровов. Большая часть тематической информационной продукции выпускается в оперативном режиме с периодичностью от 5 до 30 минут.

С целью оперативного представления органам власти различных уровней комплексной информации об изменениях гидрометеорологической обстановки и состоянии окружающей среды для своевременного реагирования и принятия управленческих решений разрабатываются проблемно-ориентированные и региональные информационные системы.

Кроме того, создана и эксплуатируется оперативная космическая система сбора и передачи данных с наземной наблюдательной сети Росгидромета. В настоящее время сбор данных осуществляется с более, чем 700 пунктов наблюдательной сети Росгидромета, в том числе 142 труднодоступных станций и более 40 гидрологических постов. В год обеспечивается сбор порядка 1,5 млн метеосообщений.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО И РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

И. Р. Халилюлин, А. Б. Желубенкова
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» обладает компетенциями по созданию оптико-электронных космических аппаратов (КА) сверхвысокого пространственного разрешения, имеет опыт создания радиолокационных КА наилучшего разрешения, а также космических систем (КС) на их основе.

Целевая информация с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли востребована федеральными органами исполнительной власти и коммерческими потребителями для решения собственных задач.

КС с КА оптико-электронного и радиолокационного наблюдения позволяет обеспечить оперативное получение целевой информации с требуемыми потребителями характеристиками по соответствующим заявкам и решение основных задач:

- информационное обеспечение землепользования, сельского и лесного хозяйства, разведки полезных ископаемых, мониторинг сельскохозяйственных угодий;
- создание и обновление топографических карт и планов городов, общегеографических и тематических карт, оказания услуг при проведении государственных топографических мониторингов, создание цифровых моделей рельефа, создание геоинформационных систем с использованием искусственного интеллекта;
- мониторинг загрязнения и деградации природной среды, обнаружения протечек и аварийных выбросов газа, несанкционированного вторжения в зону безопасности объектов инфраструктуры, контроль безопасности частных территорий, мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах по результатам оперативных наблюдений поверхности Земли, контроль экологической обстановки;

– использование геопространственной информации при страховании объектов технологического и социального назначения, в том числе трубопроводной инфраструктуры;

– определение места расположения льдов вокруг северных портов зоны интереса;

– инвентаризация и контроль строительства объектов инфраструктуры.

Имеющиеся компетенции и опыт создания КА как оптико-электронного, так и радиолокационного наблюдения и КС на их основе позволяют АО «Корпорация «ВНИИЭМ» предлагать потребителям оперативное развертывание орбитальной группировки космических аппаратов, при изготовлении которых будут использоваться составные части, имеющие летную квалификацию, целевая аппаратура оптико-электронного наблюдения с характеристиками, соответствующими лучшим мировым аналогам. Подтвержденная в рамках летной квалификации и штатной эксплуатации техническая реализация бортового радиолокационного комплекса на базе АФАР позволяет создавать перспективные радиолокационные КА нового поколения с наилучшим разрешением, превосходящим лучшие мировые аналоги.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ СЪЁМКИ, ПОЛУЧЕННЫХ С ОГ КА «КАНОПУС-В», ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

О. А. Никонов

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Актуальность создания национальной глобальной цифровой модели поверхности Земли:

- Отсутствие в России отечественной высокоточной глобальной, динамически дополняемой ЦМП/ЦМР Земли, построенной по данным космической съёмки.

- Необходимость предоставления точных и достоверных данных в рамках картографо-геодезического обеспечения экономической деятельности, а также решения задач в интересах обороны и безопасности государства.

- Ограниченный доступ или его отсутствие к зарубежным глобальным ЦМП/ЦМР, их негарантированная надежность и достоверность.

Цели исследования:

- Анализ и обоснование возможности создания ЦМП с шагом дискретизации от 3х3 м до 10х10 м, плановой точностью ≈ 4 м и СКО определения высот ≤ 5 м на основе архивной и новой съёмки с КА «Канопус-В».
- Обоснование возможности разработки специального ПО для построения ЦМП по «случайным стереопарам», получаемым с КА «Канопус-В» и других отечественных КА оптико-электронного наблюдения.

Задачи, решаемые в ходе работы:

1. Разработка экспериментального ПО автоматизированного поиска по каталогу геопортала Роскосмоса «случайных стереопар» снимков, полученных в результате высокодетальной съёмки с КА «Канопус-В» и других отечественных КА.
2. Разработка экспериментального ПО построения ЦМП по «случайным стереопарам» архивных снимков, полученных панхроматической камерой КА «Канопус-В».
3. Построение локальных ЦМП по участкам российской территории. Оценка точности получаемой ЦМП с использованием данных по зарубежным матрицам высот.

Результаты исследования:

- I. Разработано экспериментальное ПО формирования ЦМП из микрокадров стереопар.
- II. Сформированы примеры ЦМП по локальным областям РФ (Крым и Московский регион).

Выводы

- 1) С развитием многоспутниковых космических систем ДЗЗ метод получения трехмерных моделей поверхности Земли становится наиболее актуальным и эффективным.
- 2) При эксплуатации многоспутниковых группировок в обязательном порядке должны проводиться геометрическая и радиометрическая калибровки материалов съемки.
- 3) На геопортале Роскосмоса должна быть реализована возможность поиска и отбора стереопар.
- 4) Стереопары, полученные с КА «Канопус-В», могут стать основой для создания глобальной ЦМП Земли.
- 5) Необходимо разработать и затем внедрить универсальную технологию по созданию и обновлению локальных и глобальных ЦМП по сканерным и микрокадровым снимкам.

СЕКЦИЯ № 1

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ



РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ С КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА РАЗНЫХ ВЫСОТАХ ОРБИТ

Н. Г. Котонаева, И. В. Романов, С. В. Журавлев, К. Г. Цыбуля

(Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, г. Москва)

Мониторинг состояния ионосферы Земли является одним из актуальных направлений прикладной геофизики. Методы ионосферных наблюдений в комплексе с аппаратом ассимиляции результатов наблюдений обеспечивают мониторинг ионосферы – определение в реальном масштабе времени глобального пространственного распределения параметров ионосферы и его прогнозирование. Геофизическая информация, получаемая системой мониторинга совместно с методами прогнозирования параметров ионосферы, применяются отраслях экономики, так или иначе связанных с радиосвязью и радиолокацией.

В настоящее время на территории России создана и функционирует современная система мониторинга геофизической обстановки, составной частью которой является государственная наземная ионосферная наблюдательная сеть, включающая активную составляющую: сети наземных ионозондов вертикального (ВЗ). Однако расположение этих средств измерений, не позволяет самостоятельно вести мониторинг ионосферы вне страны и в труднодоступных районах внутри страны.

Глобальный мониторинг ионосферы в отсутствии международного обмена информацией может быть обеспечен исключительно с помощью применения космического сегмента системы мониторинга. Бортовой ионозонд на КА обеспечивает оперативное определение критической частоты ионосферы вдоль орбиты спутника, расчет вертикальных профилей электронной концентрации от высоты КА до высоты максимума концентрации электронов, определение параметров ионосферной плазмы на высоте орбиты спутника по частотам плазменных резонансов. По данным параметрам возможно определение границ основных образований в ионосфере (экваториальной аномалии, главного ионосферного провала, аврорального овала и полярной шапки), влияющих на распространение радиоволн различных диапазонов частот.

Ранее внешнее радиозондирование ионосферы имело научно-экспериментальный характер (КА Интеркосмос-19, Космос 1809, ОКС «Мир», Alouette-1,-2, Explorer-XX, ISIS-1, ISIS-2 (Канада/США)). Высота орбиты ука-

занных аппаратов варьировалась в широком диапазоне высот от 300 до 2500 км. При этом работа космических аппаратов с ионозондом в составе космической группировки не была реализована ранее. С выводом на орбиту аппаратов «Ионосфера-М» № 1 – 4 на круговую солнечно-синхронную орбиту ионозондами «ЛАЭРТ» появилась возможность обеспечить решение прикладной задачи глобального мониторинга ионосферы.

Космические аппараты «Ионосфера-М» № 1 и № 2 находятся на одной солнечно синхронной орбите в плоскости 9/21 час на высоте 820 км. Подобное расположение орбиты позволяет наблюдать ионосферу в 9 и 21 час локального времени над всей территорией Земли. Ближе к полюсам локальное время наблюдения отклоняется от указанных на 1 – 2 часа. Запущенная в 2025 г. пара КА «Ионосфера-М» № 3 и № 4 имеет орбиту в плоскости 3/15 часов. В информационную систему Росгидромета уже поступает информация о глобальном состоянии плазмы в ионосфере. Сброс информации осуществляется на приемные пункты Росгидромета в составе Европейского, Сибирского и Дальневосточного центров. В целом задержка передачи информации не превышает 1 часа. Эта информация ассимилируется в ионосферную модель SIMP наряду с данными наземных ионозондов.

В дальнейшем планируется целевая работа (ЦР) бортового ионозонда на Российской орбитальной станции (РОС), которая направлена на реализацию мониторинга ионосферы на высотах близких к высоте максимума концентрации электронов (300 – 400 км), на решение проблем оперативной глобальной диагностики ионосферы. ЦР является развитием эксперимента на ОКС «Мир», в котором получены новые знания о возможностях диагностики ионосферы с высот из окрестности максимума концентрации электронов. При расположении ОКС «Мир» ниже максимума ионосферы наблюдались принципиально новые ионограммы, которые ранее не были получены в экспериментах с космическими ионозондами Alouette-1,-2, Explorer-XX, ISIS-1,-2; «Интеркосмос-19»; «Космос-1809». В отличие от космического эксперимента на ОКС «Мир», имевшего орбиту с наклоном 54 градуса, целевая работа на РОС позволит исследовать также неоднородные структуры в максимуме концентрации в высокоширотной внешней ионосфере и полярных районах.

Также рассматривается возможность внешнего зондирования с борта высокоэллиптических КА (типа «Арктика-М»). При этом значительно увеличивается время непрерывного радиозондирования арктической ионосферы и, следовательно, время наблюдения периодов возникновения, развития и исчезновения неоднородностей арктической плазмы высоких широт.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ПОСТРОЕННЫХ ПО МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

¹Д. А. Никитушин, ²А. Д. Никитушина, ³А. А. Яровиков, ¹А. М. Сафонова

¹АО «НПО«Орион», г. Краснознаменск;

²НИУ МЭИ, г. Москва;

³ГИКЦ МО РФ, г. Краснознаменск)

Сложность решения задачи управления совокупной ОГ КА и высокая динамика изменения условий применения элементов космической инфраструктуры (особенно в сложной обстановке), предопределили необходимость создания адаптивной системы управления космической инфраструктурой (СУ КИ).

В настоящее время, элементы КИ, как правило, взаимосвязаны через определенные экономические, производственные и правовые связи и в рамках отдельных организаций, СУ КИ, представляет собой организационно-техническую, пространственно-распределенную, иерархическую систему, в которой можно выделить как минимум два информационно-управляющих контура и шесть иерархических уровней управления. Задачей этих систем является обеспечение устойчивого функционирования совокупной ОГ КА в космическом пространстве в целях обеспечения выполнения задач в различных сферах деятельности.

На схеме (рисунок) представлена космическая инфраструктура и реализуемая в её рамках космическая деятельность.

Техническую основу всей КИ составляют различные АСУ(АС), которые состоят из технических и программных систем (комплексов).

От качества данной технической основы, зависит качество как совокупного НАКУ КА, так и СУ КИ в целом. Т.е. архитектура этих технических и программных систем (образующих определенные АСУ) будет определять в конечном итоге эффективность управления всей ОГ КА.

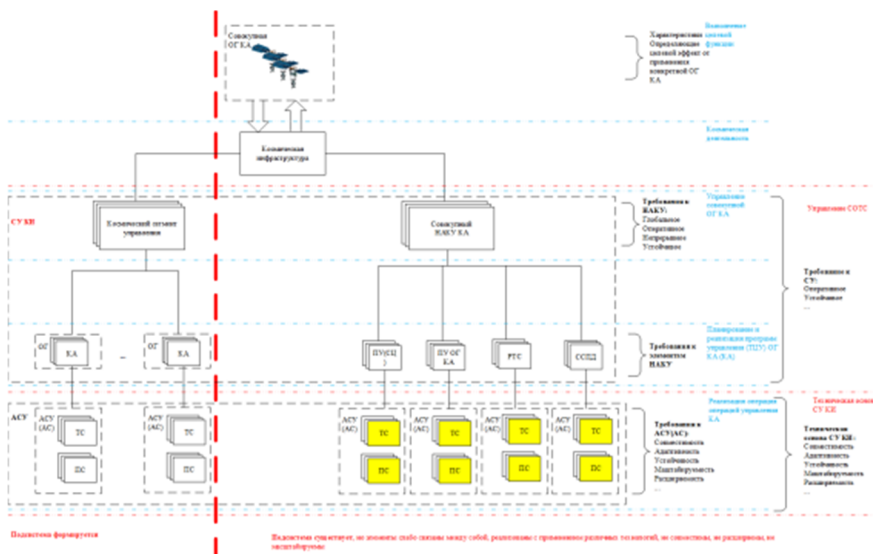
В настоящее время те основные технические (архитектурные) решения, которые положены в основу построения элементов КИ (РТС, ЦУП, ПУ и др.), уже устарели.

В таких условиях, одним из направлений обеспечения устойчивого функционирования ОГ КА является разработка элементов КИ на базе новых архитектур построения программно-технических систем. Что в свою очередь тре-

бует уточнение существующего научно-методического аппарата оценивания эффективности функционирования системы управления КИ и наземного автоматизированного комплекса управления КА.

Анализ подходов к оценке эффективности показывает, что в настоящее время к основным показателям эффективности функционирования СУ КИ и НАКУ КА относятся: глобальность, непрерывность, оперативность, надежность управления КА. Данная система показателей, как правило не учитывает такие характеристики как: совместимость, адаптивность, масштабируемость, расширяемость и др. Игнорирование данных характеристик при оценивании эффективности функционирования совокупного НАКУ КА и СУ КИ при использовании новых архитектурных решений может привести и приводит к не точным оценкам.

Таким образом, повышение эффективности управления всей совокупной ОГ КА возможно осуществить не только за счет перехода на новые методы управления ОГ КА, а за счет создания условий позволяющих в достаточно ограниченный промежуток времени выбрать и реализовать метод управления ОГ КА, который в данных сложившихся условиях позволяет наиболее полно реализовать программы управления этой ОГ КА. Создать такие условия возможно перейдя на новые подходы к построению программно-технических систем АСУ(АС).



Космическая инфраструктура (НАКУ КА и СУ КИ)

Для определения связи между требованиями, предъявляемыми к управлению ОГ КА, указанными выше, и требованиями, предъявляемыми в целом к АСУ(АС) поступим следующим образом.

Вся КИ создается с целью получения некоего целевого эффекта от применения совокупности КС (КК). Неотъемлемой частью КС (КК) и процесса их применения являются ОГ КА. Именно КА и (или) ОГ КА в целом предназначены для решения целевых задач из космоса и в космосе.

Будем полагать, что целевой эффект от применения КС(КК) реализуется в случае, когда реализуется план задействования средств НАКУ КА на заданном интервале времени. То есть за показатель эффективности применения примем степень реализации плана задействования средств НАКУ КА.

Таким образом, общий целевой эффект от применения всей совокупной ОГ КА, можно характеризовать определенным вектором $H < H_1, H_2, \dots, H_n >$, где H_i – эффективность применения i -й ОГ КА, n – количество ОГ КА всего.

То есть будем полагать, что целевой эффект от применения КС(КК) реализуется в случае, когда реализуется план задействования средств НАКУ КА на заданном интервале времени. В таком случае критерий эффективности для i -й ОГ КА запишем

$$Hi = \frac{Hi_{\text{плана.реал}}}{Hi_{\text{плана.треб}}} \xrightarrow{u} 1$$

$$t_{\text{ц}} \leq t_{\text{норм}} \quad (1)$$

где u – выбранная технология управления.

Таким образом, предлагаемая архитектура программно-технических комплексов позволит выбирать и реализовывать практически в реальном масштабе времени наиболее оптимальную технологию управления ОГ КА, позволяющую реализовывать ТЦУ КА в том числе в особых условиях обстановки.

ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМОВ ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ СМАЗА И РАСФОКУСИРОВКИ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ

¹К. И. Соколов, ²Н. В. Макарова

*(¹ Военное представительство Министерства обороны Российской Федерации,
Россия, г. Рязань;*

*² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени
В.Ф. Уткина», Россия, г. Рязань)*

В современных космических системах детального наблюдения Земли используются съемочные устройства на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС), работающие в режиме временной задержки и накопления видеосигнала (ВЗН) [1].

Для правильной работы в режиме ВЗН необходимо, чтобы скорость движения КА была точно согласована с периодом опроса матрицы. На практике равенство может нарушаться из-за ошибки вычисления скорости спутника и неточности задания частоты опроса ПЗС-матрицы. В результате возникают искажения типа «смаз».

В процессе вывода спутника на орбиту неизбежные деформации фокальной плоскости и элементов оптической системы из-за перегрузок. Обычно предусматривается возможность настройки объектива на орбите, однако возможности такой настройки не безграничны. В результате на изображениях оказываются искажения типа расфокусировки. Степень расфокусировки может зависеть от спектрального канала, температурного режима КА и изменяться со временем и в пределах поле зрения датчика.

Для устранения смаза и расфокусировки широко используются алгоритмы линейной фильтрации, например, Винеровская. Первый недостаток такой фильтрации является появление ложных «теней» на изображении. Вторым недостатком линейной фильтрации – это повышение шумов. Реальные изображения не являются стационарным случайным процессом: они обычно имеют как динамичный сюжет, так и участки относительно однородной яркости (поля, водная поверхность). На таких участках возросший шум становится хорошо заметен.

Для уменьшения шумов после линейной фильтрации могут быть использованы различные методы шумоподавления, например, вычислительно эф-

фективные методы на основе вейвлет-фильтрации. Они основаны на разложении изображения по базису вейвлетов:

$$B(m, n) = \sum_k \sum_j a_{k,j} \phi_{k,j}(m, n),$$

где $\phi_{k,j}(m, n)$ – базисные функции, $k \in Z$ – масштаб, $j \in Z$ – сдвиг, $a_{k,j}$ – коэффициенты вейвлет-разложения. Утверждается, что для реальных изображений, содержащих как объекты с резкими границами, так и относительно однородные области, базис вейвлетов «квазиоптимален» в том смысле, что основная энергия изображения $B(m, n)$ сосредоточена в малой части коэффициентов $a_{k,j}$. Поэтому оптимальная фильтрация белого шума осуществляется уменьшением коэффициентов $a_{k,j}$, которые $|a_{k,j}| < \sigma$, где σ – порог, пропорциональный уровню шума на изображении.

Шум на выходе фильтра Винера не является белым. Однако, поскольку вейвлеты хорошо локализованы как в пространственной, так и в частотной области, коррелированность шума при шумоподавлении легко учесть. Достаточно ограничивать вейвлет-коэффициенты из условия $|a_{k,j}| < \sigma \lambda_k$, где λ_k – коэффициенты, учитывающие усиление шума фильтром для масштаба k . Это позволяет однократно настроить оптимальные параметры фильтрации под конкретное сканирующее устройство датчик, а не подбирать под сюжет.

Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность вейвлет-фильтрации в борьбе с шумами на спутниковых изображениях.

Список источников

1. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М. : Техносфера, 2010. 560 с.

НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАДИОМЕТРИИ В ИНТЕРЕСАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**И. А. Барсуков, В. В. Болдырев, М. И. Гаврилов, С. А. Гришунин,
Г. Е. Евсеев, И. А. Зубков, А. М. Стрельцов, В. В. Яковлев**
(АО «Российские космические системы», г. Москва)

В настоящее время на орбите функционирует группировка отечественных и зарубежных космических аппаратов (КА) с СВЧ-радиометрами на борту, СВЧ-радиометры позволяют получать данные, которые используются для решения задач численного прогнозирования погоды и определения стандартных метеорологических параметров системы «атмосфера-подстилающая поверхность». Анализируется перечень задач, решаемых средствами СВЧ-радиометрии в интересах оперативной метеорологии и океанографии. Основными преимуществами СВЧ-радиометрии являются: глобальность и регулярность наблюдений, независимость наблюдений от погодных условий (облачности) и времени суток, а также малые габариты, масса и энергопотребление бортовой аппаратуры. Основным недостатком спутниковых СВЧ-радиометров – низкое пространственное разрешение данных, что напрямую связано с частотным диапазоном и конструкцией антенн.

В настоящее время микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ – это один из основных видов целевой аппаратуры на борту метеорологических спутников серии «Метеор-М». Модуль Температурно-Влажностного Зондирования Атмосферы (МТВЗА-ГЯ) производит регистрацию данных о восходящем излучении атмосферы Земли в полосе до 2200 км (на КА «Метеор-М» – 1500 км) с пространственным разрешением от 9 до 75 км в диапазоне частот от 6,9 до 183 ГГц.

Рабочие частоты прибора МТВЗА-ГЯ включают спектральные и поляризационные измерения, как в окнах прозрачности атмосферы 10,6, 18,7; 23,8; 31; 36,5; 42; 48, 91 и 165 ГГц, так и в полосе поглощения кислорода 52 – 57 ГГц и в области линии поглощения водяного пара 183,31 ГГц.

Опыт создания приборов МТВЗА позволил внедрить и усовершенствовать технологии построения конструкции антенно-фидерных трактов приемных устройств, что позволило расширить функциональные характеристики прибора и увеличить количество его каналов с 29 до 40. Однако концепция построения платформы КА «Метеор-М» не позволяет увеличить апертуру ан-

тенны СВЧ-радиометра для того, чтобы улучшить пространственное разрешение данных. Это в свою очередь не позволяет достичь характеристик лучших зарубежных образцов.

Анализируя опыт создания космических систем с СВЧ-радиометрами можно выделить следующие направления модернизации:

- Модернизация бортовых СВЧ-радиометров, которая включает в себя мероприятия по совершенствованию собственных технических характеристик бортовых СВЧ-радиометров (повышение чувствительности СВЧ-приемников, повышение пространственной разрешающей способности, а также повышение разрешающей способности в измерительных каналах) и совершенствование функциональных характеристик бортовых СВЧ-радиометров (повышение точности систем калибровки; расширение (обеспечение потенциальной) полосы обзора и повышение разрешающей способности зондирующих каналов), которые обеспечиваются в том числе и конструкцией платформы КА.

- Модернизация бортовых систем платформ КА, которые обеспечивают информационные и точностные характеристики получаемых данных (повышение точности поддержания ориентации КА вокруг центра масс, увеличение количества (обеспечение требуемого количества) функциональных команд управления, увеличение количества датчиков и скорости передачи ТМИ, обеспечение требуемой скорости передачи ЦИ и особенно обеспечение ЭМС СВЧ-радиометра с другими системами платформ).

- Модернизация наземных средств Наземного комплекса управления (НКУ) и средств Наземного комплекса приема, обработки и распространения ЦИ (НКПОР), которые должны обеспечить эффективную эксплуатацию космического сегмента системы СВЧ-радиометрии. Это включает в себя не только технические (повышение оперативности доставки информации (ТМИ, ЦИ и пр.), сокращение времени подготовки массивов принятой информации (ЦИ, ТМИ и пр.) к процессам обработки, сокращение времени предварительной обработки массивов принятой информации и доставки их тематическому потребителю), но и оперативные и системные мероприятия.

Для рассмотрения и сравнения направлений модернизации средств СВЧ-радиометрии приводятся характеристики перспективных зарубежных приборов, включая спутник для военной метеорологической космической системы WeatherSystemFollow-on-Microwave (WSF-M) для ВВС США, запуск которого осуществлен в 2024 году, а также информационные сообщения о развитии космических гидрометеорологических программ Европейского космического агентства и Китая.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

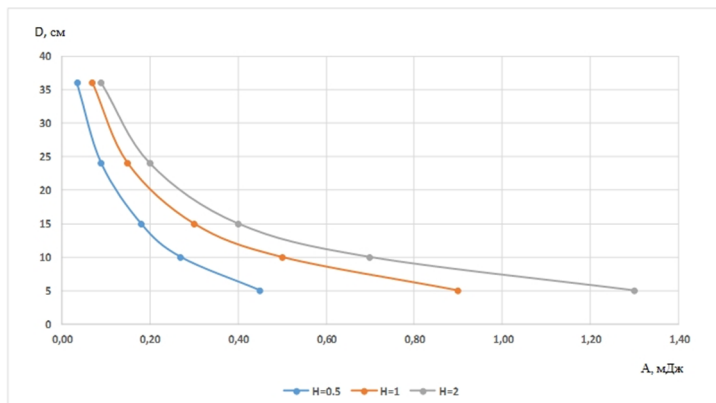
К. Е. Токарев, Т. В. Никольская
(АО «НПК «СПП», г. Москва)

Задачей космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является съёмка поверхности Земли в требуемом диапазоне оптического и радиочастотного спектра. Наиболее используемые орбиты космических аппаратов (КА) ДЗЗ находятся в диапазоне высот от 500 до 900 км. Более низкие орбиты характеризуются сильным влиянием на движение КА возмущающих факторов атмосферы, что существенно сокращает срок активного существования КА на орбите. На низких орбитах необходимо учитывать гравитационный потенциал Земли, силы сопротивления атмосферы и светового давления. Наибольшее влияние из состава диссипативных сил на движение КА ДЗЗ на высотах менее 600-700 километров оказывает атмосфера [1, 2]. Для определения орбит КА ДЗЗ используют, главным образом, радиотехнические измерительные средства, ввиду того, что они имеют широкую диаграмму направленности антенных систем. Оптические средства измерений практически не используются из-за возмущающего влияния атмосферы на движение КА, что затрудняет наведение оптических систем ввиду узкой диаграммы направленности светового луча, а также высокой угловой скорости движения КА ДЗЗ относительно оптических измерительных средств. Оптические измерения используются, в основном, для юстировочных целей при работе по КА – астроориентирам и для контроля точности определения орбит по радиотехническим измерениям. Однако, требования к точности учёта положения КА ДЗЗ на орбите постоянно возрастают из-за необходимости точной привязки снимков к картам местности, более точного планирования проведения съёмок и оперативного получения данных, вплоть до реального масштаба времени. Методы определения орбиты по радиотехническим измерениям не позволяют определить параметры орбиты КА ДЗЗ и спрогнозировать его движение с прецизионной точностью. Использование аппаратуры спутниковой навигации на борту КА также не позволяет достичь прецизионной точности измерений ввиду наличия систематических и случайных ошибок на уровне 30÷50 см. Прецизионное определение орбиты КА может быть

достигнуто за счёт использования квантово-оптических (лазерных) измерений, которые обеспечивают точность измерения дальности до КА не хуже $1 \div 2$ см. Вместе с тем, полномасштабное планомерное использование квантово-оптических средств (КОС) затруднено в связи с:

- невозможностью их работы по низкоорбитальным КА при отсутствии светоотражающих элементов, так как лазерный луч рассеивается на диффузных и разнонаправленных поверхностях КА;
- отсутствием требуемого количества КОС (сетей КОС) для обеспечения их циклической работы по множеству малых низкоорбитальных КА;
- технологической сложностью крупногабаритных точных КОС, так как они требуют применения лазеров с большой энергией импульса и фотоприёмных устройств повышенной чувствительности;
- большими габаритами высокоточных КОС, что затрудняет их перемещение и установку;
- необходимостью создания специализированных площадок для их размещения (заглубленных пилонов, обеспечивающих точность привязки к координатным осям).

Ввиду этого, в настоящее время актуальным является вопрос создания сетей КОС различной конфигурации для работы с КА ДЗЗ. Такие сети могут включать КОС более простой конструкции, чем универсальные КОС, проводящие измерения по КА на средних и высоких орбитах. Указанные КОС должны иметь возможность перемещения (мобильность) для обеспечения при необходимости изменения конфигурации сети. Одним из главных препятствий на пути создания малогабаритных мобильных и переносных КОС является невозможность использования крупногабаритных лазеров, которые применяются в стационарных КОС. Исследования авторов показали, что для работы с КА ДЗЗ возможно использование компактных малогабаритных лазеров с меньшей энергией импульса, что обеспечит возможность создания автоматических малогабаритных мобильных (переносных) КОС и быстрого развёртывания их сетей. В этой связи проведена работа по выбору требуемой энергии в импульсе импульсно-периодического лазера КОС с разными апертурами (диаметр входного объектива) приёмного телескопа в зависимости от высоты полета КА при расходимости лазерного пучка 20 угловых секунд, коэффициенте прозрачности атмосферы 0.3, квантовой эффективности фотоприёмного устройства 0.5, коэффициенте пропускания оптики 0.5, эквивалентной площади рассеяния отражательного элемента КА 100 млн. кв. м. Результаты исследования представлены в виде графика на рисунке.



Апертура приёмного телескопа D в зависимости от энергии импульса лазера A для высот 0,5, 1 и 2 тыс. км

Из графика следует, что для высоты 500 км и апертуры приёмного телескопа 5 см можно использовать импульсно-периодический лазер с энергией в импульсе 0,45 мДж, для высоты 1000 км с такой же апертурой необходим лазер с энергией 0,9 мДж в импульсе, а для высоты 2000 км – 1,3 мДж в импульсе. Для перекрытия всего диапазона низких высот можно использовать лазер с энергией в импульсе 0,7 мДж и апертурой входного телескопа 10 см. Таким образом, возможно использование малогабаритного лазера с небольшим приёмным телескопом для создания малогабаритной переносной КОС. Это подтверждается использованием на Корсике французской переносной лазерной станции (French Transportable Laser Ranging Station – FTLRS) в международной системе лазерной дальнометрии [3].

Список источников

- ГОСТ Р 25645.166-2004. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли. Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004.
- NRLMSIS 2.0: A whole-atmosphere empirical model of temperature and neutral species densities / Emmert J. T. [et al.] // Earth and Space Science. 2020. Vol. 8(3). Pp. 1–37. DOI : 10.1029/2020EA001321.
- Французская переносная лазерная станция для определения дальности: научные цели, технические характеристики и производительность / Ж. Николя [и др.] // Прикладная оптика. 2000. 39(3):402-10. DOI : 10.1364/ao.39.000402.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ К ВОПРОСАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК

И. В. Ашарина, В. Ю. Гришин, А. В. Орлов
(АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва, Зеленоград)

Работа посвящена применению принципов обеспечения летной годности атмосферных летательных аппаратов (ЛА), которые являются обслуживаемыми системами, получающими периодическое плановое техническое обслуживание к обеспечению надежности необслуживаемых систем на базе орбитальных группировок (ОГ). Несмотря на существенные отличия в обеспечении надежного функционирования обслуживаемых и необслуживаемых систем, важно то, что ЛА и космические аппараты (КА), а также их ОГ, являются сложными техническими системами, аварийные ситуации которых способны нанести существенный, а порой и непоправимый, вред как природе, так и человеку.

Одной из необходимых процедур, обеспечивающих надежное функционирование любого сложного технического объекта, является *мониторинг технического состояния* [1], заключающийся для ЛА в наблюдении за ним с целью получения данных о его техническом состоянии и рабочих параметрах. Для необслуживаемых нерезервированных систем под мониторингом технического состояния понимается процесс периодического самодиагностирования; для необслуживаемых резервированных систем – это комплекс мер, заключающийся в периодическом самодиагностировании, обмене системными и/или целевыми данными и взаимном информационном согласовании (ВИС) этих данных [2].

Рассмотрим схему развития авиационных событий ЛА [1] применительно к КА и ОГ КА. Первой стадией развития негативного события является наличие *источников опасности* или *факторов риска*, к которым для КА относятся агрессивная среда, космическое излучение, воздействие высоких и низких температур. Снизить опасность их воздействия можно путем обеспечения радиационной защиты путем использования радиационно-стойких компонентов КА и установкой радиационно-защитных экранов вокруг компонентов КА, а также обеспечением необходимой терморегуляции.

Вторая стадия представляет собой *опасность*, при которой перечисленные факторы риска начинают воздействовать на КА.

Третьей стадией является *угроза*, когда опасность становится активной. Например, тяжелые заряженные частицы получают возможность «пробить» радиационную защиту компонентов КА.

Переход угрозы в четвертую стадию, именуемую *риском*, при которой возможен отказ техники, представляет собой ситуацию, при которой существующая опасность проявляется в виде физического действия.

Результатом этого физического действия является пятая стадия, степень негативного воздействия которой зависит от стечения обстоятельств. В случае, когда пятая стадия произошла при благоприятных обстоятельствах и не привела к появлению негативных последствий, она называется *предвестником* [1]. Если негативные последствия возникли, в зависимости от степени тяжести их последствий они именуется *инцидентом*, *серьезным инцидентом*, *аварией* или *катастрофой* [1]. Согласно классификации, принятой в [3, 4], для бортового вычислителя КА, эти последствия именуется, соответственно, *сбоем*, *программным сбоем*, *отказом*.

Последствия проявления пятой стадии зависят от степени радиационной и тепловой защиты КА и обеспечиваются на этапе его изготовления. Однако, при построении КА и ОГ КА предусматриваются и иные способы минимизации негативных последствий опасностей, угроз и рисков – аппаратурная и программная избыточность, резервирование, ВИС. Большие КА архитектурно конструируются как резервированные объекты, в которые на этапе разработки уже заложены принципы программно-аппаратной репликации. ОГ малых или средних КА строятся как пиринговые системы, репликационно решающие как целевые задачи, так и задачи, связанные с управлением ОГ [5].

К проблемам мониторинга КА в ОГ традиционно относится отсутствие прямой радиовидимости между каждой парой КА, т.е. необходимость использования ретрансляторов, что существенно усложняет алгоритмы ВИС [5].

Список источников

1. Чинючин Ю. М. Летная годность воздушных судов в системе управления безопасностью полетов : монография. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. 188 с. : ил., табл.
2. Лобанов А. В., Ашарина И. В. Унифицированный метод обеспечения сбое- и отказоустойчивости в распределенных автоматизированных цифровых системах управления специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 3. С. 89–99.

3. Лобанов А. В., Ашарина И. В. Восстановление целевой работы в автоматической сбое- и отказоустойчивой многозадачной распределенной информационно-управляющей системе // Инженерный журнал: наука и инновации : [Электронное научно-техническое издание]. DOI : 10.18698/2308-6033-2019-7-1902.
4. Ашарина И. В., Гришин В. Ю., Сиренко В. Г. Отказоустойчивые системы управления перспективными группировками космических аппаратов как основа построения сетецентрических систем // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Т. 194. № 3. 2023. С. 17–23.
5. Ашарина И. В. Алгоритмы взаимного информационного согласования в системах управления орбитальными группировками космических аппаратов // Материалы тринадцатой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2025. С. 43–45. [Данный сборник].

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КА МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЪЕМОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ

¹ С. А. Архипов, ² В. Я. Геча, ² С. А. Новоселов

(¹АО «НПК «СПП», г. Москва;

²АО «Корпорация ВНИИЭМ», г. Москва)

Одно из современных направлений развития технических средств мониторинга техногенных космических объектов (ТКО) в околоземном космическом пространстве (ОКП) – создание космической системы (КС) мониторинга ТКО. В состав КС ТКО кроме наземных средств входят космические аппараты (КА), оснащенные бортовой оптико-электронной аппаратурой (БОЭА). Зона контроля ОКП КС ТКО ограничена двумя основными «вредными» факторами: экранирование Землей и засветка входного окна БОЭА солнечным излучением.

Целью данной работы является оценка возможности использования БОЭА для дистанционного зондирования Земли, в условиях действия указанных «вредных факторов».

Предлагаемая космическая система, включающая в свой состав КА, оснащенные БОЭА и размещенные на околотерминаторной солнечно-синхронной орбите (ССО), может использоваться для решения задач ДЗЗ. В номинале поля зрения БОЭА ориентировано по направлению от Солнца. Перенацеливание поля зрения БОЭА обеспечивается за счет разворота КА вокруг оси, касательной орбите, в диапазоне углов крена от -25° до $+90^\circ$. Выбранный диапазон углов крена ограничен с одной стороны (менее -25°) – экранированием Земли, а с другой стороны (более $+90^\circ$) – засветкой входного окна БОЭА солнечным излучением.

Для орбитального построения КА, расположенных на рассматриваемой орбите, «вредный фактор» – экранирование поля зрения БОЭА Землей становится «полезным» – появляется возможность съемки подстилающей поверхности Земли, при углах Солнца над горизонтом менее 10° и в сумерки. Предложена методика расчета разрешающей способности БОЭА. Показано, что в случае принятия решения об использовании указанных КА для решения попутных задач ДЗЗ следует провести схемотехнические доработки КА и БОЭА в части:

- обеспечения возможность поворота КА вокруг оси крена, касательной плоскости ССО в номинальное положение, при котором линия визирования (оптическая ось) БОЭА ориентирована в надири;

- обеспечения поворотов КА относительно указанного номинального положения по углу крена от -12° до $+12^\circ$;

- введения в состав БОЭА спектрофотометра, обеспечивающего автоматическую упреждающую регистрацию облученности, по сигналам которого автоматически вычисляется требуемое время экспонирования и подбор светофильтров, с целью исключения возможности переполнения потенциальной ямы пиксела;

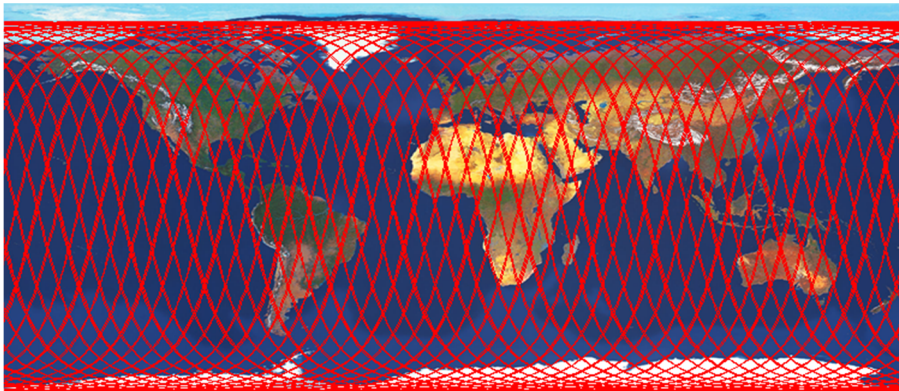
- увеличения фокусного расстояния БОЭА, что позволит уменьшить ЛРМ и повысит востребованность съемочной информации ДЗЗ, так при увеличении фокусного расстояния БОЭА-600 в четыре раза ЛРМ составит 2,5 – 3,0 м в заданных условиях наблюдения.

В результате оценки возможности попутного использования КА с БОЭА мониторинга ОКП можно сформулировать вывод о потенциальной возможности обеспечения получения снимков подстилающей поверхности при углах Солнца над горизонтом менее 10° и в сумерки.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ» ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**Ю. А. Рой, В. Ф. Боровский,
Ю. Г. Сухой, Т. В. Никольская**
(АО «НПК «СПП», г. Москва)

Система наблюдения космических объектов в околоземном космическом пространстве оптико-электронными средствами «Млечный путь» (КС МП) [1] является развитием автоматизированной системы предупреждения опасных сближений в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП) [2]. В КС МП планируется применение бортовых оптических средств наблюдения за космическим мусором, которые обеспечат мониторинг ОКП с проникающей способностью до 18^m . КС МП включает космический сегмент из восьми космических аппаратов (КА) с высотой орбиты 788 км, равномерно размещенных по аргументу широты на солнечно-синхронной орбите (ССО) трёхсуточной кратности с периодом обращения 100.46 минут и наклоном 98.51° , наземный комплекс управления, а также наземный комплекс планирования, обработки и распространения информации (НК ПОР). КА оснащены оптико-электронными комплексами, в состав которых входят бортовая оптико-электронная аппаратура (БОЭА), два терминала лазерной связи (ТЛС) и бортовая аппаратура, обеспечивающая их работу. Применение БОЭА и терминалов лазерной связи для обеспечения взаимодействия между КА позволяет реализовать стереосъемку в космосе и обмен информацией между всеми КА. Плоскость ССО предложено поддерживать параллельной плоскости, образуемой линией терминатора на поверхности Земли в момент, когда положение Солнца на эклиптике образует максимальный угол к плоскости орбиты. При движении Солнца по эклиптике положение линии терминатора будет периодически меняться относительно выбранного среднего положения в связи с тем, что угол между плоскостью эклиптики и плоскостью орбиты Земли составляет 23.4° . Трасса орбиты одного КА КС МП на интервале 100 витков показана на рисунке.



Трасса орбиты КА МП (100 витков)

Выведение КА в плоскость заданного положения относительно плоскости, образуемой линией терминатора, обеспечивается выбором долготы восходящего узла орбиты (времени запуска КА). Выбранная орбита имеет достаточно приемлемые характеристики по светотеневой обстановке, длительность нахождения КА в тени за год составляет около 280 часов. Изменение среднего значения большой полуоси за год составляет не более 2.5 – 3 км, наклонение может меняться от 98.32° до 98.62° , эксцентриситет – от 0 до 0.0038.

Так как система имеет наземный комплекс планирования, обработки и распространения информации (НК ПОР), который обеспечивает приём информации с КА КС МП, предлагается в целях экономии технических и финансовых ресурсов одновременно использовать эти КА для дистанционного зондирования Земли. В этом случае каждый КА будет занимать место летящего впереди КА через 12.56 мин, что обеспечивает практически непрерывный обзор всей поверхности Земли. Целеуказания для наземных средств выбранной орбиты для каждого КА будут повторяться с той же трёхсуточной кратностью, что позволяет обеспечить устойчивое функционирование средств НК ПОР без дополнительных расчётов целеуказаний на каждый сеанс связи.

Проведена оценка степени воздействия на КА КС МП различных возмущающих его движение сил (гравитационных полей Земли, Солнца, Луны; аэродинамического торможения; светового давления; ошибок отработки включений двигательной установки). Рекомендуемые параметры математической модели движения (ММД) КА для выбранной орбиты приведены в таблице.

Рекомендуемые параметры ММД КА

Этап применения	Математическая модель движения
Прогнозирование состояния орбитальной группировки, долгосрочное планирование, расчёт манёвров	ГПЗ: ПЗ 90.11 16×16, динамическая модель атмосферы SM-2024, Луна – центральное поле, Солнце – центральное поле, световое давление
Краткосрочное планирование	ГПЗ: ПЗ 90.11 8×8, динамическая модель атмосферы SM-2024, Луна – центральное поле, Солнце – центральное поле, световое давление

Сделан вывод о целесообразности применения в ММД КА новой аналитической модели плотности атмосферы SM-2024 [3], так как она позволяет применить методы адаптации к гелиогеофизическим условиям, что даёт возможность использовать её со среднестатистическими индексами солнечной и геомагнитной активности без ввода их текущих быстроменяющихся (среднесуточных) значений и с постоянным баллистическим коэффициентом. Предварительная оценка запаса топлива на выполнение всех типов манёвров при использовании гидразиновых и плазменных двигателей для САС 7 лет показала, что масса топлива для гидразиновых двигателей может составить от 80 до 150 кг, а для плазменных двигателей от 20 до 40 кг. Рассмотрены возможные варианты проведения манёвров для формирования и поддержания баллистических характеристик системы.

Список источников

1. Олейников И. И., Архипов С. А., Тунгушпаев А. Т. Перспективная космическая система наблюдения космических объектов в околоземном космическом пространстве оптико-электронными средствами // Радиотехника. 2023. Т. 87. № 3. С. 93–104.
2. Коблов С. В., Макаров Ю. Н., Ступак Г. Г. Пути развития российской автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2022. № 683. С. 232–237.
3. Сухой Ю. Г., Мошнин А. А. Применение аналитической модели плотности верхней атмосферы Земли SM-2024 для системы мониторинга космического пространства «Млечный путь» // Тезисы докладов IX Межведомственной научно-технической конференции АО «НПК «СПП» 23–24 мая 2024 г. Казань. 2024. С. 131–135.

СОЗДАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕКУЩИХ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

К. Е. Токарев

(АО «НПК «СПП», г. Москва)

Повышение точности определения орбит и прогнозирования пространственного положения низкоорбитальных космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является актуальной задачей для обеспечения планирования и обработки снимков. Для измерений текущих навигационных параметров (ИТНП) и управления КА ДЗЗ в наземном автоматизированном комплексе управления космическими аппаратами научно-социального и экономического назначения (НАКУ КА НСЭН) [1] используются командно-измерительные станции (КИС) «Клён», «Компарус», «Спектр-Х», которые обеспечивают проведение ИТНП и решение задач управления отечественными автоматическими космическими аппаратами научно-социального и экономического назначения. Квантово-оптические станции (КОС) в состав НАКУ КА НСЭН не входят, однако привлекаются для решения определённых задач, например, для контроля точности орбит, полученных по ИТНП КИС и данным аппаратуры спутниковой навигации (АСН), а также в целях юстировки навигационной аппаратуры. Вместе с тем, следует отметить, что в последнее время всё чаще используется лазерная аппаратура, как для проведения измерений, так и для передачи информации на КА или между двумя (несколькими КА), в том числе в низкоорбитальных космических системах. Лазерные технологии применяются в основном в бортовых системах межспутниковой связи, системах управления сближением и стыковкой космических аппаратов [2], в лазерной дальнометрии. При этом, определение координат, скорости центра масс КА, привязанных к высокоточному времени, а также угловой скорости вращения КА является, как и в радиолокационных системах, базовой задачей при проведении лазерных измерений. Однако, в настоящее время недостаточно полно проведены исследования в части построения квантово-оптической (лазерной) аппаратуры и специфики её применения для проведения измерений по низкоорбитальным КА ДЗЗ, а также передачи на них информации в оптических сигналах.

лах. Достоинства оптической аппаратуры заключаются, прежде всего, в высокой точности проводимых измерений, меньших массово-габаритных размерах, по сравнению с радиолокационными системами. Из отечественных наземных квантово-оптических станций наиболее известны КОС «Сажень-ТМ» [3] и лазерная станция «Точка» [4], которые привлекаются в основном для измерений текущих навигационных параметров среднеорбитальных КА. Для измерений по КА ДЗЗ они используются редко в связи с отсутствием на многих КА ДЗЗ отражательных систем, высокой угловой скоростью движения КА относительно КОС, отсутствием отработанных методик получения высокоточных орбит КА ДЗЗ по квантово-оптическим измерениям в условиях малого количества привлекаемых КОС. Одним из путей повышения точности определения орбит КА ДЗЗ является создание и применение сетей малогабаритных переносных автоматических КОС (МПА КОС), позволяющих получать информативные выборки квантово-оптических ИТНП КА за счёт оптимального планирования измерений на восходящих и нисходящих участках витков орбит КА ДЗЗ, как это делается при планировании радиолокационных измерений. Для этого целесообразно использовать сеть распределённых по обширной территории КОС. Однако создание такой сети из КОС типа «Сажень-ТМ» и «Точка» затруднено в виду их дороговизны, длительных сроков создания и ввода в эксплуатацию. Создание относительно дешёвых МПА КОС даёт возможность их многосерийного изготовления и оперативного перемещения на большие расстояния для формирования сети КОС нужной конфигурации в соответствии с особенностями применения группировок низкоорбитальных КА ДЗЗ. Проведён анализ возможности создания МПА КОС на основе использования малогабаритного опорно-поворотного устройства (ОПУ) с программным управлением с закреплёнными на нём передающей оптической системой импульсного малогабаритного лазера и небольшой приёмной оптической системой. ОПУ с оптическими системами и систему наведения на базе малогабаритных моментных двигателей предложено монтировать на подвижном блоке (ПБ) моторизованного штатива. ПБ оснащается астроориентаторами, поддерживающими требуемую систему координат, например, горизонтальную. Вычислительно-управляющий комплекс, аппаратуру регистрации импульсов, стандарт частоты, аппаратуру передачи данных и метеостанцию предлагается размещать отдельно, например, на малогабаритной передвижной платформе. Исследования показали возможность применения в МПА КОС малогабаритного импульсно-периодического пикосекундного лазера с энергией в импульсе 0.5 – 1 мДж и частотой повторения импульсов 1 – 2 кГц, а также малогабаритных фотоприёмных устройств с вы-

сокой квантовой эффективностью, например, на основе сернисто-кадмиевых фоторезисторов или фоторезисторов на сложных соединениях элементов (оксисульфид гадолиния). Апертура приёмного телескопа МПА КОС в этом случае не превысит 10 см. Общая масса всех частей станции по предварительным оценкам может составить от 100 до 200 кг, что обеспечит возможность её перемещения в контейнерах. Установка МПА КОС на твёрдых покрытиях для устойчивости штатива может занимать не более 24 часов. В качестве укрытия от плохих метеоусловий рекомендуется использовать тент зонтичного типа. Создание подобных отечественных МПА КОС экономически выгодно, так как они имеют небольшую себестоимость и возможность перемещения, что позволит формировать из них сети слежения за КА ДЗЗ подвижной конфигурации без специальной подготовки бетонных позиций с заглублёнными пилонами.

Список источников

1. Заичко В. А., Шведов Д. О. Основные положения концепции развития наземной космической инфраструктуры дистанционного зондирования Земли до 2030 года // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва : ИКИ РАН, 2021. С. 447. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a.
2. Королёв Б. В. Технология работы космической оптической линии связи для повышения оперативности управления и получения информации потребителем в процессе функционирования космических средств // Космическая техника и технологии. 2014. № 1 (4). С. 39–47.
3. Модернизация спутникового лазерного дальномера «Сажень-ТМ» в обсерватории «Светлое» / Бурмистров В. Б. [и др.] // Труды ИПА РАН. 2023. Вып. 66. С. 3–10.
4. О создании радиолазерных комплексов «Точка» для решения задач космической геодезии и навигации / Борисов Б. А. [и др.] // Фотоника. 2022. Т.16. № 5. С. 370–391.

АЛГОРИТМЫ ВЗАИМНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОРБИТАЛЬНЫМИ ГРУППИРОВКАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И. В. Ашарина

(АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва, Зеленоград)

Работа посвящена обеспечению сбое- и отказоустойчивости системы управления орбитальной группировкой (ОГ) космических аппаратов (КА) с учетом источников опасности космического пространства, приводящих к возникновению неисправностей, и необходимости использования ретрансляторов [1].

ОГ КА представляет собой необслуживаемую резервированную систему, модель которой представлена неполным сильно связанным графом, где вершины обозначают бортовые вычислители КА, а ребра – радиоканалы между КА. Обнаружение и идентификация неисправностей в такой системе представляет собой комплекс мер, заключающийся в периодическом самодиагностировании, обмене системными и/или целевыми данными и взаимном информационном согласовании (ВИС) этих данных [1, 2]. Вследствие сложности самих систем и с учетом агрессивности среды их работы, моделью неисправности принята неисправность враждебного типа, при которой неисправный объект может вести себя не просто произвольно, но и неодинаково по отношению к другим элементам системы. Проявление неисправности в таких системах обнаруживается в процессе плановых процедур самодиагностирования либо в процессе согласования целевых данных. Система пиринговая, т.е. построена по принципу равнозначности всех объектов, поэтому в ней предусмотрено выполнение процедуры ВИС [3], позволяющей принять распределенное согласованное решение о состоянии каждого из ее объектов, и это решение будет одинаковым во всех ее исправных объектах – это условие достижения ВИС. Такой подход позволяет увеличить срок активного существования ОГ.

Выполнение условия достижения ВИС требует соблюдения определенных структурных условий при построении графовой модели ОГ: 1) наличие в графовой модели ОГ подграфа, полного или гомеоморфного полному, с количеством вершин, соответствующих вершинам полного графа, не менее $3\mu+1$ (μ – допустимое количество неисправных объектов), 2)

наличие в графовой модели не менее $2\mu+1$ входящих путей в каждую вершину-ретранслятор от вершин, соответствующих вершинам полного графа, 3) наличие в графовой модели не менее $2\mu+1$ исходящих путей от каждой вершины-ретранслятора в вершины, соответствующие вершинам полного графа.

Наличие ретрансляторов не препятствует достижению ВИС, но усложняет его алгоритм и увеличивает время и трафик (объем передаваемых данных).

Классический алгоритм ВИС в полносвязной системе, моделью которой является полный граф, заключается в $(\mu+1)$ -раундном обмене сообщениями, которые содержат согласуемую информацию, посылаемую каждым бортовым вычислителем КА.

В первом раунде информационного обмена каждый вычислитель передает всем другим вычислителям значение, которое требуется согласовать (*собственное согласуемое значение*). В каждом следующем – совокупность согласуемых значений, полученных в предыдущем раунде. После завершения процедуры обмена каждый вычислитель обрабатывает полученные данные (обычно методом мажорирования) и получает согласованные значения, которые позволяют с определенной точностью идентифицировать неисправный объект – выполнить однозначную идентификацию либо построить область подозреваемых значений.

Алгоритм ВИС в неполносвязной системе предполагает определение состояния всех КА, в том числе и ретрансляторов. Поэтому первым этапом согласования является передача согласуемых значений ретрансляторов в вычислители, соответствующие вершинам полного графа, которые выполняют процесс ВИС, но согласуют составные значения, содержащие как их собственные согласуемые значения, так и согласуемые значения ретрансляторов.

Далее выполняется $(\mu+1)$ -раундный обмен, длительность которого при наличии ретрансляторов также увеличивается. Данный этап алгоритма согласования завершается мажорированием полученных данных.

Вычисленные согласованные значения передаются в вычислители ретрансляторов. Таким образом, вычислители каждого КА ОГ получают полную информацию о состоянии системы в целом и также способны идентифицировать неисправные объекты либо построить подозреваемую область неисправностей, как и в случае полносвязной системы.

Таким образом, проблема мониторинга КА в ОГ [1], связанная с отсутствием прямой радиовидимости между каждой парой КА, решается путем использования ретрансляторов.

Список источников

1. Ашарина И. В., Гришин В. Ю., Орлов А. В. Применение принципов реализации летной годности атмосферных летательных аппаратов к вопросам обеспечения надежности орбитальных группировок // Материалы тринадцатой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2025. С. 32–34. [Данный сборник].
2. Лобанов А. В., Ашарина И. В. Унифицированный метод обеспечения сбое- и отказоустойчивости в распределенных автоматизированных цифровых системах управления специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 3. С. 89–99.
3. Pease M., Shostak R., Lamport L. Reaching agreement in the presence of faults // J. ACM. 1980. Vol. 27. No. 2. Pp. 228–234.

РАДИОВИДИМОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГРУППИРОВКИ, РАЗМЕЩЕННОЙ НА КРУГОВОЙ ОРБИТЕ

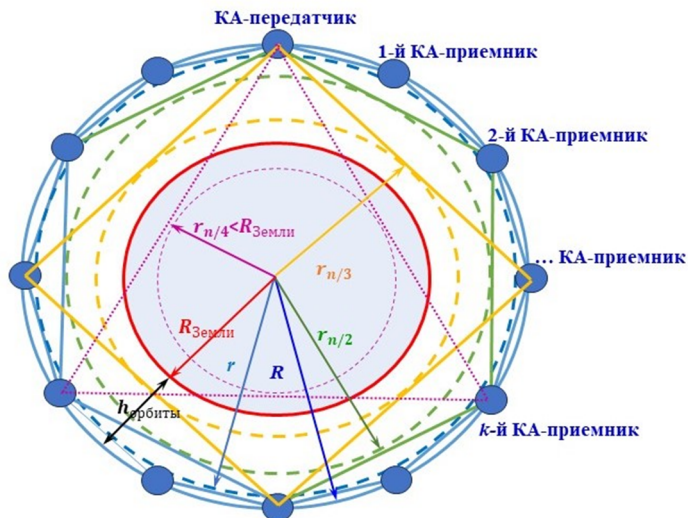
И. В. Ашарина

(АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва, Зеленоград)

Проблема мониторинга КА в ОГ [1], связанная с отсутствием прямой радиовидимости между каждой парой КА, решается путем использования космических аппаратов (КА), выполняющих роль ретрансляторов. Работа посвящена определению условий прямой радиовидимости КА орбитальной группировки (ОГ), размещенной на круговой орбите, и необходимости использования ретрансляторов [2]. Рассматривается случай невозмущенного движения КА.

Возможность прямой радиовидимости определяется, в общем случае, двумя условиями: 1) не попадает ли КА, которому нужно передать сообщение, в тень Земли относительно КА, передающего сообщение, и 2) обладает ли радиопередатчик КА достаточной мощностью, чтобы обеспечить необходимую дальность радиосвязи.

Выполнение этих двух условий можно определить решением геометрической задачи о вписанных и описанных окружностях правильного многоугольника (рисунок).



Области прямой радиовидимости КА, расположенных на круговой орбите

n КА, расположенных на круговой орбите, образуют правильный выпуклый n -угольник. Связь между сторонами правильного n -угольника и радиусами описанной и вписанной окружностей определяется следующими уравнениями [3]:

$$r = a/(2\operatorname{tg}(180^\circ/n)), \quad (1)$$

$$R = a/(2\sin(180^\circ/n)), \quad (2)$$

где a – сторона правильного многоугольника, R – радиус описанной окружности, r – радиус вписанной окружности, n – количество сторон и углов (а здесь – КА ОГ, образующих правильный многоугольник и расположенных в его углах).

Преобразование уравнений (1) и (2) дает соотношение между R и r :

$$r = R\cos(180^\circ/n) \quad (3)$$

Для ОГ КА $R = R_{\text{Земли}} + h_{\text{орбиты}}$, где $R_{\text{Земли}}$ – средний радиус Земли, $h_{\text{орбиты}}$ – высота орбиты КА.

Определение прямой радиовидимости между данным КА-передатчиком и k -м КА на орбите, считая от данного (см. рисунок), вычисляется преобразованием уравнений (1), (2), (3):

$$r_{n/k} = R\cos(180^\circ/(n/k)), \quad (4)$$

где k – число КА на круговой орбите, радиовидимость для которых необходимо определить относительно данного КА, $r_{n/k}$ – радиус вписанной окружности в многоугольник с числом вершин (n/k) .

При $r_{n/k} > R_{\text{Земли}}$ имеется прямая радиовидимость между КА-передатчиком и не менее, чем k КА, размещенных на орбите последовательно за ним (см. рисунок). При $r_{n/k} = R_{\text{Земли}}$, k -й КА попадает в полутень Земли и радиосвязь не гарантируется. При $r_{n/k} < R_{\text{Земли}}$ прямая радиовидимости между КА-передатчиком и k -м КА отсутствует и использование ретрансляторов необходимо.

Согласно [3], сторона правильного многоугольника

$$a = 2r\operatorname{tg}(180^\circ/(n/k)) = 2R\sin(180^\circ/(n/k)) \quad (5)$$

представляет собой минимальную необходимую дальность радиосвязи между КА-передатчиком и k -м КА в случае их прямой радиовидимости.

Полученные данные представляют интерес для алгоритма достижения взаимного информационного согласования [2] в ОГ КА при определении оптимальных путей передачи сообщений между КА.

Список источников

4. Ашарина И. В., Гришин В. Ю., Орлов А. В. Применение принципов реализации летной годности атмосферных летательных аппаратов к вопросам обеспечения надежности орбитальных группировок // Материалы тринадцатой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2025. С. 32–34. [Данный сборник].
5. Ашарина И. В. Алгоритмы взаимного информационного согласования в системах управления орбитальными группировками космических аппаратов // Материалы тринадцатой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2025. С. 43–45. [Данный сборник].
6. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. Для инженеров и учащихся ВТУЗов. М., 1980. 976 с. : ил.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЗС И КМОП ФОТОПРИЕМНИКОВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Г. И. Вишнеvский, М. Г. Выдревич, А. Г. Попов, М. В. Четвергов
(АО «НПП «ЭЛАР», г. Санкт-Петербург)

АО «НПП «ЭЛАР» является ведущим производителем фотоприемных устройств специального назначения на основе ПЗС и КМОП технологий. Фотоприемные устройства используются как в оптико-электронных преобразователях систем ДЗЗ, так и в аппаратуре астроориентации, юстировки оптических систем и других.

Предприятие обладает полным замкнутым циклом разработки и серийного производства фотоприемников, что обеспечивает полный контроль над процессом создания изделий и гарантирует соответствие их параметров установленным требованиям.

Все отечественные высокоразрешающие КА оснащены ФПЗС ВЗН, изготовленными в АО «НПП «ЭЛАР». Фотоприемники работают, в частности, в системах ДЗЗ КА «Ресурс-ДК», «Ресурс-П», «Ресурс-ПМ», «Аист-2Д», «Хаям», а также других аппаратов специального назначения.

В АО «НПП «ЭЛАР» для применения в гиперспектральной аппаратуре разработан корпусированный кадровый ФПЗС с охлаждением кристалла. Ключевыми особенностями прибора являются высокие кадровая частота и квантовая эффективность во всем диапазоне чувствительности.

Предприятие участвует в проекте «Сфера» в части разработки и поставки ФПЗС «Мга-6» для панхроматического и ФПЗС «Мга-МС» для мультиспектрального каналов.

АО «НПП «ЭЛАР» ведет инициативную работу по разработке перспективных ФПЗС ВЗН с размером пикселя 5×5 мкм и характеристиками близкими к ФПЗС «Мга-6» (рабочий шифр изделия: «Мга-5»).

Предприятие выпускает большой спектр фоточувствительных ПЗС приборов для аппаратуры астроориентации. Поставленные «звездные датчики» успешно эксплуатируются на МКС, в КА серии «Ямал», в отечественных высокоразрешающих КА ДЗЗ и пр. Все приборы выполнены в вакуумплотных металлокерамических корпусах с холодильником Пельтье, что обеспечивает повышенную стойкость фотоприемников к ионизирующему излучению.

АО «НПП «ЭЛАР» занимается разработкой и изготовлением матричных КМОП-фотоприемников. За последние 10 лет предприятие разработано более 10 проектов в рамках как инициативных работ, так и в составе СЧ НИР и СЧ ОКР.

Предприятие в рамках ОКР разработало, изготовило и поставило фоточувствительные КМОП микросхемы (ФКМ) для аппаратуры астроориентации. ФКМ имеет фоточувствительную секцию форматом 1024×1024 элемента, с шагом 16 мкм и 12-ти разрядным АЦП на кристалле, вывод данных осуществляется по 12-ти разрядной ТТЛ-шине. Прибор поставляется в герметичном корпусе с холодильником Пельтье. Работы по договору завершены, присвоена литера О. На сегодняшний день ФКМ проходит летнюю эксплуатацию.

Завершена СЧ НИР по ТЗ АО «ЦНИИмаш» по разработке перспективной ФКМ для датчиков астроориентации. ФКМ имеет фоточувствительную секцию форматом 2048×2048 пикселей с шагом пикселей 8 мкм, ДКВ на кристалле, 14-ти разрядный АЦП, кадровая частота до 20 Гц, вывод данных осуществляется через 8 LVDS-портов. ФКМ поставляется в герметичном корпусе с холодильником Пельтье.

Полученные результаты позволяют с оптимизмом рассматривать перспективы развития производства фотоприемников данного типа. На данный момент начат ряд работ (как инициативных, так и по договорам со сторонними организациями) по разработке и изготовлению КМОП-фотоприемников для различных сенсорных систем.

СЕКЦИЯ № 2

КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ, СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ И АНТЕННЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ



ПРИМЕНЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ Д-18 И СПД-50М ДЛЯ ЭРДУ МКА. РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРИПТОНА ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭРДУ МКА

**Е. А. Яннаева, А. Ю. Чугунков, М. Ю. Берникова,
С. Ю. Приданников, П. А. Дронов**
(АО «ОКБ «Факел», г. Калининград)

Электроракетные двигатели (ЭРД) используются для решения задач в космическом пространстве уже более 50 лет. Их применение началось для решения задач коррекции орбиты космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и для коррекции параметров орбиты КА на геостационарной орбите. ЭРД заняли доминирующие позиции, как двигатели коррекции орбиты КА.

АО «ОКБ «Факел» является одним из лидирующих предприятий космической отрасли в разработке ЭРД, а также двигательных установок на их основе, обладающее индустриальным опытом серийной и массовой поставки двигателей для коммерческих и государственных заказчиков. Более 900 космических аппаратов с продукцией АО «ОКБ «Факел» запущено на орбиту и успешно эксплуатируется по назначению.

В настоящее время наиболее интенсивно развивающимся направлением космической отрасли является производство малых космических аппаратов (МКА) для применения в группировке ДЗЗ, которая направлена на обеспечение информационной поддержки при решении широкого спектра задач в различных сферах государственной хозяйственной деятельности.

С учетом современных требований и запросов заказчиков в АО «ОКБ «Факел» ведется разработка плазменных двигателей малой мощности разряда, а также ДУ на их основе для малых КА.

К таким двигателям относится двигатель с анодным слоем Д-18, на основе которого разработана ДУ размерностью менее 4,5U и мощностью разряда до 150 Вт для применения в составе КА формата CubeSat размерностью от 12U. Успешно завершена наземная экспериментальная отработка электроракетной двигательной установки на ксеноне, подтвержден суммарный импульс тяги не менее 4,5 кН·с, заказчику поставлены первые летные образцы.

Для МКА большей размерности, от 250 кг, АО «ОКБ «Факел» также создает моноблочные ЭРДУ различной компоновки на базе СПД-50М с номинальной мощностью разряда 300 Вт. Двигатели освоены в серийном производ-

стве. В настоящее время на орбите успешно работают более 530 двигателей СПД-50М.

При развертывании крупных группировок с большим количеством КА кроме требований к параметрам двигателя большое значение приобретают экономические аспекты, такие как стоимость производства двигателей и стоимость эксплуатации группировки. Одним из направлений снижения стоимости развертывания таких группировок является переход на альтернативное дорогостоящему ксенону рабочее тело – криптон.

Применение криптона в качестве рабочего тела позволит снизить стоимость развертывания и поддержания орбитальной группировки из сотен, а в перспективе и тысяч МКА. При всех экономических преимуществах возникает проблема увеличения габаритных размеров и массы ДУ из-за увеличения габаритно-массовых характеристик баллонов.

В докладе представлены информация по двигателю Д-18 и ДУ на его основе, а также результаты оптимизации компоновки ДУ на основе двигателя СПД-50М при переходе с ксенона на криптон. Приведены основные тяговые и удельные характеристики, а также особенности двигателя при функционировании на криптоне.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ НИЗКОЙ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В. В. Волоцув

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Для размещения группировок космических аппаратов (КА) дистанционно-го зондирования Земли (ДЗЗ) и обеспечения коммуникаций могут рассматриваться низкие (высотой ниже 500 км) и сверхнизкие (высотой ниже 400 км) рабочие орбиты. При снижении высоты орбиты появляются такие преимущества, к примеру, как улучшение детальности наблюдения и улучшение условий передачи данных по радио или лазерному каналу связи. В тоже время актуальной становится задача поддержания на длительном периоде (несколько лет) низкой или сверхнизкой рабочей орбиты, снижающейся из-за сопротивления верхней атмосферы Земли. В качестве средства поддержания орбиты часто рассматривается электрореактивная двигательная установка (ЭРДУ), которая потребляет при включении ощутимый уровень бортовой электроэнергии, но имеет низкий удельный расход рабочего тела по сравнению с химическими реактивными двигателями.

В данной публикации описан метод анализа и выбора проектных параметров ЭРДУ для исследуемого низкоорбитального (сверхнизко-орбитального) КА. В общем виде процесс проектного анализа можно представить в виде схемы как на рисунке.

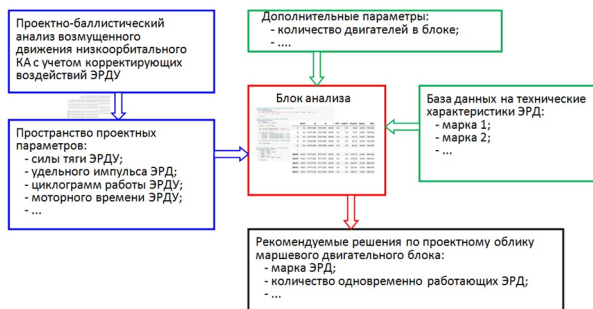


Схема проведения проектного анализа и выбора параметров ЭРДУ

В данном методе предусматривается анализ в многомерном пространстве проектных проектно-баллистических параметров низкоорбитального КА с ЭРДУ. Многомерное пространство параметров генерируется при проведении множества численных экспериментов с помощью соответствующих моделей проектно-баллистических расчетов и записывается в каталоги данных (базы данных) в форме табличных функций (цифровых моделей). В качестве одной из целевых функций (переменных) рассматривается вектор параметров устойчивого поддержания низкой рабочей орбиты КА на длительном интервале времени. Далее задача решается методами обработки цифровых табличных функций из базы данных с помощью специальных алгоритмов агрегации (к примеру, поиск минимума для выбранных параметров вектора целевой функции). Конечным решением задачи является множество проектных параметров ЭРДУ для исследуемого КА (вектора проектных параметров исследуемого КА).

В общем виде алгоритм метода включает в себя следующие этапы:

1. На основе проектно-баллистического анализа множества вариантов моделирования возмущенного движения (с учетом корректирующих воздействий от модели ЭРДУ) формируется пространство проектных параметров силы тяги, удельного импульса, циклограмм включений (и др.) в виде файлов таблиц данных (*.xlsx, *.csv, *.json).

2. Далее формируется база данных в форме таблиц с техническими характеристиками существующих электрореактивных двигателей (либо база данных уже была сформирована ранее и постоянно обновляется при появлении новых марок двигателей). Самый простой способ реализации в виде файла данных (*.xlsx, *.csv, *.json).

3. Организуется блок анализа с целью определения оптимальных решений по выбираемой марке электрореактивного двигателя, количеству одновременно работающих (и в резерве) двигателей. Блок анализа можно организовать с помощью методов обработки больших данных (BigData), к примеру, с использованием алгоритмов агрегации по интересующим критериям в среде Python (библиотеки Pandas, Sklearn и др.).

Для дальнейшего формирования проектного облика уже требуются знания по составу оборудования, которое требуется для организации работы ЭРДУ в составе бортовых систем всего КА в целом.

МАНЕВРИРОВАНИЕ РАЗГОННОГО БЛОКА НА ЭТАПЕ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Н. И. Сидняев

*(Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва)*

Доклад посвящен достаточно актуальной теме, а именно задаче о движении космического аппарата (КА) в составе разгонного блока (РБ). Выведение КА на заданные орбиты может осуществляться как прямым способом за счет последовательного срабатывания ступеней ракеты-носителя (РН), так и с использованием дополнительной ступени – РБ, в общем случае позволяющего реализовывать сложные схемы выведения, которые включают чередование активных и пассивных (баллистических) участков полета, оптимизирующих энергозатраты на выведение КА [1]. Прямой способ выведения характерен для построения орбит КА с малой высотой полета, а также эллиптических орбит (например, выведение на геопереходные орбиты КА). Простейшим разгонным блоком является так называемая апогейная ступень, одноразово срабатывающая в апогее переходной орбиты, сформированной РН. Решение задачи о движении КА в составе РБ является одной из важнейших проблем, на которых базируется проектирование. Движение должно быть организовано рационально, с учетом ряда ограничивающих факторов и условий. Главной функциональной единицей или средством выведения КА с опорной орбиты на целевую орбиту является РБ. Для выполнения этого РБ должен иметь возможность выполнять несколько маневров, связанных с изменением скорости полета, для чего в каждом случае предполагается включение маршевого двигателя. Также, любой РБ должен иметь дополнительную двигательную установку, обеспечивающую ориентацию и стабилизацию движения РБ с КА и создание условий для запуска маршевого двигателя. Управление работой двигателей может осуществляться от системы управления КА или от автономной системы управления самого РБ. Точность выведения КА на заданную орбиту является одной из главных летно-технических характеристик РБ, так как она в значительной степени определяет эффективность космических ракетных комплексов. В связи с этим при разработке ракетно-космических комплексов точности выведения полезной нагрузки уделяется серьезное внимание и требование к этой характеристике постоянно ужесточается. Отклонения фактических параметров траектории РБ от расчетных являются следствием возмущений, действующих на активном и пассивном участках траектории (отклонения от номинала внешних условий полета, ошибки приборов системы управления, разброс конструктивных параметров ракеты и двигательной установки и т.д.). Учитывая, что на активном участке траектории движение ракеты управляемое, отклонения параметров в

момент выключения двигателя определяются в конечном итоге методической и инструментальной ошибками системы управления. Решение баллистических задач проводится путем математического моделирования тех реальных процессов, которые происходят при полете РБ. Для такого моделирования необходимо иметь математическое описание РБ, внешних условий, в которых протекает полет и взаимодействия РБ с внешним пространством. Необходимо также условиться о мерах отсчета основных физических величин, с которыми придется иметь дело, и определить системы координат относительно которых будут проводиться расчеты. Движение должно быть организовано рационально, с учетом ряда ограничивающих факторов и условий. Для выполнения этого РБ должен иметь возможность выполнять несколько маневров, связанных с изменением скорости полета, для чего в каждом случае предполагается включение маршевого двигателя. Также, любой РБ должен иметь дополнительную двигательную установку, обеспечивающую ориентацию и стабилизацию движения РБ с КА и создание условий для запуска маршевого двигателя. Управление работой двигателей может осуществляться от системы управления КА или от автономной системы управления самого РБ. Отклонения фактических параметров траектории РБ от расчетных являются следствием возмущений, действующих на активном и пассивном участках траектории (отклонения от номинала внешних условий полета, ошибки приборов системы управления, разброс конструктивных параметров ракеты и двигательной установки и т.д.). Учитывая, что на активном участке траектории движение ракеты управляемое, отклонения параметров в момент выключения двигателя определяются в конечном итоге методической и инструментальной ошибками системы управления. Решение баллистических задач проводится путем математического моделирования тех реальных процессов, которые происходят при полете РБ. Для такого моделирования необходимо иметь математическое описание РБ, внешних условий, в которых протекает полет и взаимодействия РБ с внешним пространством. Необходимо также условиться о мерах отсчета основных физических величин, с которыми придется иметь дело, и определить системы координат относительно которых будут проводиться расчеты. В заключении можно отметить, что оценка точностных характеристик разгонного блока как научная дисциплина является одним из разделов динамики полета ракет и включает в себя совокупность наук, таких как теоретическая механика, механика полета, теория гироскопов и инерциальных систем, теория колебаний, теория вероятностей и математическая статистика и др.

Список источников

Сидняев Н. И. Методики расчета влияния электродинамического поля в ионосфере на космический аппарат // Космические исследования. 2022. Т. 60. № 3. С. 196–205. DOI : 10.31857/S0023420622020066.

УТОЧНЕНИЕ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ И ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ОПОРНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ДАННЫХ

С. И. Гусев, В. А. Ушенкин

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

В докладе рассматривается задача уточнения угловой ориентации и орбитального движения космического аппарата радиолокационного наблюдения Земли путем анализа целевой информации в сбойных ситуациях, когда точность собранной на борту измерительной информации оказывается недостаточно высокой.

Уточнение угловой ориентации выполняется в 2 этапа.

На первом этапе уточняются углы рысканья и тангажа на основе оценивания доплеровского центроида в процессе автофокусировки радиоголограммы, сформированной целевой аппаратурой. При этом оценивание относительного значения доплеровского центроида и разрешение доплеровской неоднозначности выполняются совместно, что позволяет сократить число повторных фокусировок радиоголограммы и повысить оперативность формирования информационных продуктов.

На втором этапе уточняется угол крена в процессе статистической радиометрической коррекции радиолокационного изображения, полученного в результате автофокусировки радиоголограммы. При этом предполагается, что наблюдаемый участок земной поверхности можно представить в виде преобладающей совокупности радиометрически однородных объектов, разделенных резкими границами.

Уточнение орбитального движения выполняется после формирования и радиометрической коррекции радиолокационного изображения на основе его автоматического совмещения с высокоточно привязанным опорным оптическим изображением. Для достижения приемлемой скорости совмещение выполняется многомасштабно с применением коэффициента корреляции Пирсона, предварительного преобразования яркостей совмещаемых изображений и отбраковки недостоверных результатов корреляции. Опорное изображение перед совмещением деортотрансформируется в систему координат радиолокационного изображения с привлечением цифровой модели высот.

В докладе приведены результаты экспериментальной отработки предложенных решений с использованием радиоголограмм и радиолокационных изображений от зарубежных космических аппаратов, оптического растрового покрытия в сервисе Google Планета Земля и опорной цифровой модели высот Copernicus DEM [1].

Список источников

Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model (COP-DEM). URL : <https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model> (дата обращения: 19.08.2025).

ЭЛЕКТРОРАКЕТНАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ

М. Ю. Селиванов

*(Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации
«Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», г. Москва)*

Представлены результаты работ по разработке современных модульных электроракетных двигательных установок (ЭРДУ) на базе многорежимных холловских и ионных двигателей.

Разработка ведется на базе четырех двигателей:

- холловского двигателя КМ-20 (мощность от 100 Вт);
- холловского двигателя КМ-35 (мощность от 250 до 450 Вт);
- холловского двигателя КМ-55 (мощность от 700 до 1300 Вт);
- ионного двигателя ИД-100 (мощность от 200 до 1400 Вт).

Выбор варианта двигателя из разрабатываемой линейки, а также режима работы и рабочего тела ксенона или криптона позволит обеспечить соответствие широкому спектру требований к двигательным установкам перспективных МКА ДЗЗ.

Во всех вариантах комплектации в составе ЭРДУ применяется универсальный блок подачи рабочего тела (БПРТ), который обеспечивает распределение необходимых расходов рабочего тела в магистрали двигателей.

Разрабатываемые системы преобразования и управления двигателями унифицированы по первичному питанию, алгоритмам управления и служебным источникам питания, таким как источники питания магнитов, накала и поджига катода, а также элементов БПРТ.

ЛИНЗА С ГРАДИЕНТНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОХОДНОЙ АФАР

Е. В. Овчинникова, А. Н. Рогов

(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва)

Проходные фазированные антенные решетки (ПФАР) получили широкое распространение в радиолокации. Как правило, в качестве облучателя используются рупорные антенны, что является устаревшим решением и требует модернизации. За счет применения линзы возможно улучшить характеристики направленности и уменьшить амплитудно-фазовые ошибки при возбуждении основного полотна.

ПФАР имеют ряд преимуществ, таких как: высокий КПД, большей возможностью для размещения систем охлаждения, возможность создавать большие апертуры с высокой эффективностью и т.д. К недостаткам можно отнести узкополосность, наличие ошибок возбуждения, повышенные требования к расстоянию АФАР-облучатель. На текущий момент есть несколько способов изготовления радиолинз с градиентным изменением показателя преломления. По сути их можно разделить на диэлектрические и резонансные (метаматериалы) структуры. На рис. 1 показана модель линзы с изменяющейся диэлектрической проницаемостью, который достигается за счет разного коэффициента заполнения элементарных ячеек при 3D печати. На рис. 2 показано сечение E -плоскости линзы и диполя, который служит источником сферического фронта волны.

Известны цепи с двойным преобразованием для перекрывающихся подрешеток [3]. Если рассмотреть возможность замены облучающего рупора аналого-цифровую фазированную антенную решетку, то появляется возможность формировать столовидную диаграмму направленности [4]. При этом наблюдается неравномерное распределение энергии как со стороны приема, так и со стороны передачи, что ухудшает динамический диапазон системы. Для увеличения равномерности распределения энергии можно использовать GRIN линзу.

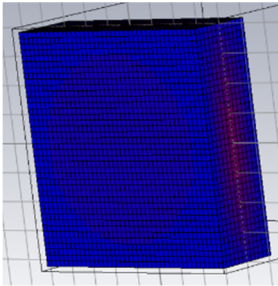


Рис. 1. Модель GRIN линзы

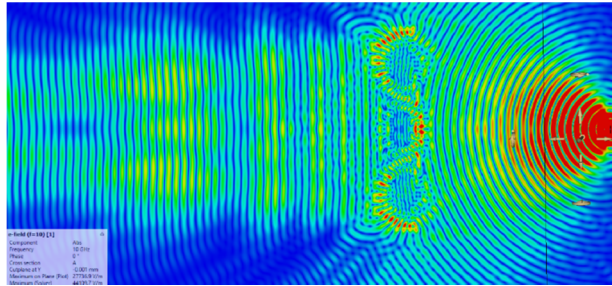


Рис. 2. Сечение E -плоскости

Список источников

1. A Novel Collapsible Flat-Layered Metamaterial Gradient-Refractive-Index (GRIN) Lens Antenna / Anastasios Papathanasopoulos [et al.] // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2019. Vol. XX. No. X.
2. Garcia N., Wang W., Chisum J. Feed corrective lenslets for enhanced beamscan in flat lens antenna systems // Optics Express. 2022. Vol. 30. No. 5.
3. Mailloux R. J. Electronically Scanned Arrays. San Rafael : Morgan & Claypool Publishers, 2007. 81 p. (Synthesis Lectures on Antennas).
4. Скобелев С. П. Фазированные антенные решетки с секторными парциальными диаграммами направленности. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. 320 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СОЧЛЕНЕНИЯ

Е. В. Овчинникова, А. Д. Филимонов

*(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва)*

Вращающиеся сочленения используются в антенных системах с механическим сканированием. Такие антенны позволяют реализовать широкоугольное сканирование с малым искажением характеристик направленности. Они также широко применяются в условиях, в которых необходимо учитывать воздействие механических нагрузок, вибрации, сложного теплового режима и радиации [1 – 3]. Поэтому антенны с механическим сканированием и в настоящее время используются в наземных и бортовых системах спутниковой связи [4 – 8]. Поворотные устройства обеспечивают высокую надежность. Они технологичны, рентабельны и способны выдерживать большие механические нагрузки. Отличительной особенностью поворотных устройств является возможность работы на различных частотах, вплоть до миллиметрового диапазона волн [9 – 11].

В настоящее время актуальной задачей является построение сканирующих систем спутниковой связи. Рис. 1 иллюстрирует применение рупорных антенн для радиолиний передачи целевой информации (РЛЦИ) с высоким коэффициентом усиления, размещаемых на иностранных МКА. Антенна позволяет осуществлять широкоугольное сканирование с помощью поворотного устройства, излучает поля как правой, так и левой круговой поляризации и обеспечивает усиление 15 дБи.

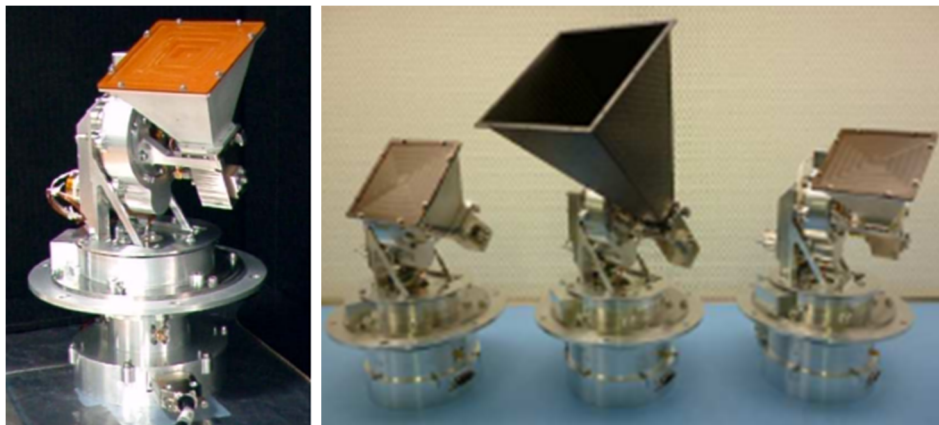


Рис. 1. Фотографии рупорных антенн с поворотным устройством

Основными направлениями модернизации ВС остаются: расширение рабочей полосы частот, повышение электрической и механической прочности, увеличение скорости вращения и уменьшение потерь энергии. На рис. 6 – 8 приведены конструкции поворотных устройств, применяемых в различных диапазонах частот.



Рис. 2. Вращающееся сочленение, работающее в диапазоне частот 26 – 32 ГГц

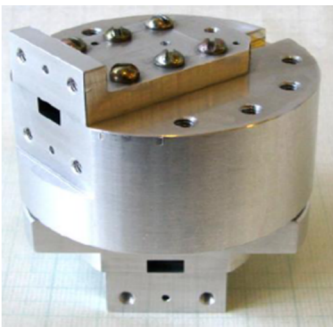
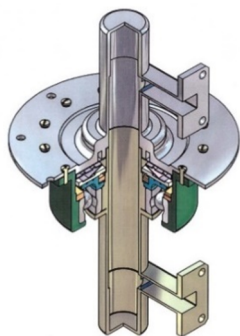


Рис. 3. Вращающееся сочленение, работающее в диапазоне частот 31,3 ÷ 34,4 ГГц

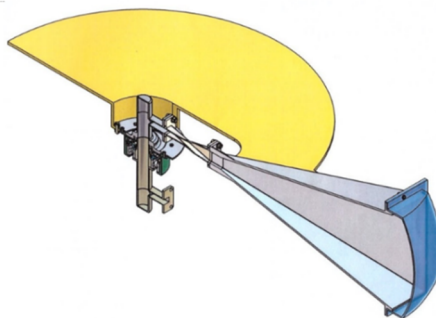


Рис. 4. Вращающееся сочленение, работающее в диапазоне частот 10,7 ... 14,5 ГГц

Вращающееся сочленение с гасящими объемами имеет простую конструкцию, поэтому оно было выбрано для моделирования в качестве тестовой задачи. На рис. 5 приведена конструкция ВС и пример его применения в качестве поворотного устройства для рупорной антенны [15]. Из этого можно сделать вывод – чем уже щель между стенкой волновода и ребром перегородки, тем больше приближение.



а



б

**Рис. 5. а – общий вид сочленения с гасящими объемами;
б – рупорная антенна с механическим сканированием**

На рис.6 приведена зависимость КСВ от частоты для ВС с гасящими объемами.

Возбудители на основе скалярных мод известны, однако значительное внимание им уделено в работах В.А. Калошина [16 – 18]. Модель возбуждителя, рассмотренного в работе [19], приведена на рис.7. На рис.8 показана зависимость КСВ от частоты. Различные области применения и конструкции возбуждителей скалярных мод E_{01} и H_{01} описаны в работе [19]. Такие возбуждители могут применяться, как элементы распределительных систем антенных решеток и отдельных излучателей.

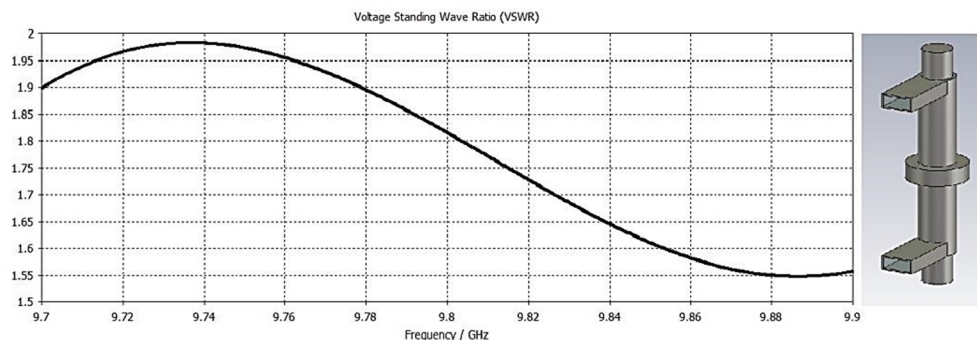


Рис. 6. Зависимость КСВ от частоты для ВС с гасящими объемами

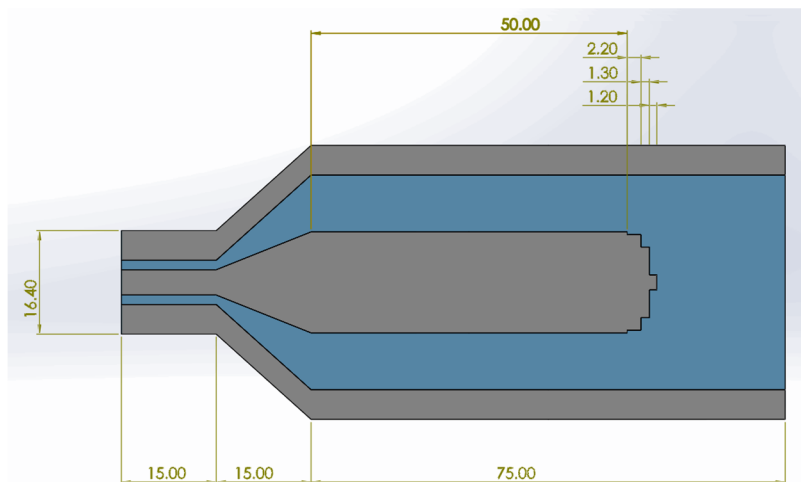


Рис. 7. Модель возбуждителя волны E_{01}

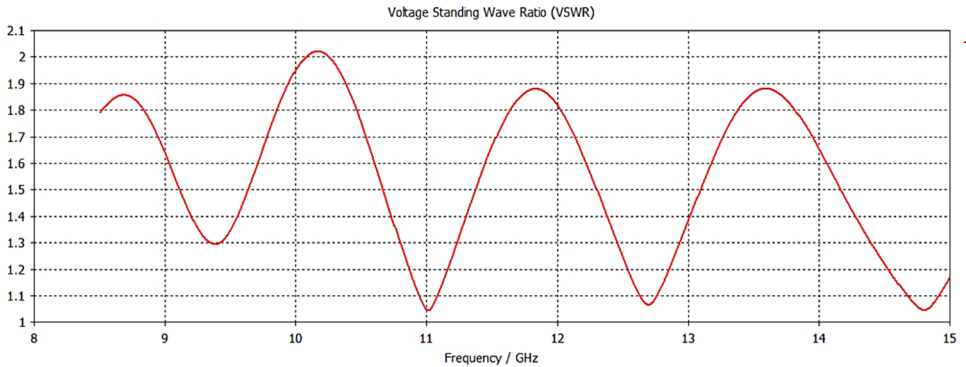


Рис. 8. Зависимость КСВ от частоты

Возбудитель работает в широкой полосе частот и может быть использован для возбуждения волны E_{01} в круглом волноводе поворотного устройства. Общий вид ВС с возбудителем волны E_{01} показан на рис. 9. На рис. 10 приведена зависимость КСВ от частоты.

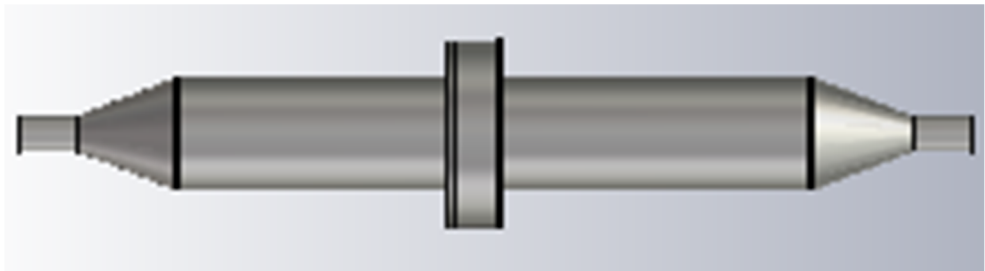


Рис. 9. Общий вид ВС с возбудителем волны E_{01}

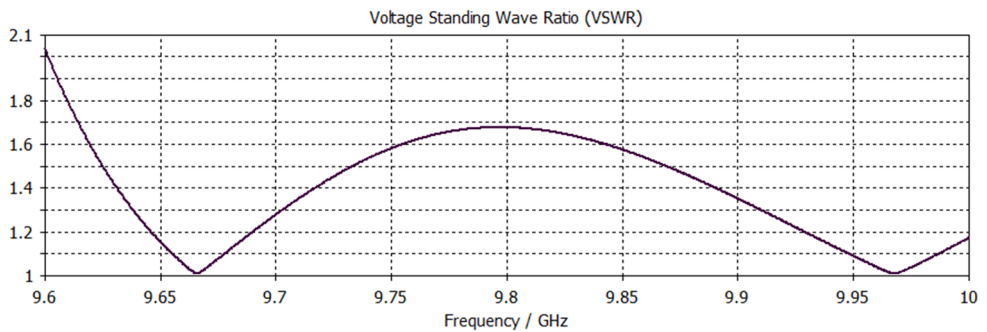


Рис. 10. Зависимость КСВ от частоты

В работе рассмотрены ВС различных конструкций, применяемые в мобильных наземных системах связи и системах спутникового телевидения. Проведено исследование этих характеристик для ВС с возбудителями волны E_{01} , а также приведены результаты моделирования возбудителя волны E_{01} . Отмечено, что такой возбудитель работает в широкой полосе частот. В качестве тестовой задачи разработана модель ВС с гасящими объемами. Показано, что такая конструкция громоздкая и применение возбудителей волны E_{01} ее существенно упрощает. Построена модель и определены частотные характеристики ВС с возбудителями волны E_{01} .

Список источников

1. Advanced Antennas for Small Satellites / Steven Gao [et al.] // Proceedings of the IEEE. 2018. Vol. 106. No. 3. P. 391–403.
2. Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. К вопросу о построении остронаправленной перенацеливаемой бортовой антенны космических аппаратов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2018. Т. 164. № 3. С.26–31.
3. Моделирование коаксиального вращающегося сочленения / Е. В. Овчинникова [и др.] // Антенны. 2020. №5 (267). С. 56–63.
4. Антенные решетки спутниковых мобильных телекоммуникационных систем/ Е. В. Овчинникова [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2021. Т. 182. № 3. С. 39–54.
5. Антенные решетки систем спутникового телевидения (обзор) / Е. В. Овчинникова [и др.] // Антенны. 2016. № 4. С. 22–33.
6. Бобков В., Званцуг Н. Антенные системы SOTM (Satcom-On-The-Move) ООО «Технологии Радиосвязи» // Специальный выпуск «Спутниковая связь и вещание-2019», приложение к журналу «Технологии и средства связи». 2019. С. 42–44.
7. Патент № US 5349363. Milroy W. W. Antenna array configuration employing continuous transverse stub elements. Опубликовано 20.09.1994.
8. Патент № US 5266961. Milroy W. W. Continuous transverse stub element devises and method of making same. Опубликовано 30.11.1993.
9. Харвей А. Ф., Зузенко В. Л., Кислов А. Г. Техника сверхвысоких частот: в 2 т. Т. 1. М. : Сов. радио, 1965. 784 с.
10. Драбкин А. Л. Антенно-фидерные устройства. М. : Сов. радио, 1974. 536 с.
11. Вращающееся сочленение КВЧ-диапазона / А. П. Евдокимов [и др.] // Радиофизика и электроника. 2010. Т. 15. № 2. С. 22–26.
12. Павлов С., Филиппов А. Антенные фазированные решетки. Обзор компонентной базы для реализации приемопередающих модулей // Компоненты и технологии. 2014. С. 57–62.
13. Пономарев Ю., Павлов С. Компоненты для обеспечения механического позиционирования антенных систем // Компоненты и технологии. 2014. № 7. С. 30–34.

14. Лобанов В. Компания diamond antenna and microwave corp. Вращающиеся сочленения для передачи СВЧ- и НЧ-сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. С. 46–56.
15. Овчинникова Е. В., Кондратьева С. Г. Расчет и конструирование вращающихся сочленений : учебное пособие. М. : Изд-во МАИ, 2024. 63 с.
16. Калошин В. А., Фам Ван Чунг. Возбудители скалярных мод круглого волновода // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2021. № 5. DOI : 10.30898/1684-1719.2021.5.8.
17. Калошин В. А., Фам Ван Чунг. Сверхширокополосный возбудитель моды H_{01} круглого волновода // Радиотехника и электроника. 2021. Т. 66. № 6. С. 565–570. DOI : 10.31857/S0033849421060140.
18. Калошин В. А., Фам Ван Чунг. Широкополосные антенные решетки на основе круглого волновода с модой H_{01} // Радиотехника и электроника. 2021. Т. 66. № 6. С. 594–601. DOI : 10.31857/S0033849421060152.
19. Фам Ван Чунг. Широкополосные излучающие системы на основе круглого волновода : дис. ... кандидата физико-математических наук : 2.2.14. М., 2021. 102 с.

ДЕКОДИРОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ С ВЫКАЛЫВАНИЕМ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Л. Л. Кузнецов, А. Э. Москвитин

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

В докладе рассматривается задача декодирования сверточных кодов с выкалыванием в системах спутниковой связи. Основное внимание уделяется способу определения значений выколотых символов.

Исследуются две стратегии восстановления выколотых символов.

Первая стратегия представляет собой «жесткое» принятие решений о значении выколотого символа. В этом случае считается, что все выколотые символы имели одинаковое значение – «0» или «1», и на декодер подается восстановленная таким способом последовательность символов.

Вторая стратегия представляет собой «мягкое» принятие решений о значении выколотого символа. В его основе лежит перекодирование символов восстанавливаемой последовательности путем присваивания им весов. Ранжирование осуществляется так, чтобы больший вес имели символы с большей достоверностью. Считается, что символы, которые были непосредственно приняты из канала связи, являются достоверными и имеют максимальный вес (одинаковый и для «0», и для «1»). Тем символам, которые были выколоты, присваивается меньший вес. Таким образом, декодер принимает решение о передаваемом символе, учитывая достоверность, путем расчета метрик путей и выбора наименьшей.

В качестве способа расчета метрики путей могут использоваться два расстояния: по Хэммингу и по Евклиду. В случае использования метрики по Хэммингу расстояние между «0», неизвестным символом и «1» одинаковое, при использовании метрики по Хэммингу такого правила нет.

В докладе приведены результаты экспериментальной оценки точности восстановления исходной последовательности символов с помощью «жесткого» и «мягкого» способа принятия решений. Показано, что предлагаемый способ «мягкого» принятия решений обеспечивает во много десятков раз большую точность восстановления символов.

Список источников

Декодирование свёрточного кода по алгоритму Витерби, улучшенный алгоритм [Электронный ресурс]. URL : <https://soltau.ru/index.php/themes/dev/item/607-dekodirovanie-svjortochnogo-koda-po-algoritmu-viterbi-uluchshennyj-algoritm>.

УЛУЧШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ БИРОТОРНЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН

А. Б. Захаренко, Д. Ю. Носов

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Известно множество приводов, где желательно скомпенсировать вращающий момент, действующий на закреплённый статор. К таким приводам можно отнести: *поворотные приводы космического назначения*, беспилотные летательные аппараты с нечетным числом винтомоторных групп, электроторопеды. Для таких приводов наилучшим образом подходят бироторные электромашины (БРЭМ), состоящие из одного статора с зубцовой обмоткой и двух роторов, вращающихся в противоположных направлениях. Принцип работы БРЭМ определяет обширный гармонический состав электромагнитной индукции, МДС и ЭДС и, как правило, низкий КПД – не более 50%, что препятствует применению БРЭМ. Для обеспечения их широкого внедрения КПД нуждается в улучшении.

Вышеупомянутый обширный гармонический состав определяет большие магнитные потери при применении сердечников статора и ротора из традиционных кремниевых электротехнических сталей. Возможность снижения магнитных потерь (рисунок) обеспечивается, прежде всего, применением современных аморфных сплавов на основе железа, имеющих примерно в 10 раз меньшие удельные потери, чем у кремниевых сталей. Однако, индукция насыщения аморфных сплавов примерно на 30% ниже, чем у кремниевых электротехнических сталей, поэтому для сохранения величины магнитного потока приходится увеличивать площадь зубцов статора и уменьшать площадь пазов. При заданных габаритах эффективная площадь электрических проводников обмотки статора должна быть уменьшена, что, в свою очередь, увеличивает электрические потери.

Для снижения электрических потерь предлагается применять способ упорядоченный намотки обмотки статора. Этот способ ранее применялся только для погружных электромашин. В отличие от наиболее распространенного способа «случайного» распределения проводников в пазу он позволяет увеличить коэффициент заполнения паза на 5,5%.

В результате проведённого анализа технических решений (рисунок) удалось спроектировать БРЭМ прямого двухкоординатного привода антенно-

фидерной системы перспективного космического аппарата с компенсацией реактивного момента и частотой вращения 10 – 12 об/мин. При этом удалось добиться КПД 83 – 88%, что вполне приемлемо.



Схема алгоритма выбора технических решений при проектировании БРЭМ

ВЫБОР ГЛАВНЫХ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А. Б. Захаренко, И. А. Тепляков
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Электродвигатели для привода воздушных винтов (ЭДВВ) с возбуждением от постоянных магнитов обладают наилучшими массогабаритными характеристиками и используются в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). Применение постоянных магнитов, намагниченных по схеме Хальбаха, позволяет обойтись не только без магнитных ярем ротора, но и без сердечников статора, т.е. сделать активную часть ЭДВВ состоящей только из постоянных магнитов и обмотки статора. Это позволяет снизить массу электродвигателя, что важно для применения на БПЛА.

Выбор главных размеров (диаметра статора D и осевой длины l_δ) и основных электромагнитных нагрузок (линейной токовой нагрузки A и магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ) является важной частью проектирования ЭДВВ.

Из классической литературы по электромашинам [1] известно выражение для машинной постоянной Арнольда:

$$C_A = \frac{D^2 l_\delta \Omega}{P'} = \frac{2}{\pi \alpha_\delta k_{B1} k_{об} A B_\delta}, \quad (1)$$

где Ω – частота вращения, рад/сек; P' – расчетная электромагнитная мощность, Вт; A – линейная нагрузка, А/м; k_{B1} – коэффициент формы поля; $k_{об}$ – обмоточный коэффициент.

Исходя из формулы для машинной постоянной Арнольда, осевую длину можно определить из выражения:

$$l_\delta = \frac{2 P'}{\pi \alpha_\delta k_B k_{об} A B_\delta D^2 \Omega} \quad (2)$$

при этом m – число фаз обмотки якоря, I – фазный ток, w – число последовательно соединенных витков в фазе, а линейная токовая нагрузка определяется формулой:

$$A = m I w / D, \quad (3)$$

расчетная электромагнитная мощность:

$$P' = mIE = \frac{P_2 k_E}{\eta \cos(\varphi)}, \quad (4)$$

где E – ЭДС обмотки статора, В; P_2 – мощность на валу двигателя, Вт; k_E – отношение ЭДС к номинальному напряжению; η – КПД; $\cos(\varphi)$ – коэффициент мощности.

В формуле (2) приведены ещё следующие величины: α_δ – коэффициент полюсного перекрытия, который обычно находится в пределах 0,6 – 0,8 и нуждается в уточнении при оптимизации; $k_{об}$ – обмоточный коэффициент для первой гармоники магнитного поля, который в первом приближении можно принять равным 0,95 и далее уточнить при выборе схемы обмотки; B_δ – максимальная индукция в воздушном зазоре, для ЭДВВ со схемой Хальбаха достигает 1,2 – 1,5 Тл;

$$\Omega = 2\pi f/p, \quad (5)$$

где $f = \frac{np}{60}$, n – частота вращения, об/мин, p – число пар полюсов. При этом полюсное деление τ связывает диаметр D и число пар полюсов p :

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}. \quad (6)$$

Необходимая частота вращения n определяется воздушным винтом БПЛА.

Для правильного выбора числа пар полюсов ЭДВВ необходимо выбрать диаметр D и полюсное деление τ . Выбору этих величин посвящена работа [2]. В результате проведённых расчетов получено, что для обеспечения максимальной дальности полёта БПЛА при заданном вращающем моменте и допустимой плотности тока электродвигателя, необходимо выбирать минимально возможный по соображениям размещения обмотки диаметр электродвигателя.

Список источников

1. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров / И. П. Копылов [и др.] : под ред. И. П. Копылова. М. : Юрайт, 2015. 767 с.
2. Захаренко А. Б., Тепляков И. А. Выбор диаметра торцевого электродвигателя с постоянными магнитами, собранными по упрощенной схеме Хальбаха, для летательного аппарата // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2025. Т. 205. № 2. С. 7–12.

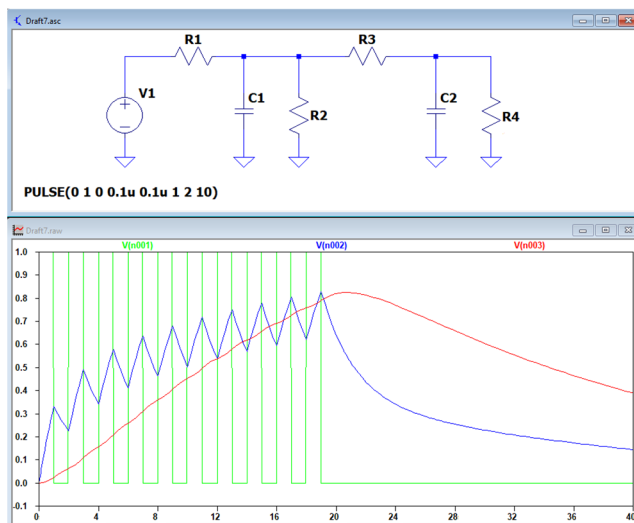
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПА ПОДОБИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Л. Н. Германов

(АО «НПО Лавочкина», Московская область, г. Химки)

Основу предложенного подхода моделирования составляют «Принцип подобия электрических и тепловых цепей», «Эквивалентная электрическая схема замещения (тепловая SPICE-модель) НЭСТ в составе СОТР» и «Алгоритма управления НЭСТ в составе СОТР» [1]. Процесс создания модели связан с трансляцией физической структуры теплового компонента в электрическую схему. Подобное преобразование возможно благодаря выявленному принципу подобия, согласно которому к расчёту тепловых сетей применимы некоторые приёмы расчёта электрических цепей с нелинейными сопротивлениями.

В качестве основы Принципа подобия электрических и тепловых цепей для комплексного моделирования СОТР синтезирована элементарная эквивалентная электрическая схема замещения (тепловая SPICE-модель) НЭСТ (рисунок).



Элементарная эквивалентная электрическая схема замещения НЭСТ
и графики основных характеристик

На рисунке обозначены: зелёным цветом – график задающих импульсов; синим цветом – график температуры НЭСТ; красным цветом – график температуры элементарного участка корпуса КА (ИП АИС).

Участок $I1+R1+C1+R2$ – источник тепловой энергии (упрощённая модель цепей управления ШИМ-контроллера, драйвера, выходного ключа для i -го канала СОТР, фильтр, i -й НЭСТ);

$R1$ – эквивалент потерь в цепях передачи энергии к НЭСТ;

$C1$ – эквивалент тепловой инерционности НЭСТ (определяет скорость нагрева/остывания НЭСТ) без учёта влияния корпуса КА и ИП АИС;

$R2$ – эквивалент тепловых потерь внутри НЭСТ, обусловленных в т.ч. омическим активным сопротивлением НЭСТ – определяет скорость остывания НЭСТ без учёта влияния корпуса КА и ИП АИС;

$R3$ – эквивалент тепловых потерь подложки (контакта) НЭСТ, обусловленные тепловым сопротивлением связующих слоёв между корпусом КА (ИП АИС) и НЭСТ (таких как клей, стеклотекстолит, лак, покрытие корпуса КА и ИП АИС, термопаста);

$C2$ – эквивалент тепловой инерционности корпуса КА и ИП АИС (определяет скорость нагрева/остывания элементарного i -го участка корпуса КА и ИП АИС);

$R4$ – эквивалент тепловых потерь корпуса КА и ИП АИС, обусловленный потерями тепла на «обогрев» окружающей среды – определяет скорость остывания элементарного i -го участка корпуса КА и ИП АИС.

Совместное использование предложенных «Принципа подобия электрических и тепловых цепей», «Комплексной эквивалентной электрической схемы замещения (тепловой SPICE-модели) НЭСТ в составе СОТР» и «Алгоритма комплексного управления группой НЭСТ в составе СОТР» [1] позволяют:

- регламентировать алгоритмы управления и испытаний НЭСТ (равно как и алгоритм работы АИС НЭСТ);

- оптимизировать режимы работы СЭС КА и СЭС АИС по энергетической эффективности;

- прогнозировать и выявлять на ранних стадиях отклонения множества параметров группы НЭСТ в партии до начального этапа эксплуатации.

Список источников

Германов Л. Н. Направление развития методов моделирования, алгоритмов управления и средств испытаний электронагревателей для систем обеспечения тепловых режимов космических аппаратов // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований: сб. ст. по матер. ХС междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск : СибАК, 2025 (в печати).

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А. И. Груздев, М. С. Шевцов

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Создание конкурентоспособных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА) и группировок на их основе для социально-экономического развития страны требует решения целого комплекса задач. Применяемые широко в КА системы электроснабжения (СЭС) на базе батареи фотоэлектрических преобразователей (СБ) и литий-ионной аккумуляторной батареи (АБ), подключенные к электрической шине нестабилизированного питания бортовой аппаратуры (БА), имеют большие перспективы, но мало изучены. Учитывая, что СЭС является одной из важнейших бортовых систем КА, любые сбои в работе которой приводят к нарушению функционирования БА, а ее отказ делает невозможной дальнейшую работу всего КА, приоритетной задачей является разработка новых решений при построении СЭС КА, направленных на повышение их срока службы для возможности длительного функционирования по целевому назначению в составе орбитальной группировки. Этого можно достичь, повысив эффективность генерации и отказоустойчивость их СЭС, а также обеспечив снижение темпов деградации параметров ее составных частей. При проектировании КА с мощной БА требуется обеспечить защиту его оборудования от электрического пробоя и дугообразования, возникающих даже при использовании напряжения 40 – 70 В.

Анализ научно-технической и патентной информации показывает, что существующие технические решения и системные подходы к построению СЭС при создании долгоживущих КА не обеспечивают в полной мере требуемого сегодня уровня надежности и отказоустойчивости из-за широкого применения в составе СЭС электронных блоков, использующих чувствительные к воздействию ионизирующего излучения космического пространства (ИИ КП) электрорадиоизделия (ЭРИ) с высокой степенью интеграции, на базе которых строятся: электронные ключи, преобразователи напряжения и микроконтроллеры. Согласно экспертным оценкам более 50 % отказов в работе бортовой аппаратуры КА обусловлено неблагоприятным влиянием ИИ КП. Создание эффективных средств защиты от дуговых разрядов является отдельной сложнейшей научно-технической задачей.

Коллективом АО «Корпорация «ВНИИЭМ» разработаны и защищены патентом на полезную модель РФ № 211054 и патентом на изобретение РФ № 2778262 системные и схмотехнические решения построения СЭС, позволяющие:

1) повысить на 20% эффективность ее электрической генерации по сравнению с реализуемыми в настоящее время техническими решениями построения СЭС с СБ, электрически соединенной через электронные ключи с шиной питания бортовой аппаратуры, к которой подключена АБ;

2) увеличить ее отказоустойчивость за счет уменьшения числа последовательно соединенных фотоэлектрических преобразователей в цепи солнечных генераторов и увеличения числа их параллельно соединенных цепей, а также за счет исключения из состава СЭС чувствительных к ИИ КП ЭРИ с высокой степенью интеграции;

3) исключить для защиты ее АБ от перезаряда электронные преобразователи, микропроцессорные блоки управления и другие полупроводниковые ЭРИ с высокой степенью интеграции. Защита от перезаряда АБ достигается благодаря оптимально подобранным электрическим конфигурациям солнечной и аккумуляторной батарей, обеспечивающим автоматическое снижение мощности генерации СБ по мере заряда АБ;

4) при проектировании КА с мощной БА избежать возникновения электрического пробоя и дугообразования в составных частях СЭС без использования средств токовой защиты.

На борту космического аппарата «Канопус-В»-О запланировано проведение натурного эксперимента для проверки разработанных технических решений с использованием макетного образца СЭС. Материалы по его созданию были включены в эскизный проект (шифр «Канопус-В»-О), в котором был определен состав макетного образца и разработана его электрическая структурная схема.

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**В. Д. Власов, А. И. Груздев, А. Б. Желубенкова,
Ю. А. Иванова, Д. А. Мишуков**
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Сегодня одной из важнейших задач космической отрасли является наращивание орбитальных группировок отечественных КА, характеристики которых соответствуют или превышают параметры лучших мировых аналогов. В условиях ведения СВО особое значение приобретает быстрое развертывание группировок низкоорбитальных КА ДЗЗ. При этом наряду с использованием крупногабаритных КА, оснащенных оптико-электронной, радиолокационной, сверхвысокочастотной аппаратурой, аппаратурой для сбора информации с наземных объектов, весьма перспективно создание группировок существенно более дешевых малых и сверхмалых (по стандарту CubeSat) КА. Для этого требуется решение целого комплекса задач, в том числе разработка нового поколения и организации серийного производства типоразмерного ряда систем электроснабжения (СЭС) и ее составных частей (СЧ): солнечных (БС) и аккумуляторных батарей (АБ), аппаратуры регулирования и контроля, электронных преобразователей напряжения и др.

СЭС является одной из тех бортовых обеспечивающих систем, продолжительность сохранения заданных характеристик которой определяет срок активного существования (САС) КА. Поэтому наряду с повышением удельных энергетических и мощностных параметров СЭС особое внимание при ее проектировании уделяется повышению надежности, отказоустойчивости, живучести, радиационной стойкости, а также минимизации скорости деградации параметров ее основных СЧ в условиях воздействия ионизирующего излучения космического пространства.

Одним из важнейших требований при проектировании СЭС низкоорбитальных КА является обеспечение срока службы АБ 5 – 7 лет при циклическом ресурсе не менее 30 – 45 тысяч циклов. Для его выполнения кроме использования при проектировании и изготовлении АБ оптимальных системных, схмотехнических, конструктивных и технологических решений, аппаратура бортовых систем КА должна обеспечить оптимальные рабочие

напряжения, глубину разряда, а также токовые и температурные режимы заряда и разряда АБ.

Используемые технические решения при создании СЧ СЭС прежде всего определяются мощностью электропитания бортовой нагрузки и конструктивным исполнением КА. Так высокое (более 3 кВт) энергопотребление бортовых систем требует увеличения не только мощности генерации БС и емкости АБ, но и повышения рабочего напряжения на бортовой шине электропитания (БШЭ) для минимизации массогабаритных показателей и снижения токов и тепловыделения в составных частях СЭС и в кабельной сети КА. Однако, необходимо учитывать, что уже при напряжении 50–70 В на БШЭ возможно возникновение электрического пробоя и дуговых разрядов в оборудовании без эффективной токовой защиты. Прежде всего этой опасности подвержены БС, имеющие обычно напряжение существенно более высокое по сравнению с напряжением БШЭ.

Для малых КА, у которых мощность энергопотребления целевой нагрузки и бортовых обеспечивающих систем и агрегатов относительно не велика, сегодня востребованы СЭС с номинальным напряжением БШЭ 30 В. В отличие от СЭС больших КА, на которых имеется возможность резервирования АБ, на малых КА они не резервируются и должны обладать повышенной надежностью и отказоустойчивостью. Кроме того, они должны иметь гарантированное отсутствие газовыделения в штатных, нештатных и аварийных режимах эксплуатации на орбите во избежание выхода из строя оптико-электронной ЦН, а также минимальные магнитный момент и внутреннее электрическое сопротивление для снижения требований к системе стабилизации и терморегулирования КА.

Также следует отметить, что для увеличения числа группировок малых КА необходим переход на индустриальную модель создания космической техники и организация производства широкого параметрического ряда конструктивно унифицированных АБ, так как их емкость в зависимости от параметров орбиты КА может варьироваться в широких пределах: от нескольких десятков до нескольких сотен А·ч в случае эксплуатации на высотах ниже 350 км из-за больших энергозатрат на поддержание орбиты.

Особенностью сверхмалых КА ДЗЗ является относительно небольшой САС (около 1 года), вследствие относительно низких орбит эксплуатации и отсутствия аппаратных средств поддержания высоты орбиты. Их создание стало возможным благодаря развитию микроминиатюризации в электронике и использованию для создания космической техники так называемых COTS (Commercial Off-The-Shelf) технологий – «технологий готовых к использова-

нию». Исторически эта концепция была разработана в оборонных ведомствах ряда западных стран для сокращения временных и финансовых затрат на разработку за счет уменьшения в ней доли дорогостоящих уникальных решений и технологий. Кроме использования промышленных электрорадиоизделий (ЭРИ) для снижения стоимости сверхмалых КА также часто применяются БС на основе наземных кремниевых фотоэлектропреобразователей.

Сегодня COTS – технологии и промышленные ЭРИ широко используются в космической отрасли и не только для создания относительно короткоживущих КА по стандарту CubeSat, но и для КА, выполняющих долгосрочные ответственные миссии. В АО «Корпорация «ВНИИЭМ» разработана и успешно реализована концепция создания на базе промышленных ЛИА типоразмера 18650 АБ, не требующих использования электронных систем контроля и выравнивания напряжений. Использование малогабаритных аккумуляторов позволяет на основе одного типоразмера ЛИА проектировать широкие параметрические ряды конструктивно унифицированных АБ для использования в космической технике. Несмотря на отсутствие в их составе типичных для большинства ЛИАБ электронных блоков контроля и управления (BMS) эти батареи отличает высокая надежность и срок службы. Сегодня подтвержден трехлетний срок службы таких АБ в условиях орбитальной эксплуатации и 6 лет при ресурсных испытаниях в вакуумной камере.

Следует отметить, что усложнение экономической ситуации и введение санкций, построение АБ на базе промышленных ЛИА без использования чувствительных к радиационному воздействию микропроцессорных BMS стало особенно актуально. Также в этой связи представляют интерес разработанные АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и запатентованные инновационные решения построения СЭС с прямым подключением БС к БШЭ без использования аппаратных микропроцессорных блоков управления зарядом АБ, обеспечивающие в течении всего САС КА за счет подбора оптимальной конфигурации СЧ СЭС не только организацию автоматического снижения мощности генерации БС по мере роста степени заряженности АБ, но и повышение ее удельных характеристик.

КОНЦЕПЦИЯ И ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ МОДУЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНО УНИФИЦИРОВАН- НЫХ БАТАРЕЙ НА БАЗЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ (COTS) ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

**В. Д. Власов, А. И. Груздев, А. Б. Желубенкова,
Ю. А. Иванова, Д. А. Мишуков**
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Использование при создании космической техники так называемых COTS (Commercial Off-The-Shelf) технологий – «технологий готовых к использованию» было апробировано в Европе и США для сокращения финансовых затрат и сроков разработок за счет уменьшения в них доли дорогостоящих специализированных для космических применений электронных компонентов, приборов и технологических решений. Сегодня применение общепромышленных технологий и промышленной электронной компонентной базы в космической отрасли стало общемировой практикой не только при создании относительно короткоживущих сверхмалых спутников по стандарту CubeSat, но и для различных типов КА с длительным сроком активного существования (САС).

Ярким примером реализации такого подхода служат АБ фирмы ABSL Space Products, построенные на базе разработанных для наземных применений промышленных ЛИА Sony HCM18650. Эти АБ были использованы в многочисленных околоземных и планетарных миссиях и, несмотря на отсутствие в их составе типичных для этого типа АБ электронных блоков контроля и управления (BMS), продемонстрировали высокую надежность и длительный срок службы. Например, одна из первых таких АБ, установленная в 2001 году на околоземном КА PROBA-1, отработала на орбите более 20 лет. АБ фирмы ABSL успешно эксплуатируются и в СЭС созданных АО «Корпорация «ВНИИЭМ» КА «Канопус-В» (в КА №1 с 2012 по 2021г.).

Во ВНИИЭМ для использования в космической технике разработана и успешно реализована концепция создания АБ на базе цилиндрических малогабаритных промышленных ЛИА. Этот подход позволяет на основе одного типоразмера ЛИА проектировать широкие конструктивно унифицированные параметрические ряды АБ. Концепция предусматривает:

- Применение ЛИА габарита 18650 с энергоемкостью не менее 200 Вт·ч/кг.

–Выборочный контроль партии ЛИА на соответствие критериям годности для использования в АБ КА, включая испытания на безопасность, надежность и ресурсные испытания.

– Сплошной контроль ЛИА в аттестуемой партии по основным параметрам: емкость, внутреннее сопротивление, скорость саморазряда.

– Комплектование АБ, используя оптимальный подбор по основным параметрам ЛИА в группы для электрического соединения.

– Использование схемотехнических решений, обеспечивающих без применения BMS автоматическое парирование отказов единичных ЛИА за счет срабатывания встроенных в них размыкателей CID, автоматически выводящих неисправные аккумуляторы из электрической цепи АБ.

Для создания АБ были использованы ЛИА импортного производства. На их основе была разработана и успешно прошла полный цикл наземной экспериментальной отработки ЛИАБ емкостью 40 А·ч в конфигурации 16P8S. В составе одного из МКА она без замечаний отработала 3 года на орбите. Анализ телеметрической информации показал, что за время орбитальной эксплуатации емкость снизилась на 12 %. Стендовыми испытаниями в вакуумной камере был подтвержден ресурс работы 7 лет и более 35 тысяч циклов заряда/разряда. За это время емкость АБ снизилась на 16 %, а разбаланс аккумуляторных пакетов не превысил 20 мВ.

В рамках обеспечения импортозамещения и импортонезависимости ведется работа с разработчиками отечественных производителей ЛИА по созданию ЛИА с требуемыми техническими требованиями по емкости и ресурсу, не уступающих импортным аналогам.

Проведенные нами расчеты и эксперименты показали, что надежность работы, отказоустойчивость и живучесть не имеющей BMS АБ в PS- конфигурации можно повысить, если использовать не единичный, а составной аккумулятор, включающий 2 соединенных последовательно ЛИА (SPS- конфигурация). С использованием такой схемы была разработана, без замечаний прошла полный цикл НЭО и летных испытаний АБ 30В/60 Ач, унифицированная для применения в условиях и режимах эксплуатации КА ДЗЗ, создаваемых ВНИИЭМ.

В базовом варианте АБ состоит из 2-х установленных на едином основании параллельно друг другу аккумуляторных модулей (АМ), в каждом из которых ЛИА размещены в вертикальных и горизонтальных рядах. Для обеспечения эффективного теплообмена в АМ используется вклейка ЛИА в отверстия установленных параллельно друг другу металлических пластин-держателей (холдеров), закрепленных вертикально на одном металлическом

основании, с помощью которого АБ устанавливается на КА. Электрическое соединение ЛИА в АМ осуществляется путем приварки к ним никелевых шин и перемычек. Высокое качество и надежность сварных соединений достигается использованием роботизированного оборудования, обеспечивающего контроль и регистрацию фактических режимов сварки.

Конструкция АБ обеспечивает безопасность выполнения электрического монтажа, так как разность потенциалов в ее электрических цепях появляется только на одной из последних сборочных операциях (приварка электрических перемычек). Она обеспечивает минимизацию тепловыделения ($R_{вн}=15$ мОм) и магнитного момента, не требует использования такелажных приспособлений для перемещений АБ ($M<12$ кг). Также удалось достигнуть высокую равномерность температурного поля (± 1 °С), являющуюся залогом большого ресурса работы аккумуляторов в составе АБ.

Разработанная конструкция универсальна и позволяет формировать широкие типоразмерные ряды АБ, так как позволяет легко изменять не только количество ЛИА и, соответственно, энергоемкость АБ, но и ее электрическую схему (и, соответственно, напряжение) путем изменения только полярности установки ЛИА в холдерах и конфигурации токосборных шин и перемычек. Меняя количество горизонтальных и вертикальных рядов ЛИА можно сформировать широкие конструктивно унифицированные параметрические ряды АБ энергоемкостью от 0,5 до 2,5 кВт·ч, с удельными значениями от 120 до 167 Вт·ч/кг, что в 1,5 – 2 раза превышает параметры имеющихся на отечественном рынке лучших зарубежные и российских аналогов.

В разработанной концепции дальнейшее наращивание мощности и энергоемкости низковольтных АБ, а также формирование высоковольтных АБ производится путем соответствующего соединения необходимого количества батарейных блоков (ББ), унифицированных с точки зрения условий и режимов эксплуатации для широкого спектра КА. При этом параллельное соединение до 4-х ББ в АБ может производиться на разъемах объединительных жгутов или с использованием блоков объединительных. Подключаемые ББ полностью взаимозаменяемы и соединяются без использования защитно-коммутационной аппаратуры.

Блочно-модульное построение АБ повышает надежность СЭС КА за счет применения отработанных, проверенных и имеющих летную квалификацию ББ; сокращает сроки разработки и наземной экспериментальной отработки новых АБ; облегчает комплектование и использование ЗИП; упрощает подготовку, существенно увеличивает серийность и снижает себестоимость производства ББ.

Заключение

В АО «Корпорация «ВНИИЭМ» разработаны схмотехнические, конструктивные и технологические решения для построения на базе индустриальных ЛИА габарита 18650 широкого типоразмерного ряда конструктивно унифицированных и модульных АБ для КА энергоемкостью от 0,5 до 30 кВт·ч с номинальным напряжением от 15 до 90 Вольт.

Созданный в рамках межпроектной унификации ББ 30В/60Ач прошел полный цикл НЭО и летные испытания (автономно и в составе модульных АБ), и успешно эксплуатируется на 4-х низкоорбитальных КА (максимальная наработка 3 года). По своим энергетическим и эксплуатационным параметрам он превышает характеристики лучших зарубежных и отечественных аналогов.

Спроектированный параметрический ряд модульных АБ может обеспечить все потребности в АБ при комплектовании перспективных и разрабатываемых в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» КА, а также в интересах других заказчиков.

Разработанные схмотехнические, конструктивные и технологические решения, используемые при проектировании и изготовлении АБ для космической техники, позволяют перейти от единичного к их серийному производству в интересах всей космической отрасли.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОИСК ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМ: RAG-БОТ НА БАЗЕ ВЕКТОРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

Ю. А. Иванов

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Работа с нормативной документацией (ГОСТ, ГОСТ Р и др.) занимает значительную долю времени в инженерных и проектных подразделениях. Поиск нужных пунктов вручную затруднён из-за растущего объёма стандартов и сложности их формулировок. Это увеличивает риски ошибок и снижает производительность, особенно при работе в условиях жёсткой стандартизации, характерной для ракетно-космической отрасли.

Возникает необходимость в инструменте, который обеспечит быстрый, точный и воспроизводимый доступ к фрагментам нормативных документов – без ручного поиска, через привычный для специалиста интерфейс. Такая система должна ускорять принятие проектных решений и минимизировать ошибки, связанные с неточным толкованием требований стандартов.

Объектом исследования является корпус нормативных документов, используемых в проектной и конструкторской деятельности (в первую очередь – ГОСТ и ГОСТ Р). Список использованной нормативной документации приведен в таблице.

Предмет исследования – архитектура интеллектуальной системы поиска, реализующей связку векторного индексирования текстов с генерацией ответов по запросам пользователя в чат-интерфейсе. Основной акцент сделан на интеграции таких подходов в повседневную инженерную практику.

Для тестирования системы был сформирован компактный корпус из восьми нормативных документов, включая ключевые ГОСТы, применяемые в системах проектирования и документооборота (например, ГОСТ 2.701–2008, ГОСТ 2.702–2011). Все файлы обрабатывались в текстовом формате без модификации содержания. Это позволило сохранить их исходную структуру и обеспечить точную привязку при поиске. Корпус может гибко расширяться за счёт загрузки новых документов через внешнее хранилище.

Система построена по принципу Retrieval-Augmented Generation (RAG). Нормативные документы разбиваются на текстовые фрагменты, для каждого из которых формируются векторные представления с помощью языковых моделей. Полученные эмбединги индексируются в Supabase Vector Store с сохранением базовых метаданных.

Список использованных нормативных документов

ГОСТ	Название
ГОСТ 2.701-2008	Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
ГОСТ 2.702-2011	Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем
ГОСТ 2.710-81	Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах
ГОСТ 19005-81	Средства обеспечения защиты изделий ракетной и ракетно-космической техники от статического электричества. Общие требования к металлизации и заземлению
ГОСТ Р 52070-2003	Интерфейс магистральный последовательный. Системы электронных модулей. Общие требования
ГОСТ Р 56469-2015	Аппараты космические автоматические. Термобалансные и термовакуумные испытания
ГОСТ Р 56528-2015	Методы и средства обеспечения защиты изделий РКТ от статического электричества в условиях полета. Требования к процессам создания и эксплуатации
ГОСТ Р 56530-2015	Совместимость космической техники электромагнитная. Общие требования к бортовой кабельной сети космической техники

Пользователь взаимодействует с Telegram-ботом: текст запроса преобразуется в вектор, сопоставляется с фрагментами ГОСТов, и на основе наиболее близких участков модель формирует ответ с отсылкой к документу. Система реализована на платформе n8n и поддерживает команды для работы с базой (/documents, /load). Вся логика работает без участия разработчика и допускает дальнейшее расширение и настройку.

Система полностью развёрнута и проходит пилотное использование. Реализована загрузка и индексирование документов, генерация эмбеддингов, связка с чат-моделью и пользовательский интерфейс через Telegram-бот. Работают команды для просмотра и обновления базы, реализован механизм быстрого ответа на произвольные текстовые запросы. Подключение к внешнему хранилищу (Яндекс.Диск) позволяет без доработки кода оперативно добавлять новые документы в рабочий массив.

Работа системы проверялась на наборе из 30 вопросов, сформулированных на естественном языке с учётом различной сложности. В 28 случаях ответы оказались корректными и содержали ссылки на релевантные фрагменты нормативных документов. Среднее время ответа – около 2 минут, включая поиск

и генерацию текста. Тест также показал устойчивую работу при подключении новых ГОСТов через Telegram и стабильность при увеличении объёма базы.

В отличие от традиционных систем поиска, разработанное решение сочетает векторный анализ текста с генерацией ответов и встроенной атрибуцией источника. Новизна подхода заключается в том, что инженер получает не просто релевантную информацию, а сформулированный ответ с отсылкой на конкретный ГОСТ. Кроме того, система интегрирована в мессенджер, что делает её удобной и доступной для специалистов без технического бэкграунда в области ИИ.

Текущая версия использует только базовые метаданные (название документа, строка), без точной привязки к пунктам или разделам. Семантический поиск и переранжировка (rerank) ещё не реализованы, что может снижать точность при сложных запросах. Кроме того, время ответа ограничивается производительностью внешних сервисов и достигает 1,5 – 2 минут при большом объёме базы. Система рассчитана на работу с открытыми документами и пока не адаптирована для защищённых контуров.

Планируется внедрение расширенных метаданных с привязкой к номерам пунктов и разделов, добавление семантического поиска и алгоритмов переранжировки для повышения точности. Также в разработке — локальная (on-premises) версия системы для предприятий с повышенными требованиями к информационной безопасности. Будут добавлены новые команды для структурного поиска и сравнения версий документов, а сам корпус расширен за счёт загрузки отраслевых стандартов.

Разработанное решение позволяет инженеру быстро находить нормативную информацию с привязкой к источнику, снижая риск ошибок и экономя время при проектировании. Тестирование подтвердило точность и устойчивость системы, а интеграция с мессенджером делает её удобной для повседневного использования. Векторная архитектура и модульность обеспечивают потенциал для масштабирования и адаптации под задачи конкретных предприятий.

СЕКЦИЯ № 3

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА, АРХИВАЦИИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ



ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ С КА ДЗЗ

К. Н. Филькин, В. В. Мороз, А. К. Гончаров, В. В. Ахлынин
(АО «Российские космические системы», г. Москва)

Широкое применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса в различных сферах науки и практики привело к существенному росту требований к частоте наблюдения за любым участком земной поверхности. Это связано с необходимостью мониторинга быстротекущих процессов, таких как стихийные бедствия, изменения климата, сельскохозяйственная активность и военные операции.

Для удовлетворения растущих потребностей требуется не только увеличение количества космических аппаратов (КА), но и развитие инфраструктуры передачи данных. Оперативный доступ к информации может обеспечиваться двумя основными способами: расширением сети наземных приемных станций и внедрением орбитальных систем ретрансляции. Первый подход предполагает строительство новых пунктов приема в разных регионах мира, тогда как второй основан на использовании специализированных спутников-ретрансляторов, позволяющих передавать данные на ограниченное число наземных станций.

Современные малые космические аппараты (МКА) обладают рядом характеристик, определяющих требования к системам приема информации. Типичный МКА имеет массу от 30 до 300 кг и работает на солнечно-синхронной орбите высотой 450 – 550 км. Скорость передачи данных варьируется в пределах 50 – 900 Мбит/с, при этом основным используемым диапазоном является X-диапазон, реже – Ka-диапазон. Для передачи применяются различные виды модуляции, включая QPSK, 8PSK и 16APSK, а также помехоустойчивое кодирование, обеспечивающее выигрыш по соотношению сигнал/шум не менее 6 дБ.

Важным направлением развития МКА стало внедрение технологий бортовой обработки данных. Использование современных алгоритмов сжатия информации позволяет значительно увеличить эффективность передачи без существенной потери качества. Дополнительный потенциал заключается в применении адаптивных схем модуляции и фазированных антенных решеток, которые оптимизируют параметры связи в реальном времени.

Указанные параметры позволяют осуществлять прием данных на антенны с диаметром 2,5 – 4,0 м (рис. 2).

Таким образом, дальнейшее развитие систем ДЗЗ связано не только с увеличением количества КА, но и с оптимизацией каналов передачи данных, внедрением новых методов обработки сигналов и расширением орбитальной инфраструктуры.

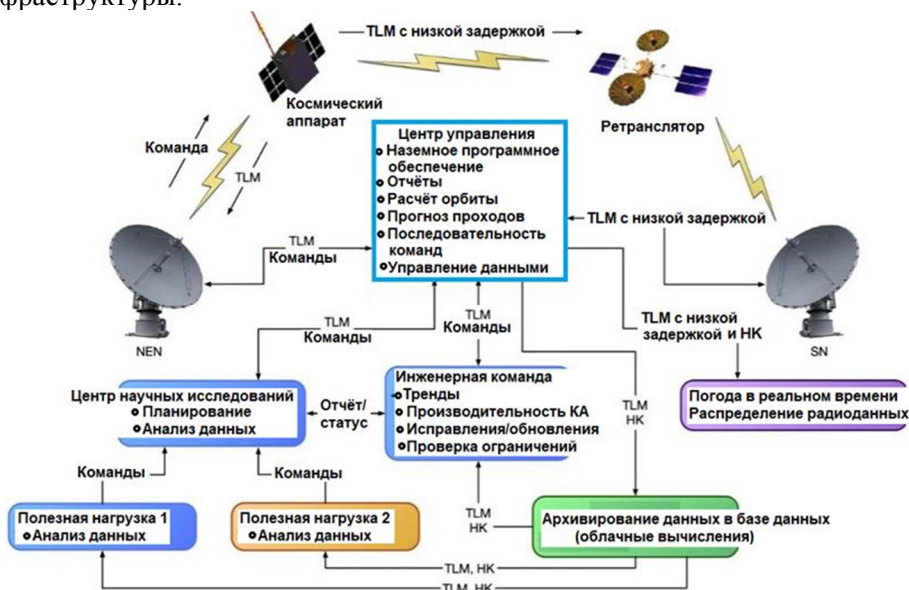


Рис. 1. Схема передачи данных КА с минимальной временной задержкой

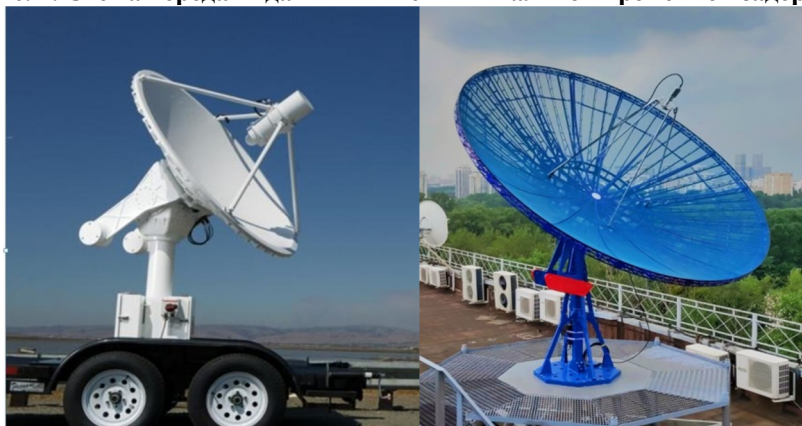


Рис. 2. Комплексы приема с диаметрами антенн 2,5 и 4,0 м

КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А. П. Журавлев, Н. В. Покусин

*(Московский технический университет связи
и информатики (МТУСИ), г. Москва)*

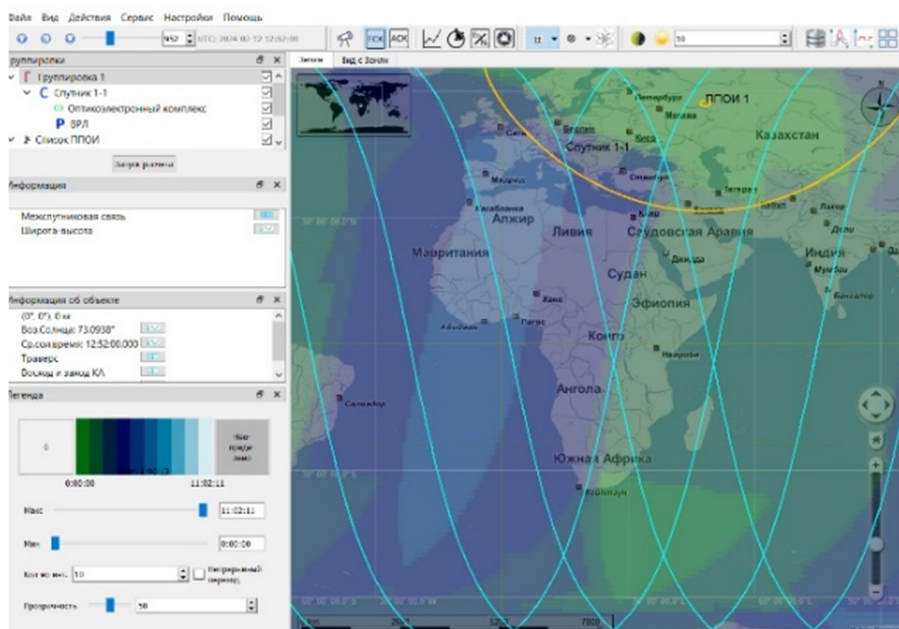
В научно-исследовательском отделе № 48 (НИО-48) научно-исследовательской части МТУСИ ведется разработка и сопровождение линейки программных продуктов имитационного моделирования систем спутниковой связи и дистанционного зондирования Земли. Продукты построены по принципу программного ядра, осуществляющего расчет и моделирование баллистического движения космических аппаратов (КА), дополняемого различными модулями. Ядро и модули выпускаются в версиях для операционных систем семейства Windows и Linux (включая Astra Linux 1.6 и 1.7). Основные прикладные модули входят в базовую версию программного обеспечения «МоделСат», дополнительные программные модули разрабатываются на заказ для решения отдельных задач.

Ядро расчета баллистического движения КА принимает на вход исходные данные в виде фазового вектора, кеплеровых элементов, в формате TLE, форма 100 и т. д. Реализован расчет различных типов орбит (солнечносинхронная, высокоэллиптическая типа «Тундра» и «Молния», геостационарная, геосинхронная и пр.), в том числе орбит с произвольным набором параметров, с алгоритмами расчета по аналитическим, полуаналитическим (sgp0, sgp4/sdp4, sgp8/sdp8) и численным методам (Эверхарта, Рунге-Кутты, Булирша-Штера). Поддерживается учет возмущающих факторов (притяжение Луны и Солнца, геопотенциал атмосферы) и работы корректирующих двигательных установок КА.

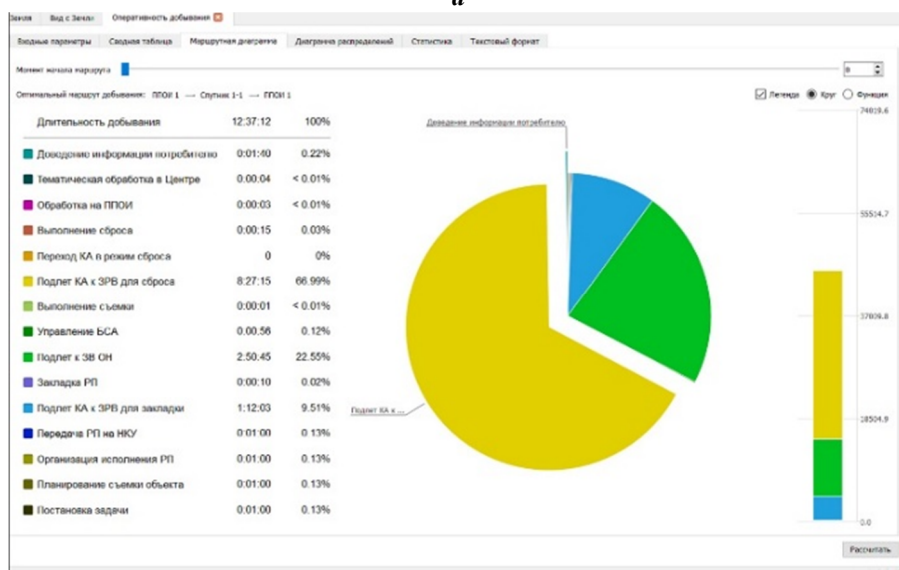
Для удобства оператора интерфейс задания параметров орбитальных группировок реализован в виде визуального конструктора группировок.

Результаты расчетов ядра служат основой для решения других задач моделирования – на основе сформированной орбитальной группировки и баллистического расчета в комплексе можно проводить:

- дальнейший расчет целевых характеристик космических систем;
- первичный анализ взаимного расположения аппаратов;
- расчет целеуказаний на пункты на поверхности Земли;
- оценку влияния эффекта Доплера при связи между КА и с Землей, срока службы ОГ, необходимых параметров корректирующей двигательной установки.



a



б

Рис. 1. Отображение результатов моделирования на карте (а) и графиках (б)

При моделировании работы оптической аппаратуры ДЗЗ поддерживается оценка качества космических снимков по различным параметрам, включая: проекцию пикселя при съемке в надир и на краю полосы обзора, линейное разрешение на местности при съемке в надир и на краю полосы обзора (включая упрощенные и высоко-параметризованные алгоритмы расчета), ширину полосы захвата для данного угла визирования, ширину полосы обзора для заданного разрешения или проекции пикселя.

Ведется разработка модуля моделирования радиолокационной аппаратуры с построением зон обзора бортовой аппаратуры, ограниченных пространственным разрешением на местности с учетом длины волны, мощности передатчика, усиления антенны, рассеивания и других потерь сигнала.

В части оценки показателей функционирования космического сегмента реализованы расчеты:

- параметров областей видимости (зон обзора) КА на поверхности Земли;
- вероятности/времени/продолжительности/периодичности наблюдения КА с поверхности Земли;
- оперативности доставки информации КА до пунктов приема;
- распределения коэффициента Доплера на поверхности Земли.

При расчете показателей поддерживается размещение на поверхности Земли сетки объектов наблюдения.

В продуктах реализованы инструменты анализа результатов моделирования с построением графических зависимостей рассчитанных характеристик от времени, широты, долготы с возможностью усреднения рассчитанных характеристик по широтам (долготам), строятся различные гистограммы для удобства представления статистических оценок.

Отображение результатов расчетов осуществляется на карте с использованием различных картографических проекций или в формате 3D, на графиках (см. рис. 1), а также поддерживается экспорт данных для дальнейшего анализа в форматах txt, csv, xml, xls, сохранение и подгрузка рабочих проектов в/из БД SQLite и PostgreSQL.

В настоящее время комплекс в виде различных программных сборок используется рядом заказчиков для моделирования группировок космических аппаратов различного назначения, а также в качестве специализированных учебных мест, продолжается наполнение продукта функционалом.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СТАНДАРТНОЙ ОБРАБОТКОЙ ДАННЫХ ДЗЗ

М. М. Егин, Г. А. Козлов, А. Е. Кузнецов, О. А. Пресняков
(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В. Ф. Уткина, г. Рязань)

В настоящее время данные ДЗЗ распространяются главным образом в виде продуктов стандартных уровней обработки, для создания которых выполняется определенный набор операций. Уровни обработки и типовые операции для их создания унифицируются, что отражено в том числе в ГОСТ Р 59480, ГОСТ Р 70154.

Предлагаемый алгоритм позволяет выполнять стандартную обработку с учетом рекомендаций стандартов в автоматическом и автоматизированном режимах. Автоматический режим является основным, автоматизированный – используется для диагностики в нештатных ситуациях.

Основой алгоритма является цикл, на каждой итерации которого вызывается функция, выполняющая отдельную операцию. Коды этих операций извлекаются из предварительно подготовленного для каждой обработки массива. Такая организация позволяет эффективно реализовывать и модифицировать требуемые схемы получения стандартных продуктов.

В автоматизированном режиме после завершения очередной операции управление может быть передано оператору. Автоматизированная обработка организована с использованием принципов режима «мастер», когда автоматический процесс прерывается для действий оператора на нескольких точках останова и продолжается нажатием на кнопку продолжения обработки. Таким образом, от оператора не требуются лишние действия по запуску необходимых процедур. Точки останова предусмотрены для контроля и выполнения операций, результат которых сильно зависит от сюжета снимков: выделения облачности, геодезического ориентирования по опорным точкам, коррекции совмещения спектральных каналов по общим точкам.

Предлагаемый алгоритм реализован в программном комплексе формирования информационных продуктов (ПК ФИП) по данным от космических аппаратов «Ресурс-П» №1-5 и «Ресурс-ПМ» №1-2. Комплекс предназначен для работы на высокопроизводительных серверах из состава наземного комплекса приёма, обработки и распространения информации, и для взаимодействия с управляющей программой (СПО УКАСОИ) и архивом данных (СПО ЦБГД), привлекаемыми из состава ЕТРИС ДЗЗ. Управляющая программа запускает исполняемый файл ПК ФИП для выполнения за-

дания, ПК ФИП извлекает параметры задания средствами REST API и начинает обработку. Выбор режима обработки (автоматический или автоматизированный) определяется параметром запуска программы. Преимуществом алгоритма является общий порядок выполняемых операций в обоих режимах.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СЛИЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МЕСТНОСТИ ПО ДАННЫМ РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ

²М. П. Богданович, ¹К. А. Васильцов, ¹А. А. Золотой, ¹Е. Е. Коноплин
(¹УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси, г. Минск;
²УП «Проектный институт «Белгипрозем», г. Минск)

Сличения объектов местности по разновременным пространственным данным для выявления фактов их изменения часто выполняется в сферах геодезии, кадастра, землеустройства, метеорологии и др. Традиционные подходы к решению задачи сличения характеризуются высокими временными затратами, трудоемкостью и стоимостью работ в связи с использованием большой доли визуального дешифрирования и ручной векторизации. Применение средств ДЗЗ для оперативного получения пространственных данных позволяет сократить финансовые и временные затраты по сравнению с использованием наземного оборудования. При этом актуальной задачей всегда является автоматизация процессов сличения пространственных объектов местности по данным ДЗЗ.

В рамках одного из мероприятий государственной программы «Научные технологии и техника» был разработан специализированный программный комплекс ПК АСД, выполняющий автоматизацию процессов сличения пространственных объектов местности по разновременным данным российско-белорусской орбитальной группировки космических аппаратов ДЗЗ, решающий следующие задачи:

- установление фактов произошедших изменений пространственных объектов местности по данным ДЗЗ из космоса за заданный интервал времени;
- локализация мест произошедших изменений;
- определение направления произошедших изменений (какой класс был в локализованном месте на и на какой класс он изменился);
- определение объема накопившихся изменений за заданный интервал времени.

Входными данными ПК АСД являются:

- ортотрансформированные и геопривязанные панхроматические космические снимки с пространственным разрешением 2,1 м на пиксель, полученные с космических аппаратов ДЗЗ российско-белорусской орбитальной группировки и представленные в проекции WGS 84 UTM 35 N;

- полигоны областей интереса, определяющие участки местности для выполнения сличения (опционально).

ПК АСД создан на основе клиент-серверной архитектуры. Клиентская часть, которой выполнена в виде плагинов расширения геоинформационных систем ArcMap и QGIS с логическим разделением на два программных компонента. Один компонент реализует логику взаимодействия с серверной частью ПК АСД, а другой организует графические интерфейсы на рабочем месте оператора под управлением геоинформационной системы. Программное взаимодействие между двумя компонентами клиентской части согласованно протоколом.

Серверная часть включает в себя:

- сервис мониторинга данных;
- базу данных (БД) ПК АСД (на основе PostgreSQL);
- сервисы координации и управления;
- вычислительное ядро;
- REST API.

Сервис мониторинга данных в фоновом режиме скачивает новые пакеты поставки данных и создаёт в БД задания на их обработку. Сервисы координации и управления в фоновом режиме организуют работу вычислительного ядра. Вычислительное ядро ПК АСД выполняет операции семантической сегментации и сличения данных ДЗЗ из космоса.

Управление работой серверной части осуществляется с рабочего места пользователя через графические интерфейсы, позволяющие:

- изменять настройки, приоритет выполнения и атрибуты заданий;
- задавать приоритеты обработки фрагментов задания.

Сличение данных ДЗЗ для выбранной местности производится по запросу с рабочего места пользователя через графические интерфейсы, позволяющие:

- просматривать с фильтрацией по заданным критериям список заданий на семантическую сегментацию в БД ПК АСД;
- задавать на картографической или растровой подложке полигоны области интереса пользователя;
- просматривать списки атрибутов заданий, по которым имеются сегментированные области с фильтрацией по заданному времени съёмки и по пересечению с заданной областью интереса пользователя;

- просматривать атрибуты сегментированных областей заданий с фильтрацией по пересечению с заданной областью интереса пользователя;
- наносить на картографическую или растровую подложку, выбранные контуры сегментированных областей заданий.

Сличение выбранной пары данных ДЗЗ для заданной области интереса пользователя выполняется на серверной части. По запросу с рабочего места пользователя в БД ПК АСД создается задание на сличение, извлекаются результаты семантической сегментации для сличаемых данных, выполняется сличение и векторизация выявленных изменений пространственных объектов. Результаты сличения сохраняются в БД ПК АСД. Просмотреть результаты сличения можно по запросу с рабочего места пользователя после завершения процесса выполнения задания на сличение. Объем накопившихся изменений вычисляется на клиентской части ПК АСД, результаты вычисления отображаются на рабочем месте пользователя.

Мониторинг процессов серверной части осуществляется с рабочего места пользователя через графические инструменты и интерфейсы специальной панели мониторинга.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ РАЗМЫТИЯ И СМАЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЗЗ

С. Д. Антонушкина, В. В. Еремеев, П. А. Князьков
(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)

Современный этап развития технологий обработки изображений дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предполагает разделение данных по стандартным уровням обработки и повышение автоматизации процедур их получения [1]. Информация о дефектах изображений должна сопровождать информацию разных уровней обработки, на основе которой делаются первичные выводы о качестве данных, приниматься решения о приемлемости полученных данных для обработки, хранения и передачи потребителю или целесообразности повторного сброса потока данных или проведения повторной съемки при возможности таких сценариев.

Разработка алгоритмов автоматического обнаружения дефектов изображений необходима для построения полностью автоматических технологий обработки, хранения и распространения космической информации.

Согласно [2] размытие (смаз) определено как ухудшение линейного разрешения на местности в спектральном канале, которое приводит к смешению границ наблюдаемых объектов съемки.

В докладе рассмотрены факторы влияющие на оценку линейного разрешения на местности, составляющие компоненты оценки линейного разрешения на местности и практические способы ее оценки для космических изображений ДЗЗ. Представлены признаки, которые могут быть использованы для разработки алгоритма автоматического обнаружения дефектов размытия и смаза изображений космических систем ДЗЗ. Показаны разработанные алгоритм и элементы технологии автоматического определения дефектов размытия и смаза на основе предложенного авторами признака.

Предполагается использовать реализацию данного алгоритма для обеспечения процедур обработки, хранения, и распространения данных ДЗЗ, работающих в автоматизированном и автоматическом режимах.

Список источников

1. ГОСТ Р 59480-2021. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Уровни обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса: введ. впервые : дата введения 2021-06-04. М. : Стандартинформ, 2021. 12 с.
2. ГОСТ Р 70778-2023. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Типовые артефакты оптических данных: введ. впервые : дата введения 2023-10-16. М. : Российский институт стандартизации, 2023. 20 с.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ РЕЗКИХ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИХ СТРУКТУРНО- НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА

С. В. Антонушкина, С. Д. Антонушкина, М. Д. Щелкушкин
*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

Выделение резких границ объектов на спутниковых изображениях представляет собой важную задачу при обработке данных от аэрокосмических систем наблюдения земной поверхности. Такая информация необходима не только для тематического дешифрирования наблюдаемой сцены, но и в ряде задач первичной обработки: оценки линейного разрешения местности, калибровки и верификации параметров съёмочной аппаратуры, анализа качества изображений, детектирования смаза и восстановления утраченных деталей.

Традиционно границы выявляются оператором вручную, путём визуального анализа и измерения характеристик участков с резкими перепадами яркости. Частично автоматизированные методы, такие как операторы Собела, Робертса, Кэнни, текстурные признаки Харалика, обладают ограниченной устойчивостью к шуму и контрастным искажениям, требуют тонкой настройки параметров и слабо масштабируются при обработке больших массивов спутниковых данных. В связи с этим актуальной задачей является разработка более универсальных и адаптивных решений, основанных на структурно-нейросетевом анализе спутниковых изображений.

В качестве исходных данных для экспериментальных исследований использовались панхроматические изображения, полученные с космического аппарата «Ресурс-П», а также модель сверточной нейронной сети U-Net [1]. Обучение нейросети проводилось в два этапа. На первом этапе сеть обучалась выделению границ объектов на основе контурных карт, сформированных с использованием алгоритма Кэнни [2]. Пороговые параметры алгоритма подбирались индивидуально для каждого изображения в наборе данных. Для оценки качества выделения границ использовалась F-мера [3], характеризующая степень соответствия между предсказанными нейронной сетью границами и опорными данными, сформированными на основе алгоритма Кэнни.

На втором этапе модель дообучалась на вручную размеченных участках с наиболее резкими границами объектов, релевантными для последующего анализа технических характеристик изображений. В данной постановке осо-

бое внимание уделено корректному выделению информативных границ, значимых для последующего анализа. То есть ложное обнаружение резкой границы считалось критичным. В связи с этим, при оценке результатов обучения приоритет отдавался показателю точности (precision) [3], высокое значение которого обеспечивает надежную идентификацию только значимых границ. Для достижения подобного эффекта, в качестве функции потерь использован модифицированный индекс Тверского [4], позволяющий увеличивать вклад ложноположительных ошибок в итоговое значение потерь и тем самым эффективно подавлять ложные срабатывания модели.

В докладе представлены результаты поиска резких границ объектов на натурной информации от космического аппарата «Ресурс-П» с использованием предложенного подхода структурно-нейросетевого анализа, а также численные оценки точности решения этой задачи.

Список источников

1. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). 2015.
2. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 6. Pp. 679–698.
3. Sokolova M., Lapalme G. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. Information Processing and Management. 2009. Vol. 45(4). Pp. 427–437.
4. Salehi S. S. M., Erdogmus D., Gholipour A. Tversky loss function for image segmentation using 3D fully convolutional deep networks // International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging. 2017. Pp. 379–387.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ПЛОЩАДНОЙ СЪЁМКИ

А. С. Горобченко, М. М. Егин

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

При обработке данных площадной съёмки для повышения качества выходных информационных продуктов может быть привлечена информация о наличии изменений объектов земной поверхности в области пересечения снимков. Учитывая рост объёмов спутниковой информации высокого пространственного разрешения, актуальной задачей является разработка алгоритмов, обладающих устойчивостью к шумам, смещениям и вариативности условий съёмки. В настоящем докладе предлагаются алгоритмы обнаружения изменений на основе методов текстурного анализа и нечеткой меры схожести изображений.

В алгоритме на основе нечёткой меры схожести изображений [1] реализуется блочное сравнение двух совмещённых изображений. Сначала исходные данные разбиваются на небольшие блоки фиксированного размера, что позволяет снизить влияние шумов и локальных сдвигов. Для каждой пары соответствующих блоков вычисляется степень сходства по выбранной мере:

- Мера на основе интенсивностей (М6), определяющая степень совпадения значений яркости через отношение суммы минимумов к сумме максимумов. Данный показатель обеспечивает устойчивость к шумам и локальным изменениям освещённости, формируя карту сходства с высокой контрастностью между неизменными и изменившимися областями;

- Гистограммные меры (Н1–Н3), основанные на сравнении распределений яркости в блоках. Мера Н1 использует абсолютные различия нормированных гистограмм, Н2 акцентирует квадратичные отклонения, Н3 оценивает степень пересечения распределений. Эти показатели позволяют учитывать структурные характеристики блока и снижают чувствительность к равномерным смещениям интенсивности.

Результатом работы алгоритма является карта сходства соответствующих областей, которая после нормализации подвергается пороговой обработке. Для повышения устойчивости и устранения шумов применяется морфологическая фильтрация.

Алгоритм на основе метода текстурного анализа основан на использовании фильтров Габора [2], обеспечивающих выделение текстурных признаков

изображения. Для каждого снимка формируется набор текстурных карт, характеризующих выраженность структурных компонентов на различных масштабах и углах поворота. Разности между соответствующими картами для пары изображений накапливаются в итоговую карту различий. Последующая нормализация и пороговая обработка позволяют выделить области с существенными изменениями в текстурной структуре. Морфологическая постобработка устраняет случайные шумы и повышает связность выделенных областей.

Выполнена апробация разработанных алгоритмов на натуральных изображениях высокого пространственного разрешения. Установлено, что метод на основе нечётких мер схожести более эффективно выделяет чёткие границы объектов и структур, однако демонстрирует повышенную чувствительность к шумам. В свою очередь, метод текстурного анализа проявляет устойчивость к шумовым искажениям и позволяет выявлять менее выраженные изменения, однако характеризуется меньшей точностью при определении границ между различными структурами.

Список источников

1. Fuzzy Similarity Measures for Colour Images / Weken D. Der [и др.] // 2006 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems. 2006. Pp. 1–6. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/ICCIS.2006.252363>.
2. Chen C.-C., Chen D. C. Multi-resolutional gabor filter in texture analysis // Pattern Recognition Letters. 1996. Vol. 17. № 10. Pp. 1069–1076. URL : [http://dx.doi.org/10.1016/0167-8655\(96\)00065-7](http://dx.doi.org/10.1016/0167-8655(96)00065-7).

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Л. Л. Кузнецов

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

В докладе рассматривается применение текстурного анализа для классификации объектов на радиолокационных изображениях. Выделяются два целевых класса – водная поверхность и суша.

На первом этапе выполняется текстурный анализ радиолокационного изображения по одному из четырех признаков, определенных Хараликом [1], которые позволяют лучше всего разделить водную поверхность и сушу, – второй угловой момент, контраст, обратный дифференциальный момент и энтропия.

Поскольку для текстурных признаков не определено однозначное соответствие между их значениями и объектами земной поверхности, необходимо выполнить кластеризацию изображения для разбиения пикселей со схожими свойствами по группам. Соответственно, на втором этапе применяется ранее разработанный алгоритм адаптивной кластеризации по максимумам гистограммы [2], который распределяет пиксели изображения на восемь кластеров.

Следующим шагом является объединение кластеров в две группы, соответствующие целевым классам. Для выполнения этого этапа была создана маска эталонного распределения пикселей по классам для нескольких используемых радиолокационных значений. С помощью маски определялось, при каком распределении кластеров по классам обеспечивается наибольшая точность классификации, и фиксировались значения центров кластеров, между которыми проходит межклассовая граница. Далее все полученные значения были пересчитаны в единую шкалу, для которой определялись значения текстурных признаков, разделяющее два целевых класса.

Результаты работы данного алгоритма сравнивались с результатами, получаемыми с помощью кластеризации Оцу [3] и K-Means++ [4]. На основе проведенных экспериментов доказано получение наибольшей точности при использовании предлагаемого алгоритма классификации.

Список источников

1. Haralick R. M. Textural Features for Image Classification // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1973. № 3(6). P. 610–621.

2. Гусев С. И., Кузнецов Л. Л. Метод кластеризации на основе анализа максимумов гистограммы в задачах сегментации изображений в системах дистанционного зондирования Земли // Перспективы науки. 2025. № 6(189). С. 38–42.
3. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1979. № 9(1). P. 62–66.
4. Arthur D., Vassilvitskii S. K-means++: The Advantages of Careful Seeding // SODA. 2007.

СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧАЕМЫХ СПУТНИКОМ НА ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЕ

Н. А. Егошкин, А. В. Соловьев

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

Облачный покров является одним из факторов, снижающий информативность данных ДЗЗ. После удаления облаков повышается точность обработки спутниковых снимков и интерпретации объектов интереса на них [1]. Например, для уточнения геодезической привязки путем сравнения изображения с опорой целесообразно исключение из рассмотрения облачных участков. Также, исключение облачных участков необходимо при сопоставлении разновременных изображений и для формирования безоблачных композитов.

Обнаружение облаков предлагается выполнять в два этапа:

- 1) выравнивание яркости для устранения неоднородности освещения, вызванных различиями условий освещенности во времени съемки;
- 2) сегментация облаков, применяемая к выровненному изображению.

В докладе рассматривается выбранный для решения задачи сегментации облачности алгоритм на основе концентрических колец, который более эффективно справляется с выравниванием освещенности на изображениях.

Алгоритм состоит из следующих шагов:

- 1) вычисление общей средней яркости изображения;
- 2) разбиение изображения на кольцевых областей, где для каждого кольца вычисляется его радиус и границы;
- 3) вычисление средней яркости каждого кольца;
- 4) вычисление коэффициента нормализации кольца, исходя из общей средней яркости изображения и средней яркости исследуемого кольца;
- 5) коррекция яркости каждого пикселя в кольце.

Рассматриваемый алгоритм, уменьшающий перепады яркости на изображении, отличается простотой реализации и эффективностью, но требует подбор оптимального количества колец и может быть неустойчив к локальным изменениям яркости внутри кольца.

Для сегментации облаков был применен пороговый алгоритм, поскольку он показал наилучшие результаты в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и хорошую устойчивость к вариациям яркости. Оптимальное значение порога подбирается экспериментально.

Список источников

1. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / Под ред. В.В. Еремеева. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2015. 460 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ СПУТНИКОВ НА ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕ- СКОЙ ОРБИТЕ

Н. А. Егошкин, А. В. Соловьев

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

Геопространственные данные, получаемые со спутников, играют ключевую роль при решении широкого спектра задач: от мониторинга чрезвычайных ситуаций и управления земельными ресурсами до навигации и научных исследований. В частности, снимки с космических аппаратов, находящихся на высокоэллиптической орбите, обеспечивают возможность получения глобальных изображений Земли с хорошей детальностью даже в высоких широтах. При работе с такими снимками предъявляются высокие требования к точности их геодезической привязки. [1]

Географическая привязка изображения – это постановка в соответствие каждому пикселю изображения определенных географических координат, которые отражают реальное положение данного пикселя на земной поверхности.

Для достижения максимально качественной геопривязки предлагается сопоставлять получаемый снимок с эталонном. В качестве эталона предлагается использовать изображения земной поверхности, полученные в рамках различных миссий ДЗЗ, не содержащие облаков и других помех, где каждого пикселя заранее достаточно точно известны географические координаты.

Выполнять уточнение географической привязки снимка предлагается путем корреляционного анализа растровых данных. Под корреляционным анализом понимается поиск фрагмента на изображении, наиболее похожего на заданный (эталонный) фрагмент. Найдя расстояние в пикселях между положениями одной и той же географической точки на снимке и на подложке, можно уточнить геодезическую привязку снимка.

Задача корреляционного анализа состоит в том, чтобы на всем изображении найти фрагмент, наиболее похожий на искомый. Для этого необходимо вычислить меру схожести раstra во множестве точек изображения, на котором осуществляется поиск, а затем выбрать точку с максимальным значением этой меры схожести. Существует несколько методов корреляционного анализа, которые различаются способом вычисления меры схожести.

Дополнительной задачей, решаемой в рамках решения основной задачи, является сегментация облачности. Облака перекрывают земную поверхность, тем самым создают непреодолимое препятствие для корреляции снимка с подложкой. Для того, чтобы корреляционный анализ стал возможен, необходимо максимально достоверно разделить все множество пикселей снимка на подмножества «облачность» и «полезные данные», а затем при поиске наиболее схожего фрагмента пиксели из множества «облачность» исключать из анализа.

Представлены результаты применения предложенного подхода на данных от КА «Арктика-М».

Список источников

1. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / Под ред. В.В. Еремеева. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2015. 460 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ НА ОПТИЧЕСКИХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ

В. А. Ушенкин, С. А. Ларюков, В. А. Овчинников
(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)

В докладе рассматривается задача автоматической сегментации облачности на изображениях, сформированных космическими аппаратами (КА) оптико-электронного наблюдения Земли. Облачность является негативным фактором, ограничивающим наблюдаемую сцену в видимом и инфракрасном диапазонах, а также искажающим фазу когерентного радиолокационного сигнала.

Детерминированные алгоритмы для решения этой задачи являются мало-пригодными. Однако полностью автоматическая сегментация может быть выполнена с привлечением нейросетевых технологий. Для этого предпринимаются следующие меры.

Во-первых, разработана оптимизированная U-Net-подобная архитектура свёрточной искусственной нейронной сети (ИНС) Lanky U-Net [1]. В предложенной архитектуре вдвое сокращено число сверток и анализируемых признаков в промежуточных слоях и одновременно увеличена глубина ИНС на один уровень по сравнению с архитектурой U-Net. Число элементарных сложений и умножений при этом сократилось более чем в 21 раз, а число весовых коэффициентов – в 8 раз, что позволило увеличить размер пакета при обучении с 3 до 13 фрагментов на графическом процессоре (ГП) с 12 Гб видеопамати. Точность сегментации при этом осталась эквивалентной.

Во-вторых, разработана динамически загружаемая библиотека эффективного выполнения нейросетевых вычислений. Библиотека позволяет конвертировать файлы моделей ИНС, обученных с помощью платформы TensorFlow, во внутренний формат и затем выполнять расчёты на целевом оборудовании. Во время конвертации предусмотрены оптимизации, заключающиеся в слиянии распространённых нейросетевых блоков в один слой. Разработанная библиотека кроссплатформенна в плане компиляции, не имеет программных зависимостей и автоматически подстраивается под установленное на целевом устройстве программное обеспечение. Это позволяет использовать ресурсы ГП для вычислений и не зависеть от конкретных версий

библиотек CUDA и cuDNN. В зависимости от модели ГП использование разработанной библиотеки ускоряет нейросетевую обработку спутниковых изображений на 30 – 170 % по сравнению с библиотекой TensorFlow.

В докладе приведены результаты экспериментального исследования точности и скорости нейросетевой сегментации облачности на панхроматических спутниковых снимках КА «Ресурс-П».

Список источников

1. Москвитин А. Э., Ушенкин В. А., Ларюков С. А. Алгоритм и программный комплекс высокоскоростной нейросетевой сегментации облачности на панхроматических изображениях от космических аппаратов «Ресурс-П» // Цифровая обработка сигналов. 2023. № 3. С. 8–17.

СЕКЦИЯ № 4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТРАНЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ОХРАННЫХ ЗОНАХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ, ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

С. С. Новиков, П. Е. Новикова

(АО «Российские космические системы», г. Москва)

Географическая протяженность территории Российской Федерации вносит множество особенностей по использованию различных природных ресурсов. Так, например, одним из самых рентабельных способов перемещения природного газа по территории страны являются газовые трубопроводы. Огромная сеть трубопроводов различного уровня давления уже построена, а планы по её расширению делают ситуацию ещё более актуальной.

Однако протяжённость данных сетей создаёт также определённые трудности в их эксплуатации. Одна из наиболее сложно решаемых задач – это установление охранных зон газораспределительных сетей. В настоящее время уже накоплена внушительная судебная практика работы с нарушениями в данной области, часть которых возникает по вине недобросовестных застройщиков, часть по незнанию законодательных норм, а часть досталась в «наследство» вместе с ранее построенной инфраструктурой. Примером решения данной проблемы может стать применение данных дистанционного зондирования земли, полученных с классических летательных аппаратов. Так, использование данных спутников типа «Канопус-В», позволит увеличить эффективность работы с нарушениями эксплуатации газораспределительных сетей путем поиска объектов, находящихся в охранных зонах. При необходимости можно было бы задействовать более совершенные спутники сверхвысокого разрешения типа «Ресурс-П». Данный процесс в перспективе хорошо поддаётся автоматизации, а возможность регулярного обновления снимков позволит устранять нарушения на раннем этапе, снижая расходы на исправление нарушений. Как правило, различные нарушения могут появляться на регулярной основе. Вследствие чего необходима система не только их мониторинга, но и прогнозирования, особенно на новых проектируемых участках газопроводов.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАЗНОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИМЕДИАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

¹А. А. Антонова, ²Я. В. Алексеенко, ²В. И. Карташев

(¹АО «Российские космические системы», г. Москва;

²ООО «Центр инновационных технологий», г. Москва)

Изменения климата, а также активные урбанизация и землепользование приводят к увеличению масштабов бедствий от наводнений по всему миру. Наводнения, являющиеся одним из опасных стихийных бедствий, ежегодно оказывают негативное влияние на население и территории. Российская Федерация, с учётом своего географического расположения и масштабов, подвергается наводнениям большую часть года. По данным МЧС России, в среднем, каждый год наводнения вызывают негативное влияние на 38 тысяч человек (количество пострадавших) и приводят к материальному ущербу в размере 6,7 миллиарда рублей.

Для минимизации угрозы населению и территориям от негативного воздействия наводнений требуется своевременное получение информации о предвестниках их возникновения, а также динамики развития в квазиреальном режиме. Для этой цели активно применяются модели прогнозирования, данные от сети гидропостов, камеры видеонаблюдения, а также данные дистанционного зондирования (космического и авиационного). Данные дистанционного зондирования Земли из космоса (данные ДЗЗ) обеспечивают получение объективной и оперативно обновляющейся информации о динамике развития гидрологических явлений на всех уровнях мониторинга (от глобального до локального). За многие годы практического использования данных ДЗЗ разработаны научно обоснованные подходы к их обработке и интерпретации для решения различных тематических задач.

В последнее десятилетие наблюдается бурное развитие открытых спутниковых группировок ДЗЗ, а также информационных систем, предоставляющих инструменты для обработки данных ДЗЗ. Это позволило снизить требования к техническому оснащению лиц, использующих результаты космической де-

тельности открытых систем ДЗЗ для принятия управленческих решений. Открытые информационные системы ДЗЗ позволяют пользователю выполнять анализ разновременных мультимодальных данных ДЗЗ. В докладе будет представлен опыт использования открытых информационных систем ДЗЗ для мониторинга опасных гидрологических явлений и анализа динамики их развития на всех уровнях мониторинга (от национального до локального), а также описание основных принципов функционирования применяющихся алгоритмов обработки данных ДЗЗ. Кроме этого, будет представлена схема организации мониторинга опасных гидрологических явлений на территории Российской Федерации.

АНАЛИТИКА В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. М. Бойко, А. А. Мацко, Д. С. Писаревский
(УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси, г. Минск)

Интеллектуальные системы сбора, хранения и обработки информации, дополненные функцией анализа для выявления наиболее популярных тем, а также тенденций, пригодятся любому и аналитику в его текущей работе и окажут поддержку лицам, принимающим решения. Информационно-аналитический ПК, реализующий эти и другие функции разработан в УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси [1].

Сначала собираются данные, которые проходят лингвистический анализ и структуризацию. После чего, в автоматизированном режиме, строится онтология тематических понятий, являющаяся семантическим ядом системы. Причем, тематические понятия могут быть как однословными, так и состоящими из нескольких слов, например: аппарат, космический аппарат, белорусский космический аппарат. Между тематическими понятиями задаются смысловые отношения [2].

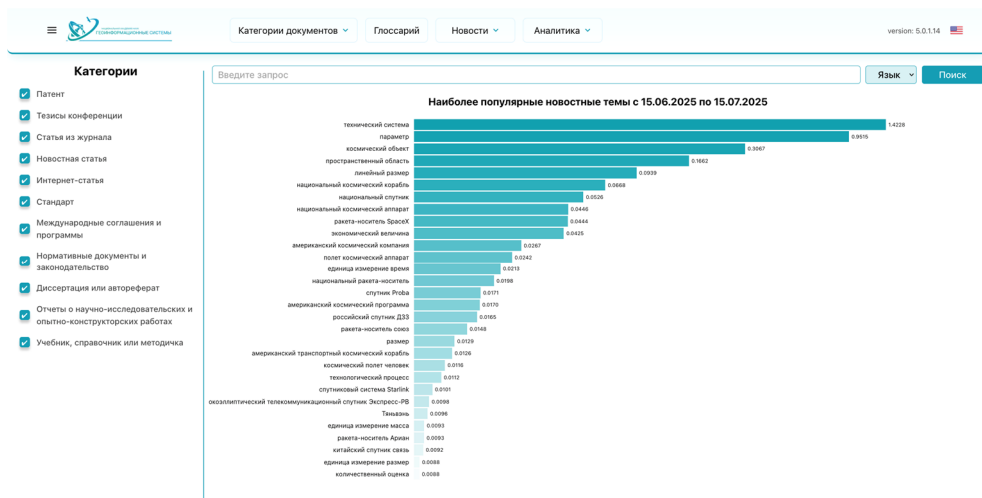
При поиске по запросу информации в базе происходит лингвистический анализ запроса, после чего осуществляется поиск не только выделенных тематических понятий, но и рассматриваются отношения между ними.

Каждое тематическое понятие получает свой расчетный вес и связано с набором текстов, из которых оно было извлечено. Каждое смысловое отношение также получает свой вес в зависимости от общей частотности его использования с различными тематическими понятиями. Наличие веса тематических понятий и их отношений позволяет рассчитать веса классов или подклассов тематических понятий в онтологии. Именно эти веса являются основой для аналитики и выявления тенденций с использованием методов статистики и технологий машинного обучения.

Следует подчеркнуть, что поскольку в систему непрерывно поступают новые тексты, то после их лингвистической обработки веса тематических понятий пересчитываются.

На рисунке представлена главная страница Веб-интерфейса, предлагающего следующий набор опций:

- просмотр ежедневно обновляющейся гистограммы, отображающей наиболее популярные новостные темы в области космической деятельности за последние тридцать дней;



Главная страница Веб-интерфейса ПК

- выбор категории документов из выпадающего меню *Категории документов* для навигации по источникам в этой категории;
- переход к глоссарию при нажатии на заголовок *Глоссарий* (русский, английский);
- выбор вида новостей из выпадающего меню *Новости* (космические, об УП ГИС);
- выбор вида аналитики из выпадающего меню *Аналитика* (годовая или сравнительная гистограммы по любым двум годам);
- выбор языка интерфейса: русский или английский;
- выбор чек-боксов в колонке *Категории* для осуществления поиска в выбранных категориях;
- поисковую строку для формулировки запроса пользователя и поиска документов в отмеченных чек-боксах *Категории*.

Список источников

1. Золотой С. А., Бойко И. М., Писаревский С. Д. Методология построения интеллектуального интернет-сервиса на основе онтологии для использования в области космической деятельности // Проблемы инфокоммуникаций. 2021. № 2 (14). С. 59–66.
2. Бойко И. М., Писаревский Д. С., Мацко А. А. Программный комплекс семантического поиска информации в области космической деятельности // Восьмой Белорусский Космический Конгресс. Минск, 2022. С. 56–59.

МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОСТИ, ОСАДКОВ И ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ ПО ДАННЫМ ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕ- СКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «АРКТИКА - М»

Е. В. Садовникова, Е. В. Волкова, А. В. Кухарский
(ФГБУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», г. Москва)

Оперативная спутниковая информация об облачности, осадках и опасных явлениях погоды (ОЯП) необходима для диагноза состояния атмосферы и составления прогнозов погоды, а при накоплении временных рядов с результатами спутникового мониторинга – для исследования климатических изменений.

В настоящее время оперативный мониторинг облачности в высоких широтах северного полушария эффективно проводится с использованием высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы «Арктика-М», состоящей из космических аппаратов «Арктика-М» № 1 и № 2 [1].

В ФГБУ «НИЦ «Планета» создан автоматизированный программный комплекс (АПК), основанный на комплексной пороговой методике дешифрирования макро- и микрофизических параметров облачности, зон осадков и ОЯП разной вероятности и интенсивности [2, 3] по данным измерений радиометра МСУ-ГС-ВЭ, установленного на КА серии «Арктика-М». В качестве дополнительной информации используются прогностические поля температуры воздуха на стандартных изобарических уровнях и атмосферного давления на уровне моря (продукты модели NCEP GFS), а также цифровая модель рельефа. Помимо этого, реализована возможность построения комплексных карт, которые позволяют одновременно отразить несколько характеристик облачности. Выходные продукты строятся каждые 15 минут. Кроме того, АПК позволяет непрерывно формировать временные ряды параметров облачности в арктическом регионе и рассчитывать «климатические» продукты – оценки с суточным, месячным и годовым усреднением. В докладе даны примеры информационной продукции, полученной по данным ВГКС «Арктика-М» за отдельные периоды 2024 – 2025 гг.

Валидация, проводимая по материалам архива синхронных спутниковых, грозопеленгационных и наземных наблюдений на метеостанциях за 2022 – 2024 гг., показала удовлетворительное качество выходных информационных продуктов. Так, например, вероятность правильного детектирования типов

осадков у поверхности земли в сравнении с данными наземной наблюдательной сети составила от 56 до 76 % в зависимости от времени года и региона.

Список источников

1. Первая в мире высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система «Арктика-М» / Асмус В. В. [и др.] // Метеорология и гидрология. 2021. № 12. С. 11–26.
2. Волкова Е. В., Кухарский А. В. Автоматизированная технология диагноза параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды для Европейской территории России по данным радиометра SEVIRI с геостационарных метеоспутников серии Meteosat MSG // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 4 (378). С. 43–62. DOI : 10.37162/2618-9631-2020-4-43-62.
3. Волкова Е. В., Кухарский А. В. Мониторинг характеристик облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным МСУ-ГС-ВЭ КА Арктика-М для территории России и Арктики // Сборник трудов Международного Симпозиума «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2023), Санкт-Петербург, 21 – 24 июня 2023 г. С. 10–14.

МЕТОД СТРУКТУРОЗОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ОПЫТ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ

В. А. Котцов

(Институт космических исследований РАН, г. Москва)

Для получения информации о состоянии природной среды применяют многозональную съемку. Однако, важная часть видеоинформации представлена в текстурах, структурных элементах изображения, а для ее получения необходимо иметь изображение с высокой детальностью, что представляет известные трудности. Для решения этой проблемы был предложен структурозональный метод, получение и анализ видеоинформации в разных зонах пространственного спектра [1]. Эта технология представляет сочетание оптического сканирования окном и пространственной фильтрации. Такая технология дает возможность расширить состав получаемой информации и может также применяться при обработке видеоинформации получаемой с высоким разрешением [2].

Структурозональные изображения получают путем последовательного пофрагментного (операционная апертура) обзора наблюдаемого поля с преобразованием текущего фрагмента в спектр пространственных частот, выделения в этом спектре составляющих по частоте и/или направлению, а затем формирования по полученным оценкам соответствующих изображений [3, 4].

Выбор спектрального преобразования при этом может быть различным. Так для оптического метода наиболее технологично использовать преобразование Фурье, а для цифрового – удобнее преобразование Адамара [5]. Для выбора параметров структурозонального преобразования необходимо оценить требуемое разрешение для анализируемого фрагмента изображения и его размер [6].

Многоканальный характер получаемой при этом видеоинформации позволяет синтезировать цветокодированные изображения [7]. Это дает возможность анализировать распределение различных наблюдаемых и налагающихся друг на друга структурных явлений. Так например, распределение и взаимодействие систем приливного и ветрового волнения на море.

Результаты структурозонального анализа аэрофотосъемки якутской тайги использовались в экспериментах по дешифрированию природных объектов и оценке состояния лесов [8, 9]. Отмечается, что при автоматизированной обработке аэроснимков леса с целью определения таксационных показателей древостоев роль текстурных признаков в изображении очень велика. [10].

Опыт анализа структуры изображений на аэроснимках для задач изучения литосферы показал, что структурозональный анализ может дать дополнитель-

ную информацию для широкого круга геологических задач [11]. Отмечается, что этот инструментальный метод обуславливает объективность геологического анализа материалов съемок, что повышает надежность исследований.

Большое значение имеет изучение видеоинформации о структуре динамических процессов в прибрежных и шельфовых зонах [12]. Например, мониторинг перемещения грунтов в прибрежной области под воздействием волн, изменение глубины в прибрежных районах. Многолетние исследования с использованием дифракционных методов подтверждают целесообразность применения для этого структурозонального метода.

Список источников

1. Зиман Я. Л. О структурозональной съемке // Исследование Земли из космоса. 1980. № 4.
2. Дроханов А. Н. Анализатор структуры аэрокосмических фотоизображений // Геодезия и картография. 1988. № 5.
3. А.с. СССР № 1083888 Многозональная сканирующая система / А. Н. Дроханов [и др.]. 1979.
4. Котцов В. А. Анализ направленности линейных элементов текстур структурозональным методом // Исследования Земли из космоса. 1986.
5. Обработка изображений и цифровая фильтрация. Под ред. Т. Хуанга. М.: Мир, 1979.
6. Жуков Б. С. Модельные оценки разрешения и размера операционной единицы для Фурье-анализа аэрокосмических изображений. Структурный анализ снимков в аэрокосмических исследованиях Земли. Московский филиал Географического общества СССР. 1985.
7. Котцов В. А., Лозовский А. А. Цветовое кодирование структуры изображения. Структурный анализ снимков в аэрокосмических исследованиях Земли. Московский филиал Географического общества СССР. 1985.
8. Кравцова В. И. Опыт оценки дешифрируемости структурозональных снимков // Исследования Земли из космоса. № 3. 1982.
9. Кравцова В. И. Оценка возможности определения таксационных характеристик древостоев по макетным структурометрическим снимкам. Структурный анализ снимков в аэрокосмических исследованиях Земли. Московский филиал Географического общества СССР. 1985.
10. Эльман Р. И. Формирование текстурных признаков при автоматизированном дешифрировании аэрокосмических снимков леса. Структурный анализ снимков в аэрокосмических исследованиях Земли. Московский филиал Географического общества СССР. 1985.
11. Януш Д. А., Скублова Н. В. Структурозональный анализ изображений при геологическом дешифрировании аэро- и космических снимков. Структурный анализ снимков в аэрокосмических исследованиях Земли. Московский филиал Географического общества СССР. 1985.
12. Шариков Ю. Д., Петрова Т. М. Возможности применения структурозональной съемки для изучения акваторий. Структурный анализ снимков в аэрокосмических исследованиях Земли. Московский филиал Географического общества СССР. 1985.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ И КОНТЕКСТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАБЛЮДАЕМОЙ СЦЕНЕ

С. В. Антонушкина, В. А. Еремеев, Е. С. Межевых
(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)

Обнаружение проселочных (грунтовых) дорог на спутниковых снимках земной поверхности представляет собой актуальную задачу, востребованную во многих практических приложениях: сельском и лесном хозяйстве, военной разведке, логистике, обновлении картографических данных и др. Такие дороги нередко отсутствуют на картах, имеют размытые границы, могут быть скрыты слоями растительности. Это требует разработки специализированных подходов к их автоматическому обнаружению.

Учитывая высокую вариативность формы, размеров, покрытий проселочных дорог, а также факторов, связанных с условиями наблюдения, задача их идентификации слабо поддается формализации. В этих условиях целесообразно применение методов глубокого обучения, в частности, сверточных нейронных сетей, зарекомендовавших себя как эффективное средство анализа данных от систем дистанционного зондирования Земли.

Для повышения точности идентификации предлагается расширить входное пространство признаков для нейронной сети за счет объединения геометрических и яркостных характеристик объектов, фиксируемых системой ДЗЗ, с контекстной информацией, отражающей структурную организацию объектов на снимке. Такое объединение повышает устойчивость нейросетевой модели к шумам и искажениям спутниковых данных, а также способствует её адаптации к различным условиям съёмки земной поверхности. В качестве инструмента извлечения контекстной информации может быть использован, например, оператор Собела [1], который реализован в большинстве современных графических редакторах. Он позволяет выполнить структурный анализ наблюдаемой сцены и получить результат в виде текстуры исходного изображения.

Разработка нейросетевой модели выполнена на базе архитектуры U-Net [2], адаптированной под решение задачи бинарной сегментации, т. е. разбиении наблюдаемой сцены на сегменты, относящиеся и не относящиеся к объектам дорожной сети. Набор данных для обучения сформирован на основе

спутниковых снимков, полученных через открытую платформу Google Earth. При отборе изображений контролировались параметры высоты съёмки, пространственного разрешения, угла обзора и освещённости сцены для обеспечения их совместимости при использовании в рамках одной обучающей выборки. Реализация процесса обучения и применения нейронной сети для идентификации объектов дорожной сети включала следующие этапы:

- отбор спутниковых изображений и ручная разметка дорог;
- аугментация, т.е. искусственное расширение выборки, включающая различные повороты и искажения, применяемые к исходным снимкам;
- извлечение контекстной информации о сцене (при помощи оператора Собела) с ее последующим комплексированием с реальными видеоданными;
- обучение модели сверточной нейронной сети U-Net на сформированной выборке;
- отладка нейросетевой модели, включающая эмпирическую настройку таких параметров, как размер пакета исходных данных, скорость обучения, функция потерь, размерность входного тензора и др.

Оценка эффективности вышеописанного решения выполнена с использованием матрицы ошибок и производных от нее показателей (точность, полнота и F-мера) [3]. В докладе представлены примеры результатов идентификации дорог на спутниковых снимках, а также численные оценки точности решения этой задачи.

Список источников

1. Sobel I., Feldman G. A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing. 1968.
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). 2015.
3. Yacouby R., Axman D. Probabilistic extension of precision, recall, and f1 score for more thorough evaluation of classification models // Proceedings of the first workshop on evaluation and comparison of NLP systems. 2020. Pp. 79–91.

ОБНАРУЖЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «SENTINEL-2»

А. С. Вендин, С. А. Ларюков

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

Одним из практически важных направлений использования данных космической съемки является мониторинг водных объектов. В данной работе рассматривается подход к сегментации водных объектов на основе данных космического аппарата (КА) «Sentinel-2» с применением сверточной нейронной сети «Lanky U-Net» [1].

В качестве источника для поиска изображений используется сервис Sentinel-Hub [2], а для загрузки – открытое облачное хранилище AWS Sentinel-2 L2A [3]. Для построения обучающего набора выбираются мультиспектральные изображения, охватывающие различные регионы России. Загружаются только необходимые каналы B11 (1565 – 1655 нм), B8 (785 – 899 нм), B4 (650 – 680 нм), B3 (543 – 578 нм) [4]. Маски водных объектов формируются на основе индекса NDWI (Normalized Difference Water Index) [5] с использованием каналов B11 и B3 по формуле (1):

$$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8} \quad (1)$$

Для каждого изображения пороговое значение подбирается индивидуально с целью получения наиболее точного выделения водных объектов. Итоговые маски проходят ручную проверку и, при необходимости, корректировку.

Полученные изображения, состоящие из каналов B11, B8, B4, и маски водных объектов разбиваются на фрагменты (тайлы) размером 512 на 512 пикселей. Итоговый набор данных включает 8393 тайла и соответствующих им масок водных объектов.

Для сегментации используется нейросетевая архитектура «Lanky U-Net», адаптированная под задачу бинарной классификации. В качестве функции потерь применяется бинарная кросс-энтропия, оптимизация проводится с помощью алгоритма Adam [6]. Обучение модели осуществляется в облачной

среде Google Colab [7] на протяжении 142 эпох. В целях повышения производительности и снижения объема передаваемых данных в Google Colab, изображения и маски сжимаются без потерь по алгоритму Deflate [8].

Проведенные экспериментальные исследования обученной нейросети показали, что модель демонстрирует высокое качество сегментации. По результатам обучения были получены следующие показатели на тестовой выборке: ошибка первого рода составила 0,014, ошибка второго рода – 0,029, общая точность сегментации – 0,985.

В докладе подробно представлена информация о нейросетевом способе сегментации водных объектов и описаны особенности его использования.

Список источников

1. Москвитин А. Э., Ушенкин В. А., Ларюков С. А. Алгоритм и программный комплекс высокоскоростной нейросетевой сегментации облачности на панхроматических изображениях от космических аппаратов «Ресурс-П» // Цифровая обработка сигналов. 2023. № 3. С. 8–18.
2. Sentinel Hub [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sentinel-hub.com/> (дата обращения: 11.07.2025).
3. Amazon Web Services [Электронный ресурс]. URL: <https://aws.amazon.com/> (дата обращения: 12.07.2025).
4. Global flood extent segmentation in optical satellite images / E. Portales-Julia [et al.] // Sci Rep. 2023. 13(1).
5. NDWI Normalized Difference Water Index [Электронный ресурс]. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndwi/> (дата обращения: 12.07.2025).
6. Kingma D. P., Ba J. L. Adam: a method for stochastic optimization // ICLR. 2015.
7. Google Colab [Электронный ресурс]. URL: <https://colab.research.google.com/> (дата обращения: 14.07.2025).
8. Описание формата сжатия данных Deflate [Электронный ресурс]. URL: https://compression.ru/download/articles/lz/mihalchik_deflate_decoding.html (дата обращения: 15.07.2025).

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ЛИНИИ ПОРЕЗОВ МОЗАИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЗЗ

М. М. Егин, П. А. Князьков

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В. Ф. Уткина, г. Рязань)*

Мозаичные изображения в дистанционном зондирования Земли (ДЗЗ) играют ключевую роль в цифровой картографии, анализе изменений сцен и решении других прикладных задач. Они позволяют при решении тематических задач переходить от использования отдельных маршрутов съемки к использованию многослойных и мозаичных покрытий. Согласно [1] мозаичное покрытие представляет собой единое (статичное) изображение, полученное в результате объединения смежных или перекрывающихся исходных маршрутов (сцен) дистанционного зондирования Земли из космоса.

Для получения качественного мозаичного продукта рекомендуется использовать маршруты с однотипной целевой аппаратурой (ЦА) ДЗЗ, имеющих сходные значения геометрического разрешения, радиометрических характеристик (границ спектральных каналов, радиометрического разрешения), точности географической привязки [1]. Однако даже при использовании исходных данных маршрутов съемки от одного канала одной ЦА из-за различий в условиях съемки на мозаичном изображении могут возникать дефекты в виде геометрических и радиометрических искажений на границах исходных сцен, ухудшающие качество данных. Геометрические искажения, которые могут приводить к дублированию, исчезновению, искажению размеров и формы объектов в области совмещения исходных маршрутов, не являются предметом настоящего доклада. Радиометрические искажения приводят к различиям в яркости совмещаемых изображений маршрутов. Дефект линии пореза мозаичного изображения проявляется в виде перепадов яркости между перекрывающимися маршрутами, которые образуют границы на изображении. Задача определения дефекта линии пореза сводится к нахождению (детектированию) таких границ.

Алгоритмы определения границ на изображении сводятся к выделению перепадов яркости и последующей пороговой обработке (операторы Собеля, Лапласа, Кэнни). В докладе показаны особенности обычных границ объектов и аномальных дефектных границ в зоне сшивки изображений, а также работа известных подходов по их выделению. С учетом наблюдаемых особенностей аномальных границ дефектов линии сшивки для их обнаружения

предложен индикатор насыщения границ и продемонстрированы результаты его применения.

Согласно требованиям к алгоритмам формирования мозаичных покрытий для обеспечения максимальной производительности при формировании мозаичного покрытия предпочтительно использование автоматических алгоритмов [1]. Использование разработанного алгоритма автоматического обнаружения дефектов линии пореза на основе индикатора насыщения возможно для построения автоматизированных и автоматических технологий формирования мозаичных изображений, а также для оценки показателей качества мозаичного покрытия.

Список источников

1. ГОСТ Р 70663-2023. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Общие требования к созданию динамических и мозаичных покрытий: введ. впервые : дата введения 2024-01-01. М. : Российский институт стандартизации, 2023. 16 с.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ SENTINEL-2 С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ U-NET И ЭНКОДЕРА RESNET-18

И. А. Панков

*(Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина, г. Рязань)*

Автоматическое выделение застроенных территорий на спутниковых изображениях является актуальной задачей в области дистанционного зондирования Земли, востребованной в мониторинге урбанизированных зон, актуализации картографической информации, поддержки градостроительного планирования и др. В работе рассматривается подход к сегментации искусственной застройки на многозональных спутниковых снимках Sentinel-2 с применением модели U-Net [1] и энкодера RESNET-18 [2].

Для экспериментальных исследований использованы спутниковые изображения от космической системы Sentinel-2, полученные при помощи геоинформационной платформы Google Earth Engine [3]. Для каждого анализируемого участка земной поверхности выгружены свободные от облачности композиции, сформированные по медиане спектральных значений в течение летнего сезона. Это позволяет исключить из анализируемых данных артефакты, связанные с условиями космической съемки и сезонными изменениями наблюдаемых объектов. Для последующей обработки из изображений использованы шесть каналов (B2–B7), соответствующие видимому и ближнему инфракрасному спектральному диапазону. Предварительно, используемые снимки приведены к пространственному разрешению 10 метров на пиксель для их корректного совместного использования в рамках одной обучающей выборки. Опорные маски для обучения нейронной сети получены путем ручной разметки спутниковых данных. В целях повышения качества обучающей выборки разметка застройки дополнительно верифицируется с использованием открытых карт наблюдаемых участков земной поверхности [2].

Для решения задачи использована модель U-Net с одной важной модификацией: оригинальный энкодер [1] заменен на модифицированный ResNet-18 [3], отличающийся большей архитектурной глубиной и более эффективным математическим аппаратом извлечения признаков. Итоговая архитектура содержит пять нисходящих блоков с последовательным увеличением глубины признаков и уменьшением пространственного разрешения, и четыре восхо-

дящих блока с транспонированными свертками, совмещающими восстановленные признаки с соответствующими слоями энкодера. Размерность выходного слоя – 1 канал, соответствующий карте вероятностей принадлежности пикселя к застройке. На выходе применяется сигмоидальная функция с последующей бинаризацией по фиксированному порогу.

Обучение модели произведено на размеченной выборке из 5 снимков размером 2560×1440 пикселей. В качестве функции потерь использована бинарная кросс-энтропия с логитами (BCEWithLogitsLoss), а оптимизация осуществлялась методом адаптивной оценки момента (Adam). Все входные изображения предварительно нормализованы путём масштабирования с коэффициентом 0.0001. Результаты нейросетевой обработки представлены в виде карт идентифицированной застройки с координатной привязкой.

В докладе приведены результаты экспериментальных исследований предлагаемого подхода, а также численные оценки качества автоматического выделения застроенных участков на натурной информации от космической системы Sentinel-2.

Список источников

1. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). 2015.
2. Moving Object Detection Method via ResNet-18 With Encoder–Decoder Structure in Complex Scenes / Xianfeng O. [et al.] // IEEE Access. 2019. Pp. (99):1-1. DOI : 10.1109/ACCESS.2019.2931922.
3. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / Gorelick N. [et al.] // Remote Sensing of Environment. 2017. 202(3). DOI : 10.1016/j.rse.2017.06.031.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

¹В. В. Булатов, ²А. Н. Пономарев

(¹Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва;

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

Применение лидаров, содержащих современные твердотельные лазеры с диодной накачкой, открывает новые возможности для создания информационно-измерительных систем сбора данных для измерения распределения физических величин в водном пространстве. В этом случае не требуется естественного освещения и поэтому могут использоваться в широком диапазоне атмосферных условий независимо от времени суток, обладают высокой пространственно-угловой разрешающей способностью, возможностью спектральной фильтрации и временного стробирования полезного сигнала на фоне помех. Указанные свойства лидаров делают возможным проводить исследования расположенных в толще воды различных объектов в зависимости от первичных гидрооптических характеристик, состояния взволнованной поверхности воды, проводить зондирование толщи морской воды с целью определения параметров стратификации первичных гидрооптических характеристик, определять параметры светорассеивающих слоев воды, регистрировать поверхностные и внутренние гравитационные волны, оценивать их характеристики. Импульсная характеристика лидара определяет пространственное разрешение лидарных измерений в зависимости от дальности, а также точность определения расстояния до обследуемого объекта. Однако указанный метод по сравнению с локацией в радиоволновом диапазоне имеет следующий существенный недостаток. При прохождении световой волны в водной или воздушной среде из-за ее оптической неоднородности может происходить существенное искажение волнового фронта. Поэтому для лидаров, работающих в оптическом диапазоне, актуальна задача исправления или восстановления волнового фронта в информационных системах, требующих получения оптического изображения высокого разрешения и качества. Одним из способов его восстановления может быть использовано явление обращения волнового фронта с использованием вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна, обладающее малой инерционностью, что является одним из необходимых условий для обработки оптического сигнала в режиме реального времени. На основе применения данного явления можно разрабо-

тать устройство с петлевой схемой, удовлетворяющее поставленным требованиям. Приведены результаты теоретического исследования возможности искажения отраженного сигнала при дистанционном зондировании морской поверхности широкополосным лазерным излучением. Изучена возможность применения широкополосного лазерного излучения для указанных целей, приведена оценка области когерентного взаимодействия пересекающихся широкополосных лазерных лучей с параллельными слоями когерентности. Теоретически изучены статистические выражения, описывающие изменение степени когерентности широкополосного лазерного излучения с наклоненным слоем когерентности в однородной среде. Показано, что нарушение когерентности при распространении светового пучка возрастает с ростом угла наклона слоев когерентности. Рассмотрен случай изменения пространственной когерентности пересекающихся широкополосных световых пучков с параллельными слоями когерентности. В рамках использованных моделей получено, что нарушение когерентности при распространении светового пучка возрастает с ростом угла наклона слоев когерентности. Показано, что размер области, в которой сохраняется корреляция световых пучков, составляет несколько сантиметров, что на три порядка превышает длину когерентности. Без применения наклона слоев когерентности при указанных параметрах лазерных пучков было бы невозможно получить обращения волнового фронта из-за слишком малого размера области когерентного взаимодействия. Оценки влияния флуктуации показывают, что эти свойства лазерного излучения оказывают достаточно заметное влияние на нелинейное взаимодействие активных лазерных пучков и оптической среды. Использование лазерного излучения с наклоном под определенным углом слоев когерентности приводит к существенному увеличению области когерентного взаимодействия, что, в свою очередь, дает возможность использовать широкополосное импульсное излучение лазеров при применении обращения волнового фронта устройств в лидарных системах. При использовании широкополосного излучения можно получить импульсы с гораздо большей энергией, чем в случае узкополосного одномодового излучения, что дает возможность значительно увеличить дальность работы лидарных систем. Предварительные оценки для имеющихся в настоящее время лидарных систем показывают, что увеличение зоны когерентности дает возможность увечить дальность эффективной и устойчивой работы систем лазерной локации морской поверхности на расстояниях порядка нескольких сотен метров. Полученные результаты могут быть использованы для применения импульсных лазеров с широкополосным излучением для целей лазерной локации морской поверхности. В дальнейшем для реше-

ния ряда важных практических задач и приложений, полученные результаты позволяют также разрабатывать и совершенствовать методы дистанционного лазерного зондирования поверхности ледяного покрытия, исследовать поверхностные возмущения ледяного покрова, которые несут информацию не только об источниках генерации, но и о характеристиках морской среды подо льдом, что важно, в том числе для изучения реакции ледяного покрова на различные гидродинамические возмущения природного и антропогенного характеров, а также процессов распада ледяных полей, и разработки методов неразрушающего контроля.

Работа выполнена при теме государственного задания № FFGN-2024-0005.

Список источников

Bulatov V. V., Ponomarev A. N. Statistical approximations in studying the interaction of broadband laser radiation in a complex environment // *Physics of Atomic Nuclei*. 2024. Vol. 87(10). Pp. 1514–1521.

Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ

Материалы
тринадцатой международной
научно-технической конференции

**Актуальные проблемы
создания космических систем
дистанционного зондирования Земли**

Материалы издаются в авторской редакции

Адрес редакции: АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
105187, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вольная, д. 30.
E-mail: vniiem@vniiem.ru.

© АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2025