



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

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ»



МОСКВА
2019

Тезисы докладов Седьмой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – 146 с.

В сборник включены тезисы докладов специалистов из организаций, активно ведущих разработку новых методов и систем дистанционного зондирования Земли из космоса. Представлены результаты по методическим и аппаратурным вопросам дистанционного зондирования, по развитию методов обработки и интерпретации данных спутникового дистанционного зондирования природных сред и создания систем спутникового мониторинга Земли.

Сборник издается в авторской редакции.

**ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ
СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ»**

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА
ГОСКОРПОРАЦИИ РОСКОСМОС ПО КОСМИЧЕСКИМ
КОМПЛЕКСАМ И СИСТЕМАМ.
ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО**

*М. Н. Хайлов,
Госкорпорация «Роскосмос», г. Москва*

**СОСТОЯНИЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ДЗЗ НА БАЗЕ АППАРАТОВ РАЗРАБОТКИ
АО «КОРПОРАЦИИ «ВНИИЭМ»**

*Л. А. Макриденко,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ЦЕЛЕВОГО
ПРИМЕНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ДЗЗ**

*М. Н. Хайлов, В. А. Заичко,
Госкорпорация «Роскосмос», г. Москва*

Дистанционное зондирование Земли из космоса (далее – ДЗЗ) в соответствии с законом Российской Федерации «О космической деятельности» является одним из основных направлений космической деятельности России. Сегодня уже трудно переоценить тот вклад, которые вносят данные ДЗЗ при решении задач, стоящих, прежде всего перед государственными органами власти и информационного обеспечения их деятельности. Данные ДЗЗ широко используются как в деятельности крупных организаций и предприятий, и все более становятся доступными для гражданского общества.

Основным документом, определяющим направление развития космической деятельности в российской Федерации в целом и дистанционного зондирования земли в частности, является Государственная программа «Космическая деятельность России», в которой определены следующие направления развития российской космической системы ДЗЗ:

- создание, развитие и поддержание орбитальной группировки космических аппаратов (далее – КА) ДЗЗ;
- совершенствование и модернизация наземной космической инфраструктуры приема, обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ;
- совершенствование методов и технологий обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ;
- формирование нормативной правовой базы в области ДЗЗ;
- создание системы сертификации данных ДЗЗ, в том числе разработка стандартов в области использования данных ДЗЗ.

При этом основным из этих направлений является задача поддержания и развития прежде всего орбитальной группировки, обеспечивающей своевременное предоставление данных ДЗЗ в требуемых объемах, высоком качестве и в различных спектральных диапазонах.

По состоянию на 1 января 2019 года в составе российской орбитальной группировки насчитывается 10 КА ДЗЗ.

В рамках деятельности Госкорпорации «Роскосмос» в Международной Хартии «Космос и крупные катастрофы» позволяет привлекать для решения оперативных задач космического мониторинга Российской Федерации (прежде всего в интересах МЧС России, Росгидромета, Рослесхоза) до 20 – 30 космических аппаратов из 15 стран мира, в том числе и имеющие радиолокационные средства наблюдения .

В соответствии с Федеральной космической программой России на период до 2025 г. (далее – ФКПР-2025) Госкорпорация «Роскосмос» планирует иметь в составе орбитальной группировки не менее 20 – 25 КА ДЗЗ, причем в 2019 г. в интересах расширения гидрометеорологической группировки планируются запуски космических аппаратов «Метеор-М» и «Электро-Л».

Для успешного функционирования созданной орбитальной группировки на территории страны создана наземная космическая инфраструктура приема, сбора, хранения, обработки и распространения данных ДЗЗ. Её ядром является Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ из космоса (далее – ЕТРИС ДЗЗ), которая успешно функционирует в виде межведомственной информационной системы. Ее основными элементами являются региональные цен-

тры ДЗЗ Роскосмоса, Росгидромета, МЧС России и других ведомств, размещенные по всей территории Российской Федерации. Прежде всего, это такие центры Роскосмоса на космодроме Восточный, в Красноярске, Мурманске, центры Росгидромета в Новосибирске и Хабаровске, центры МЧС России в Вологде и Владивостоке. Хочется отметить, что совместно с МЧС России сегодня создаются региональные центры ДЗЗ в арктической зоне Российской Федерации.

На сегодняшний день одной из тенденций развития космических технологий в части обработки данных систем является переход от простого предоставления данных ДЗЗ, к развитию и предоставлению потребителям готовых продуктов и прикладных специализированных

Мероприятия по созданию и развитию таких сервисов и оказанию соответствующих космических услуг в программе предусмотрено в рамках реализации проекта «Цифровая земля»

Что касается совершенствования нормативной правовой базы в области использования данных ДЗЗ. То в 2018 г. был принят Федеральный закон «О внесении изменений в закон о космической деятельности», который предусматривает расширение возможностей доступа к данным ДЗЗ, путем создания и функционирования Федерального фонда данных ДЗЗ из космоса.

С целью реализации положений этого закона Госкорпорацией «Роскосмос» совместно с заинтересованными ФОИВ, подготовлены шесть проектов постановлений Правительства Российской Федерации, регламентирующие работу с данным фондом.

Кроме этого, в 2019 г. запланированы к разработке концепций двух Федеральных законов – закона «О дистанционном зондировании Земли из космоса» и законопроекте, связанном с использованием результатов космической деятельности в целом.

В период 2019 – 2021 гг. Госкорпорацией «Роскосмос» запланированы разработка и утверждение порядка 30 стандартов в области использования и применения данных ДЗЗ из космоса.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*В. В. Асмус, В. В. Дерюгина, В. А. Кровотынцеv,
О. Е. Милехин, А. Н. Рублев, А. Б. Успенский, С. А. Успенский
ФГБУ «НИЦ «Планета», г. Москва*

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МАЛЫХ СПУТНИКОВ В КОМПАНИИ «SURREY SATELLITE TECHNOLOGY LTD.»

*Alexander da Silva Curiel,
Surrey Satellite Technology Ltd.*

В настоящее время компания SSTL задействована в более чем 60 миссий малых спутников с большим диапазоном применения от оценки новых технологий до наблюдения земли и связи. Малые спутники все чаще используются во всем мире, а группировки спутников обеспечивают возможности, которые раньше трудно было реализовать. За последние годы компания SSTL разработала новейший спутник для получения видеоизображений, малый спутник для получения радиолокационных изображений и спутник-первопроходец для последующих больших группировок спутников широкополосной связи. Более того, вместе с группой партнеров SSTL продемонстрировала технологии, связанные с устранением космического мусора.

SMALL SATELLITE DEVELOPMENT AT «SURREY SATELLITE TECHNOLOGY LTD.»

*Alexander da Silva Curiel,
Surrey Satellite Technology Ltd.*

SSTL has now been involved in over 60 small satellite missions, ranging in application from technology validation, Earth Observation and communications. Small satellites are increasingly being used around the world, and constellations of small satellites provide capabilities that have previously been difficult to implement. Over the past years SSTL has developed a novel video imaging spacecraft, a small radar imaging satellite, and a pathfinder satellite for a large broadband communications constellation. Furthermore, together with a consortium of partners, SSTL has demonstrated technologies related to active debris removal.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ НАЗЕМНЫМИ И КОСМИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

*С. А. Пулинец, Л. А. Ведешин,
ИКИ РАН, г. Москва*

Крупный российский ученый в области наук о Земле академик РАН Н. П. Лаверов предлагал рассматривать проблему солнечно-земных

связей как комплексный процесс взаимодействия литосферы, биосферы и солнечной системы.

Изучение погоды и климатических изменений на планете с давних пор вызывают большой интерес в связи с влиянием метеорологических явлений и процессов на жизнь и хозяйственную деятельность человека. В настоящее время создана и продолжает развиваться Всемирная глобальная система наземных и спутниковых метеорологических наблюдений. Известные успехи достигнуты в исследованиях по численному моделированию общей циркуляции атмосферы в ее взаимодействии с подстилающей поверхностью (океан, суша, ледяной покров и др.) с целью изучения влияния различных физических факторов, определяющих климат и его изменение на планете. В рамках ВМО реализуется целый ряд комплексных международных программ наземных, морских и космических наблюдений различных процессов, «управляющих» погодой и климатом. С этой целью Правительство РФ Распоряжением от 22 июня 2015 г. № 1143-р утвердило Концепцию федеральной целевой программы «Мировой океан» на 2016 – 2031 годы, в рамках которой планируется проведение Комплексных гидрометеорологических, гидрофизических, геологических, гидробиологических, гидрохимических, экологических и других доступных наблюдений. Существенный вклад в решение этих вопросов может также внести изучение закономерностей погоды и климата на других планетах, таких как состав атмосфер, свойств облаков, теплового режима и динамики, химического состава, характеристик поверхности планет, специфики взаимодействия с подстилающей поверхностью.

Однако при моделировании гидрометеорологических процессов не учитывается ряд факторов, обусловленных взаимодействием атмосферы с другими геосферами нашей планеты, заключающиеся как в воздействии сверху (вариации параметров солнечного ветра и другие спорадические проявления солнечной активности (космическая погода), так и в воздействии снизу (тектоническая и геохимическая активность, процессы в биосфере Земли). Именно о необходимости учета взаимодействия геосфер настаивал академик Лаверов. В качестве примеров таких воздействий можно упомянуть изменение глобальной циркуляции атмосферы во время сильных геомагнитных возмущений, воздействие вариаций потоков галактических космических лучей на

облакообразование, возникновение крупномасштабных тепловых аномалий перед сильными землетрясениями, антропогенное воздействие на погоду и климат.

Росгидромет совместно с Российской академией наук и Роскосмосом в течение многих лет проводят комплексные исследования солнечно-земных связей с использованием метеорологических и ионосферных спутников в целях повышения сокращения сроков прогноза погоды и изучения процессов, связанных с дальнейшим изменением климата на планете. По заказу Института прикладной геофизики Росгидромета ВНИИЭМ Роскосмоса совместно с Институтом космических исследований РАН разработан космический проект «Ионозонд-2025», состоящий из четырех космических аппаратов (КА) «Ионосфера» и одного спутника «Зонд». КА «Ионосфера» попарно выведут на взаимно-перпендикулярные в долготной области солнечно-синхронные круговые орбиты на высоту 820 км для исследования ионосферных процессов, а КА «Зонд» запустят на околокруговую орбиту в плоскости терминатора на высоту 650 км для изучения солнечного воздействия на ионосферу Земли.

Для проведения указанных выше исследований учеными и специалистами этих организаций была разработана научная программа проекта «Ионозонд-2025», предусматривающая решение следующих задач: мониторинг состояния ионосферы, наблюдения процессов на Солнце и солнечной активности, процессы, происходящие в верхней атмосфере Земли и контроль магнитосферы, диагностика волновой активности (электромагнитные, акустические волны) и корпускулярных ионизирующих излучений, наблюдение распределения озона в верхней атмосфере. Планируется, что спутниковая группировка «ионозонд» будет работать на постоянной основе с последующим восстановлением исчерпавших ресурс аппаратов, что совместно с группировкой «Метеор» позволит проводить непрерывный мониторинг как погоды и климата, так и космической погоды.

Для выполнения научных исследований на КА «Ионосфера» и «Зонд» разработан следующий комплекс бортовой аппаратуры:

Бортовой ионозонд ЛАЭРТ с передатчиком 137 МГц, работающий в диапазоне (0,1 – 20 МГц) планируется использовать для оперативно-го определения критической частоты ионосферы вдоль трассы полета КА, получения вертикальных профилей электронной концентрации ионосферы с дальнейшим восстановлением трехмерной структуры

ионосферы, определения параметров ионосферной плазмы по частотам плазменных резонансов, измерения глобального распределения ВЧ излучений в диапазоне частот ионозонда.

С помощью прибора (ЭСИП) планируются измерения локальных параметров ионосферной плазмы вдоль орбиты КА, структуры и динамики ионосферы в целом, отдельных физических процессов в ионосферной плазме и глобального мониторинга ионосферы.

По данным радиозатменных измерений глобальных навигационных систем GPS/ГЛОНАСС будут проводиться исследования полного электронного содержания (ПЭС) с целью определения высотного распределения электронной концентрации ионосферы Земли.

Двухчастотный (150/400 МГц) передатчик предназначен для радиопросвечивания ионосферы Земли на частотах 150 МГц и 400 МГц. Основная решаемая задача – определение пространственной структуры электронной концентрации ионосферы

Для измерения дифференциальных энергетических спектров низкоэнергичных электронов и протонов будет использоваться спектрометр плазмы и энергетической радиации (СПЭР/1).

С помощью низкочастотного волнового комплекса (НВК2) будут выполняться измерения магнитных и электрических полей ОКП в диапазоне частот от 0 до 20 кГц для определения состояния магнитосферно-ионосферной плазмы выявления воздействий естественного и антропогенного происхождения.

Спутниковый озонметр (Озонметр ТМ) предназначен для проведения измерений содержания озона в атмосфере Земли на основе спектроскопических измерений по двум сильным полосам поглощения – полосы Хартли и Хоггинса.

Следует отметить, что проект «Ионозонд-2025» предполагает наличие довольно серьезного наземного сопровождения. Совместно с ИПГ запланировано проведение экспериментов по трансionoсферному и обратному трансionoсферному радиозондированию ионосферы с помощью наземных ионозондов сети Росгидромета, работающих синхронно с бортовым ионозондом ЛАЭРТ. Наземные ионосферные станции должны быть снабжены приемниками на частоте 137 МГц для приема информации от бортового ионозонда ЛАЭРТ в режиме непосредственной передачи (НП) при пролете спутников «Ионосфера» над наземными ионозондами. Для томографической реконструкции ионо-

сферы, когда используется сигнал двухчастотного (150/400 МГц) передатчика на борту спутников «Ионосфера» необходимо наличие меридиональных цепочек приемников на частотах 150/400 МГц. Низкочастотные волновые измерения будут также сопровождаться наземными измерениями ОНЧ сигналов в диапазоне 0 – 20 кГц.

Совместное использование спутниковых группировок для гидрометеорологических исследований и для исследований космической погоды позволит существенно улучшить качество мониторинга окружающей среды и понимание факторов, на нее воздействующих.

СОСТАВ И СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ И ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

*А. В. Карелин, Е. М. Твердохлебова, В. А. Шувалов, А. А. Яковлев,
ФГУП «Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения»,
г. Королев, Московская область*

Известно, что окружающая среда обитания является главным объектами исследований социума как в прошлом, так и в настоящее время. Он включает обширный класс крупномасштабных природных и антропогенных объектов, процессов, явлений: поверхностные и подповерхностные структуры Земли, атмосферу с процессами теплопереноса и электричеством, гелиогеофизические процессы в ОКП, на Солнце, включая солнечную активность и др. Количественные данные о параметрах состояния окружающей среды и протекающих геофизических процессах в настоящее время извлекаются преимущественно спутниковыми средствами, число которых постоянно растет (GOES, Demeter, Thamp, Cosmic и др.). Тем не менее, наблюдения космических средств носят достаточно эклектичный характер и направлены на изучение отдельных, пусть и крупномасштабных природных объектов.

Во ФГУП ЦНИИмаш разработана концепция создания космической системы мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки, которая является, по существу, перспективной программой разработки, развертывания и функционирования космических

средств. Центральным звеном этой концепции является комплекс целевой аппаратуры, решающий задачи получения количественных данных о параметрах гидрометеорологических и гелиогеофизических параметров в ОКП.

Концепция построена таким образом, что приборный комплекс охватывает измерениями все основные параметры объектов, процессов и явлений, определяющих гидрометеорологическую и геофизическую обстановку. Целевые приборы системы мониторинга распределены по КА шести автономных группировок, каждая из которых решает выделенный класс задач:

- 1) гидрометеорологическая группировка, 8 КА:
 - блок гидрометеорологических приборов;
 - блок океанографических приборов;
 - блок геофизических приборов;
 - блок волновых приборов;
- 2) радиозатменная группировка, 16 – 24 КА:
 - аппаратура радиозатменного мониторинга атмосферы и ионосферы.
- 3) ионосферная группировка, 8 КА:
 - адаптивный ионозонд;
 - блок регистрации параметров окружающей среды;
- 4) магнитосферная группировка, 3 КА:
 - блок гидрометеорологических приборов;
 - блок геофизических приборов;
 - блок волновых приборов;
- 5) геостационарная группировка, 3 КА:
 - блок гидрометеорологических приборов;
 - блок геофизических приборов;
- 6) внемагнитосферная группировка, 2КА:
 - блок солнечных телескопов и спектральных приборов;
 - блок регистрации параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля;
 - блок регистрации энергичных частиц и потоков жесткого излучения;
 - блок климатических приборов.

В докладе представлены проектные характеристики приборов, их назначение и методические особенности функционирования.

СЕКЦИЯ 1.
**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ,
ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ**

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КЛАСТЕРОВ МАЛЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

*А. В. Курагин, А. Н. Колесенков,
Рязанский государственный радиотехнический университет,
г. Рязань*

Сегодня в мире наблюдается стремительный рост инвестиций в новые амбициозные проекты по созданию так называемых кластеров малых космических аппаратов численностью от сотен до тысяч, которые способны радикальным образом изменить как коммуникационный, так и космический бизнес. Несмотря на пока еще доминирующее положение геостационарных операторов спутниковых услуг, космическая отрасль входит в новую эпоху.

Огромные объемы данных требуют совершенно других скоростей передачи в любой точке планеты. Для этого со стороны низкоорбитальных спутников требуется создание кластеров большого количества аппаратов в нескольких плоскостях.

Компания Boeing планирует запустить и эксплуатировать сеть из 1396 спутников до 2022 г., и еще 1560 спутников до 2024. SpaceX планирует созвездие низкоорбитальных спутников, состоящее из 4425 спутников, Telesat – несколько сотен спутников. Общее число малых спутников составит в ближайшей перспективе почти 25 000, из которых около 23 000 предназначены для связи, 1 500 – для наблюдения Земли и еще 800 – для различных служб. Производство такого огромного числа спутников впервые позволит использовать методы массового производства для достижения низкой себестоимости. Таким образом, заказчики получают возможность быстрее и дешевле выводить на рынок новые бизнес-концепции в космической отрасли.

Операторы связи проявляют интерес к относительно небольшим спутникам (~2500 кг) с более низкими капитальными затратами, коротким сроком службы (~5 – 7 лет), но которые могут эксплуатироваться

в кластерах, что обеспечит большую гибкость, снизит индивидуальные стартовые затраты и как следствие позволит быстро обновлять технологии. Новый квантовый спутник, строящийся SSTL & Airbus для Eutelsat, который запустят в 2019 г., подтверждает эти намерения.

Интеллектуальное и оптимизированное управление трафиком через спутник может значительно разгрузить наземные мобильные сети. Таким образом, мы увидим слияние наземных и космических сетей, так называемая космическая паутина, распространяющаяся на наблюдение Земли и научные спутники, МКС и, в конечном итоге, форпосты на Луне и Марсе.

Малые спутники менее сложны в структурном отношении, поскольку они физически компактны и имеют меньшую связь с пусковой средой. Эффективным средством построения больших апертур в космосе могла бы стать роботизированная сборка на орбите множества малых спутников для формирования физически более крупных структур. Компоновку данной структуры можно менять в зависимости от меняющейся цели.

Следующим логичным шагом является создание в космическом пространстве компактных терминалов оптической связи для передачи данных со скоростью от 2,5 до 10 Гбит/с.

Есть несколько факторов, которые в настоящее время сдерживают развитие бизнеса по производству, запуску и использованию малых спутников. Это, например, сложный и дорогой запуск на орбиту. Существуют также и другие проблемы, касающиеся, например, космического мусора, политики конфиденциальности наблюдения Земли и распределения частот связи, но они являются глобальными темами сами по себе и выходят за рамки данного доклада.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*С. А. Волков, А. Ю. Потюткин, Ю. А. Тимофеев,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

Рассматриваются проблемные вопросы создания перспективных много-спутниковых систем глобального космического мониторинга на основе малоразмерных КА (МКА). Анализируется их содержание и рассматриваются пути решения, а также практические рекомендации

по их реализации. Особое внимание уделено вопросам общесистемного плана: системному проектированию многоспутниковых космических систем (КС) на основе МКА, управлению целевым эффектом космических многоспутниковых систем на основе гомеостатического подхода.

К числу проблемных вопросов отнесены следующие:

1. Определение целевого предназначения многоспутниковых орбитальных группировок (ОГ) мониторинга на базе МКА, определение требований к системе, задание общесистемных показателей.

2. Формирование наземного специального комплекса (НСК) для ОГ на базе МКА, состав потребителей и предоставляемых сервисов, вопросы валидации предоставляемой информации.

3. Определение состава ракетно-космического комплекса (РКК) для обеспечения гарантированного доступа в космическое пространство, который подразумевает не просто возможность выхода за пределы земной атмосферы, а возможность вывода груза определенной массы на конкретную орбиту (траекторию) в требуемой области космического пространства. Гарантированным такой доступ становится в случае приобретения системой средств выведения способности выполнять свои задачи в любых условиях обстановки.

4. Фактическое отсутствие наземного комплекса управления (НКУ) для управления многоспутниковой ОГ МКА ДЗЗ, определение состава методов и способов организации информационного обмена «Борт – Земля», а также возможного комплекса средств НКУ.

5. Отсутствие технологий управления многоспутниковыми (более 100) группировками МКА и кластерами МКА. Представляется, что в основе новых технологий должен лежать переход от управления отдельными КА к управлению целевым эффектом всей космической системы в условиях ограниченности ресурсов управления. Управление многочисленной группировкой требует новых подходов, основанных на гомеостазе системы, позволяющем сохранить баланс между процессами деградации и упорядочивания, происходящими в системе, и обеспечить её жизнедеятельность. Проводится анализ процессов деградации системы и способов их парирования с детализацией по видам информационного обеспечения процесса управления – командно-программного, информационно-телеметрического, навигационно-баллистического и частотно-временного обеспечения, которые получают новое содержание. Помимо традиционных задач, ориентированных на управление отдельным КА, появляются задачи системного уровня, ориентированные на управление целевым эффектом всей орбитальной группировки.

6. Не решены вопросы создания МКА, в случае массового серийного производства, которое требует отработанных технологий модульного конструирования МКА различных типов (по аналогии с фактором CubeSat), а также определения требований к созданию и производству и испытаниям МКА.

7. Не решены организационные вопросы создания творческих коллективов по разработке МКА. Производство отдельных МКА для крупных предприятий отечественной ракетно-космической промышленности по большей части невыгодно и ввиду отсутствия заказчика пока не представляет большого интереса. Отдельные исследовательские успехи есть результат настойчивости дальновидных руководителей.

8. Отсутствуют практически реализуемые сквозные технологии разработки космических систем на основе МКА с учетом: заказчика КС; целевого предназначения системы; главного конструктора КС; параметров ОГ МКА, обеспечивающей необходимые целевые показатели функционирования системы; предполагаемых средств выведения и РКК в целом, обеспечивающего гарантированный доступ в космическое пространство; средств НСК, обладающего необходимой производительностью и пропускной способностью для реализации целевого предназначения системы; средств НКУ, обеспечивающего необходимый уровень глобальности, непрерывности и оперативности управления как ОГ в целом, так отдельными МКА; способов утилизации МКА после окончания активного функционирования; возможностей промышленности по созданию МКА заданного типа и серийности их производства.

По каждому из проблемных вопросов предложены варианты решений и рекомендации. В целом сделан вывод о необходимости смещения акцентов от существующей практики разработки облика отдельных МКА к разработке облика возможной космической системы на их основе, а в конечном итоге развитию отечественной индустрии малоразмерных КА.

АКТИВИЗАЦИЯ СПРОСА НА ПОСТАВКУ КС ДЗЗ НА ЭКСПОРТ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ НА РЫНКЕ

*А. П. Долгов,
ФГУП «Организация «Агат», г. Москва*

В 2018 – 2019 гг. ГК «Роскосмос» активизировал вопросы развития коммерческих продаж космических аппаратов и систем на экспортные рынки, в связи с чем совместно с ключевыми головными предприятиями

ями, в число которых входит АО «Корпорация «ВНИИЭМ, головным институтом Роскосмоса по экономике, ФГУП «Организация «Агат», которую я представляю, была выдвинута инициатива разработки соответствующей бизнес-модели и бизнес-плана для одного из ключевых проектов отрасли для проработки на более глубоком уровне по сравнению со стандартным технико-экономическим обоснованием вопросов развития сегментов мирового рынка космических систем ДЗЗ, построения цепочки добавленной стоимости, действий конкурентов и организации собственной деятельности в части создания и продажи КС на экспорт, привлечения и обслуживания финансирования, а также решения вопросов интеллектуальной собственности и корпоративного контура.

На основании данной аналитики сегодня будут представлены основные выводы в части мировых трендов: а) подтверждающие потребность в данном коммерческом продукте; б) показывающие рабочие модели, которые используют наши конкуренты на глобальном рынке, в том числе топ-2 мировых лидеров отрасли.

Начнем мы с базы. Подчеркнем, что бизнес-модель продажи космических систем ДЗЗ мы рассматривали не в отрыве, а в сравнении с альтернативой моделью работы с КС ДЗЗ – когда поставщик КС оставляет в своей собственности наземную инфраструктуру и орбитальную группировку и зарабатывает на продаже данных ДЗЗ, а также тематических услугах на основе данных ДЗЗ напрямую, или через цепочку дистрибуции в ключевых регионах сбыта. Тот факт, что ФГУП «Организация «Агат» приложил значительные усилия по формированию бизнес-модели продажи данных ДЗЗ в 2016 – 2018 гг. и ее практических инструментов (лицензионных договоров, прайс-листа, требований об уровне сервиса к оператору), позволил нам подробно рассмотреть альтернативу создания собственной ОГ, включая ее плюсы и минусы, в том числе риски в развитии бизнеса downstream в регионах поставки КС ДЗЗ. Вместе с тем, было решено развитие обоих, взаимно дополняющих бизнес-направлений: по второму из которых – поставке данных и услугу ДЗЗ сформирована бизнес-модель, созданы договорные условия и оператор услуг ДЗЗ, по первому же – предстоит ее создание, на чем мы и сфокусируемся.

Начнем с рынка и его специфики. Как и в случае с поставкой данных ДЗЗ, основной сегмент заказа КС ДЗЗ на мировом рынке, как на рынке данных ДЗЗ, государственный. Его роль значительно и формате

национальных программ, по которым часто данные распределяются между отраслевыми министерствами на безвозмездной основе, так и в формате коммерческих закупок государственными ведомствами на глобальном рынке – доля такого заказа доходит до 60 – 70 % потребности. В связи с высокой стоимостью КС ДЗЗ, как продукта, в отличие от стоимости отдельных партий космической информации, крайне значимо здесь подчеркнуть здесь, что наличие собственной системы – это в первую очередь решение вопросов непрерывной работы гражданских и специализированных ведомств, и во вторую очередь возможность развития собственных компетенций в приеме, обработке данных и формировании бизнеса услуг ДЗЗ на ее основе.

В рамках доклада мы делаем акцент на требованиях к космической системе ДЗЗ в том числе с точки зрения оперативности обновления информации, и подчеркиваем, что для современных тематических услуг ДЗЗ необходима частота обновления от 1 до 24 раз в сутки, которой можно достичь только ОГ из 6 – 9 КА и с применением дополнительных орбитальных плоскостей.

Начиная с 2014 – 2016 гг. произошла активизация поставки КС ДЗЗ на экспорт.

Очередной после 2017 г. пик разворачивания КА ДЗЗ ожидается в 2020 – 2023 гг., в том числе в формате КС на экспорт: в 2002 – 2013 гг. было поставлено 13 КА в составе КС, или в среднем по 1 в год, в 2014 – 2018 гг. 15 КА или в среднем по 3 в год.

Мы прогнозируем, что по количеству и в денежном выражении объемы разворачивания КА ДЗЗ, в том числе КА ДЗЗ создаваемых в рамках КС ДЗЗ, поставляемых на экспорт, достигнут очередного пика в 2020 – 2023 гг. В связи с чем необходимо торопиться с выводом аналогичных продуктов на базе больших массой 1 – 2 т и малых массой 0,2 – 0,5 т КА ДЗЗ на рынок.

На основании кейсов из мирового опыта возможно выделить 4 формата поставки КС ДЗЗ на экспорт: сдача в аренду КА ДЗЗ, продажа части ресурса КА, продажа 100% ресурса КА «под ключ», продажа 100% ресурса КА и технологий для производства.

Среди ряда форм договора поставки КС ДЗЗ Airbus, SSTL, Thales, SIIS, DigitalGlobe (Махаг) целевой моделью для российской бизнес-модели может служить комбинированная бизнес-модель Махаг для С. Аравии.

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ОКЕАНОВ И РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН (ЦУНАМИ)

¹А. А. Прилуцкий, ²С. В. Переслегин,
¹А. С. Петров, ¹А. Л. Родин, ¹Е. А. Сидорчук,
¹АО «НПО им. С. А. Лавочкина», г. Химки,

²Институт океанологии им. П. П. Ширшова, г. Москва

В настоящее время современные надирные альтиметры космического базирования достигают точности измерения уровня океана равной единицам сантиметров. Недостаток данных – приборов малая полоса обзора поверхности, поэтому для обеспечения оперативности наблюдения сейсмически опасных районов требуется космическая группировка, состоящая из десятков спутников. Перспективными средствами наблюдения океанов из космоса в радиодиапазоне являются интерферометрические многопозиционные РСА (ИРСА), способные определять уровень океана и скорость течений по поляризационным портретам рассеяния. Для повышения чувствительности многопозиционных РСА возможно зондирование в квазизеркальном режиме, при этом УЭПР минимум на три порядка выше УЭПР при обратном рассеянии на водной поверхности. Поэтому такие радары могут иметь более низкую излучающую микроволновую мощность, и как следствие меньший вес, габариты, энергопотребление и стоимость и могут размещаться на малых космических платформах на высоких орбитах. Для эффективной работы ИРСА, необходима высокая межспутниковая (пространственная и временная и фазовая) синхронизация в интерферометрическом режиме, которая достигается использованием высокоточных методов внешней и внутренней калибровки ИРСА и использования радиосистем межспутниковой синхронизации.

В докладе представлены:

- варианты построения космических систем (КС);
- параметры РСА для разных вариантов построения КС;
- энергетические характеристики ИРСА;
- чувствительность интерферометра из РСА для разных построений;
- оценка пространственного разрешения ИРСА при квазизеркальном зондировании;
- использования внешней подсветки при работе РСА (КА с ГСО или спутником ГНСС).

Многопозиционная космическая радиолокация является перспективным инструментом для исследования морей и океанов.

**ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА МНОГОСПУТНИКОВЫХ
ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК МАЛОГАБАРИТНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РВСН**

*Д. М. Макаренко, А. Ю. Потюпкин,
Военная академия РВСН им. Петра Великого, г. Москва*

**ОСОБЕННОСТИ КЛАСТЕРА МАЛОРАЗМЕРНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ КАК ОБЪЕКТА ИСПЫТАНИЙ**

*С. А. Гежа,
Военная академия РВСН им. Петра Великого, г. Москва*

**К ВОПРОСУ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖИВУЧЕСТЬЮ
МКА ДЗЗ ПУТЕМ КОНФИГУРИРОВАНИЯ ЕГО БС**

*Ю. В. Зайченко, В. Г. Поспелов, А. Н. Черный,
«НИИ КС им. А. А. Максимова» – филиал АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»*

В перспективах развития мировой и отечественной космонавтики все отчетливее проявляется тренд, связанный с развитием малых космических аппаратов (МКА), включая МКА ДЗЗ, доказывающих на практике свою эффективность в решении задач, которые еще совсем недавно были прерогативой больших космических аппаратов.

В результате начавшегося и интенсивного продолжающегося процесса миниатюризации, применения новых информационных технологий МКА ДЗЗ быстро эволюционируют по своим возможностям и срокам активного существования. Одновременно наблюдается тенденция в повышении требований к ним и совершенствования технологий использования. На повестке дня стоит решение важной проблемы – обеспечения непрерывности выполнения МКА ДЗЗ целевых задач, что актуализирует задачу обеспечения их живучести.

Из анализа этой важной проблемы следует, что поиск ее разрешение активно ведется различными организациями. Например, в ряде статей, автором или соавтором которых является Ахметов Р.В., предпочтительным вариантом решения данной проблемы считается создания специализированного патерна системы управления живучестью, входящей в состав бортового комплекса управления (БКУ) КА.

Однако, постоянное совершенствование бортовой аппаратуры наблюдения, в том числе установленной на МКА ДЗЗ, ведет к лавинообразному увеличению создаваемого ею информационного ресурса, требующего значительных вычислительных ресурсов для его бортовой обработки и «сброса» на наземные центры и пункты приема. Иными словами, БКУ будет функционировать в условиях высоких нагрузок, и дополнительно загружать его решением вычислительноемких задач управления живучестью МКА, может отрицательно сказаться на решении целевых задач.

Кроме этого, традиционный подход к управлению живучестью «нацеливают» бортовые средства на парирование, преимущественно, расчетных рассмотренных аномальных полетных ситуаций (АПС). В остальных случаях управление живучестью передается на наземный комплекс управления (НКУ), что в большинстве случаев приводит к необходимости на время принятия решения полностью или частично приостанавливать решение целевых задач.

В этой связи для обеспечения непрерывности выполнения МКА ДЗЗ целевых задач, задачи управления их живучестью целесообразно передать специализированному бортовому функциональному модулю (БФМ), который будет способен парировать не только расчетные, но и целый ряд нерасчетных АПС.

Перспективной в этом направлении следует считать технологию проактивного интеллектуального управления живучестью МКА с гибким перераспределением функций между бортовыми средствами и НКУ, в сторону придания первому больших возможностей парирования АПС, в том числе нерасчетных. В контексте этой технологии можно рассматривать технологию обеспечения живучести МКА путем управляемого конфигурирования его бортовых систем (БС), за счет использования имеющихся или созданных на этапе проектирования внутренних (структурных, функциональных, вычислительных и пр.) ресурсов БС.

При этом, БФМ будет самостоятельно вести непрерывный интеллектуальный мониторинг состояния БС МКА с целью установления факта возникновения АПС и идентификации ее типа (расчетная: рассмотренная/нерассмотренная или нерасчетная). В случае возникновения АПС будет автоматически запускаться процесс ее оперативного парирования, обеспечивающего непрерывность выполнения МКА ДЗЗ целевых задач.

Безусловно, возможности БФМ будут ограничены и, следовательно, в ряде ситуаций управление живучестью МКА ДЗЗ будет реализо-

ываться с привлечением НКУ. В качестве таких ситуаций могут рассматриваться возникновение сложной нерасчетной АПС или невозможность реализовать выбранный БФМ вариант конфигурирования БС МКА.

В таких ситуациях НКУ по результатам телеметрии в автоматизированном режиме с использованием дополнительной информации будет самостоятельно решать задачу выбора варианта конфигурирования БС МКА. Кроме этого НКУ по результатам телеметрии будет осуществлять мониторинг состояния БС МКА и оценивать эффективность проведенного БФМ автоматического конфигурирования БС МКА. При необходимости на борт будут передаваться соответствующие корректирующие управляющие команды.

Центральным звеном в технологии управляемой конфигурации БС МКА является решение задачи анализа и синтеза технологий и программ конфигурацией БС МКА в условиях возникших АПС с использованием и без использования средств НКУ. Поиск этого решения в рамках выполнения программы Союзного государства «Технология-СГ» предлагается проводить на основе развития формируемой прикладной теории проактивного управления структурной динамикой сложных технологических объектов в направлении ее применимости к вопросам обеспечения живучести МКА в условиях расчетных и нерасчетных АПС. В результате проведенных теоретических исследований были разработаны методическое обеспечение и концептуальная схема технологии решения задачи управления живучестью МКА, реализуемая в БФМ.

Предлагаемая модель выбора варианта конфигурирования БС позволит учитывать их текущее техническое состояние, равномерность расходования ресурсов элементами БС, работоспособность БС в различных режимах функционирования МКА, и, таким образом, обоснованно осуществлять выбор наиболее предпочтительных вариантов конфигурирования БС.

Предполагается, что наличие на борту специализированного БФМ позволит разгрузить БКУ и оперативно в автоматическом режиме решать вычислительно емкую задачу интеллектуального управления живучестью МКА ДЗЗ, что позволит обеспечить непрерывность выполнения ими целевых задач с требуемой эффективностью в течение всего срока активного существования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ БОРТОВОГО ПРИЕМНИКА СИГНАЛА ГНСС

*С. В. Воронцовский, А. В. Зайчиков, А. А. Фурсов, А. П. Фурсов,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

Предлагается технология определения высокоточных параметров движения (кинематической траектории, динамической орбиты, ограниченно-динамической орбиты) низкоорбитальных космических аппаратов (КА) по измерениям бортового приемника навигационного сигнала.

Технология реализуется последовательным выполнением следующих этапов:

1. Расчет кинематической траектории по кодовым измерениям.
2. Определение предварительной динамической орбиты.
3. Обработка фазовых измерений.
4. Определение высокоточных динамической (ограниченно-динамической, кинематической) орбиты.

Оценка полученных высокоточных параметров движения проводится при помощи лазерно-дальномерных измерений.

Из приведенных результатов следует, что использование навигационных измерений ГНСС позволяет осуществлять определение высокоточных параметров движения низкоорбитальных космических аппаратов (с СКП в сантиметровом диапазоне). Разработанная технология может быть применена для определения параметров движения любых низкоорбитальных КА, оснащенных бортовым приемником сигнала ГНСС.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МНОГОСПУТНИКОВЫХ СТРУКТУР ИЗ КА «КАНОПУС-В»

*А. В. Горбунов, И. Ю. Ильина, В. К. Саульский,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» с 2012 года регулярно выводит в космос малые КА серии «Канопус-В», которые за истёкший период доказали свою высокую эффективность при решении большой группы практических задач, объединяемых под общим названием «оператив-

ный мониторинг» (ОМ) чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного и природного происхождения. Для ОМ требуется высоко оперативное наблюдение за возникающими ЧС, для чего необходимо вести наблюдение из космоса в широких полосах обзора.

Ещё одну большую совокупность задач, которая также успешно реализуется с помощью данных спутников, составляют обновление топографических карт и информационное обеспечение деятельности в ряде хозяйственных отраслей (сельское, водное и лесное хозяйство, землепользование, поиск полезных ископаемых, контроль застройки территорий и др.). Для этой группы нужно регулярно, хотя и с относительно невысокой периодичностью, производить сплошную съёмку (СС) основной территории России с высоким пространственным разрешением.

Для решения обеих групп задач, т. е. оперативного мониторинга ЧС и сплошной съёмки, на КА «Канопус-В» устанавливаются моноблоки целевой аппаратуры, выполняющие наблюдение Земли с высоким разрешением на местности (2,1 м для съёмки в панхроматическом канале и 10,5 м – в 4-х спектральных каналах) с полосой захвата 20 км. Такой полосы хватает для сплошной съёмки с невысокой периодичностью, но недостаточно для ОМ ЧС. Поэтому с целью обеспечения большой полосы обзора вплоть до 880 км предусмотрены быстрые программные повороты всего спутника по крену.

Таким образом, заложенные в КА «Канопус-В» конструктивные решения способствуют реализации как ОМ ЧС, так и СС. Однако, возникает проблема исследования и выбора такой спутниковой структуры из подобных КА, которая бы наилучшим образом подходила попеременно для работы в режимах ОМ ЧС и СС.

В данном докладе предлагается решение этой проблемы для системы из 6, 8, 10 и 12 спутников. В качестве критериев для сравнения вариантов построения подобной системы в каждом из режимов используются «максимальный перерыв обзора» $T_{\max}$ и «эффективный период обзора» T_{ef} , вычисляемый следующим образом:

$$T_{ef} = \sum_{n=1}^{n_{\max}} t_n^2 g_n,$$

где t_n – перерыв обзора, $n = 1, 2, \dots, n_{\max}$; g_n – частота возникновения перерыва t_n за один драконический период обращения спутника, или, проще говоря, за виток орбиты. Оба критерия вычисляются в витках орбиты.

Ключевую роль при определении значений этих критериев играет математический алгоритм, реализованный в программе для ЭВМ. Данная программа ЭВМ разработана на основе «векторной модели обзора Земли», опубликованной в ряде статей в журналах «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ» и «Космические исследования».

Программа обеспечивает расчёт всех перерывов обзора вместе с частотами их возникновения (на заданном для наблюдения поясе широт земного шара) для системы из любого числа спутников с любой структурой. Программа обладает высоким быстродействием, которое можно охарактеризовать следующим образом: для вычисления всех перерывов обзора с их частотами на пояс широт $[43^\circ, 70^\circ]$ с шагом по широте $0,1^\circ$ затрачивается от 0,02 до 0,05 с для систем из 6 – 12 спутников типа «Канопус-В». Это позволило исследовать очень большое количество вариантов орбитальной структуры из 6, 8, 10 и 12 КА и выбрать наиболее предпочтительные среди них по вышеуказанным критериям.

Рассматривались два типа спутниковых структур. В 1-м из них все КА равномерно размещаются в одной плоскости орбиты. Так до сих пор пополнялась группировка спутников серии «Канопус-В». Во 2-м эти КА могут располагаться парами в плоскостях орбит, восходящие узлы которых равномерно распределены вдоль экватора в области долгот $140^\circ - 260^\circ$, обеспечивая съёмку земной поверхности в диапазоне широт $[43^\circ, 70^\circ]$ с углами места Солнца не ниже 10° в период между весенним и осенним равноденствиями. Попарное выведение КА «Канопус-В» в одну плоскость орбиты соответствует стратегии АО «Корпорация «ВНИИЭМ» по экономичному запуску малых спутников в космос на одной ракете-носителе.

Варианты структуры отличались выбором сдвигов фаз между соседними спутниками системы. Исследовался полный набор значений сдвигов от 0° до 360° через 1° . Построены графики критериев $T_{\max}$ и T_{ef} для всех вариантов в двух режимах функционирования: ОМ ЧС и СС, на примере системы из 6 КА. По графикам установлено, что 1-й тип структуры (равномерное размещение всех спутников в одной плоскости) в целом проигрывает 2-му (попарное расположение КА в отдельных плоскостях орбит) в обоих режимах функционирования (ОМ ЧС и СС).

2-й тип структуры для ОМ ЧС наиболее выигрышен, причём как по значениям $T_{\max}$, так и по T_{ef} . Для задач сплошной съёмки 2-й тип структуры оказывается лучше 1-го по критерию T_{ef} , но, на первый взгляд, проигрывает ему по $T_{\max}$. Однако, при более тщательном и важном с точки зрения практики исследовании выявляются два обстоятельства, дающие обратный результат.

Во-первых, опираясь на подробные диаграммы частот возникновения всех перерывов обзора на примере системы из 6 КА, частота $T_{\max}$ для 2-го типа структуры не превышает 0,0005, т. е. 0,05%, а значения остальных больших перерывов в обоих типах были близки друг к другу. Более того, сумма частот таких крупных перерывов оказалась гораздо меньше для 2-го типа. Именно этим и объясняется, в конечном итоге, меньшая величина эффективного периода T_{ef} для 2-го типа структуры, причём и для ОМ ЧС, и для СС. Обнаруженная при построении диаграмм пренебрежимая малость частоты максимального перерыва $T_{\max}$ приводит к попутному выводу (из проведенных исследований) о том, что этот критерий нецелесообразно использовать в дальнейшем для сравнения вариантов спутниковых структур.

Во-вторых, проведены вычисления средних значений обоих критериев $T_{\max}$ и T_{ef} , допуская возможность колебаний сдвигов фаз в пределах $\pm 10^\circ$ от лучших значений, найденных по графикам. В этом случае преимущество 2-го типа структуры перед 1-м выявилось по обоим критериям для ОМ ЧС и СС при всех числах КА в системе: 6, 8, 10 и 12. Таким образом, главный вывод из проведенных исследований заключается в том, что при дальнейшем ожидаемом наращивании группировки спутников «Канопус-В» целесообразно строить её из пар КА в отдельных плоскостях орбит.

Также даны конкретные рекомендации по выбору диапазонов допустимых значений сдвигов фаз для 6, 8, 10 и 12 спутников в системе, при которых реализуются наилучшие, т. е. наименьшие величины показателей $T_{\max}$ и T_{ef} для обоих режимов наблюдений: ОМ ЧС и СС.

О ВЫБОРЕ ЭЛЕКТРОРАКЕТНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

¹В. Я. Геча, ²В. В. Онуфриев, ²Е. В. Онуфриева, ²Н. И. Сидняев,
¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

²Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), г. Москва

Применение низкоорбитальных КА сопряжено с необходимостью поддержания их высоты орбиты путем компенсации силы лобового сопротивления с помощью корректирующей двигательной установки (КДУ).

При использовании на низких околоземных орбитах малых КА вопрос об увеличении срока активного его существования осложняется двумя проблемами:

- энергообеспечение КА и ЭРД КДУ;
- запасаемая масса рабочего тела.

В этой связи предлагается использовать электротермический двигатель с дополнительным подводом тепла (ЭДПТ), который укладывается по энерговооруженности в указанный выше диапазон и позволяет реализовать скорость истечения порядка 6 – 8 км/с.

В качестве рабочего тела может быть использован аммиак – NH_3 , который находится в СХПРТ в жидком состоянии и не требует толсто-стенных баков.

Разгон потока осуществляется в сопловом участке ЭДПТ, при этом скорость истечения из сопла w определяется как:

$$w = \sqrt{\left[\frac{2k}{k-1} \frac{RT}{\mu} + \frac{N}{P} w \right] \left(1 - \alpha^{\frac{k-1}{k}} \right)}, \quad (1)$$

где α – степень расширения сопла, μ – молярная масса рабочего тела, k – показатель политропы, T – температура рабочего тела на входе в тепловой канал, R – универсальная газовая постоянная, N – тепловая мощность, перешедшая в энергосодержание потока рабочего тела.

Масса КА включает массы энергоустановки (ЭУ), ЭРД, рабочего тела (РТ), конструкции (кон), полезной нагрузки (ПН):

$$M_0 = \frac{N}{\eta_Q \eta_{СПТ} \eta_{ЭРД}} \gamma_{ЭУ} + \frac{N}{\eta_Q \eta_{ЭРД}} \gamma_{ЭРД} + M_{\text{кон}} + M_{\text{РТ}} + M_{\text{ПН}}, \quad (2)$$

с учетом разных КПД передачи энергии – η .

Модель масс составляющих КА линейная:

$$M_{\text{кон}} = \phi M_{\text{РТ}}, \quad M_{\text{ЭУ}} = \frac{N}{\eta_Q \eta_{СПТ} \eta_{ЭРД}} \gamma_{ЭУ}, \quad M_{\text{ЭРД}} = \frac{N}{\eta_Q \eta_{ЭРД}} \gamma_{ЭРД}.$$

Срок активного существования КА определяются как:

$$t_{\text{САС}} = \frac{M_{\text{PT}} w}{F_c}.$$

В результате с учетом (1) и (2) получим выражение для срока активного существования малого низкоорбитального КА:

$$t_{\text{САС}} = \frac{M_0 - \frac{N}{\eta_{\text{э}} \eta_{\text{СПТ}} \eta_{\text{ЭРД}}} \gamma_{\text{ЭУ}} - \frac{N}{\eta_{\text{э}} \eta_{\text{ЭРД}}} \gamma_{\text{ЭРД}} - M_{\text{ПН}}}{(1 + \varphi) F_c} \times \left(\frac{N}{2 F_c} \left(1 - \alpha^{-\frac{k-1}{k}} \right) + \sqrt{\left(\frac{N}{2 F_c} \left(1 - \alpha^{-\frac{k-1}{k}} \right) \right)^2 + \frac{2k}{k-1} \frac{RT}{\mu} \left(1 - \alpha^{-\frac{k-1}{k}} \right)} \right) \quad (3)$$

Проведенное расчетное исследование влияния энерговооруженности КДУ на срок активного существования малого КА с массой полезной нагрузки 100 – 300 кг показало, что применение ЭДПТ электрической мощностью до 1 кВт позволяет обеспечить величину срока активного существования аппарата (по формуле (3)) в диапазоне 2,2 – 9 месяцев на орбите высотой 210 км.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ КДУ МАЛЫХ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПОДВОДОМ ЭНЕРГИИ

¹В. Я. Геча, ²В. В. Онуфриев, ²Е. В. Онуфриева, ²Н. И. Сидняев,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

²Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), г. Москва

Применение низкоорбитальных КА требует для поддержания высоты орбиты непрерывной работы КДУ. Особенность малых КА (масса ~ 300 – 500 кг) на низких орбитах заключается в том, что энергоустановка такого аппарата имеет ограниченную мощность (верхний уровень электрической мощности составляет 200 – 500 Вт). Это связано с тем, что КА на низких орбитах должен иметь малое миделево сечение

и габариты для снижения силы лобового сопротивления, чтобы обеспечить требуемый срок активного существования.

Проблемой применения КДУ с ЭРД электростатическим или электромагнитным способом ускорения рабочего тела становится малая величина тяги (менее 100 мН) при значительной величине потребной электрической мощности (1,5 – 2 кВт).

В этой ситуации значение приобретает применение электротермических двигателей (ЭТД) в составе КДУ, которые имеют невысокую мощность (100 – 150 Вт). Однако современные ЭНД, ЭТД имеют невысокую скорость истечения рабочего тела (до 2100 м/с), поэтому запас рабочего тела на борту малого КА в зависимости от срока активного существования может составлять 100 – 300 кг.

Таким образом, увеличение скорости истечения (удельного импульса) ЭТД актуален при разработке перспективной КДУ для малого низкоорбитального КА. Для теплового ЭРД важна передача энергии потоку и нагрев его до высокой температуры (до 10 – 25 кК), чтобы получить высокую скорость истечения рабочего тела (10 – 15 км/с), сравнимую со скоростью истечения из электростатического ЭРД.

Способом увеличения удельного импульса теплового ракетного двигателя является дополнительный подвод энергии к потоку. Такой двигатель называется электротермический двигатель с дополнительным подводом тепла (ЭДПТ). Использована модель ускорения в ЖРД с камерами дополнительного теплоподвода.

В результате моделирования получена зависимость для скорости истечения из сопла ЭДПТ W_a определяется как:

$$W_a = \sqrt{\left[\frac{2k}{k-1} \frac{RT_1}{\mu_{PT}} + \frac{N_m}{G_T} \right] \left(1 - \pi^{\frac{k-1}{k}} \right)},$$

где π – степень расширения сопла, k – показатель адиабаты, R – универсальная газовая постоянная, G_{PT} – расход рабочего тела, μ_{PT} – его молярная масса, N_m – тепловая мощность, дополнительно полученная потоком, T_1 – температура потока в начале камеры ЭДПТ. Рассмотрим ЭДПТ с рабочим телом – азот (при следующих численных значениях параметров: $\mu_{PT} = 28$; $N_m = 300$ Вт; $\pi = 100$; $k = 1,2$; $G_T = 10 \cdot 10^{-6}$ кг/с; $T_1 = 1500$ К). В результате получим величину скорости истечения: $W_a \sim 4,3$ км/с.

При $\pi = 500$ величина скорости истечения составит – $W_a \sim 4,8$ км/с. При том же рабочем теле и мощности $N_m = 500$ Вт, степени расширения сопла $\pi = 100$ получим: $W_a \sim 5,5$ км/с, а для степени расширения сопла $\pi = 500$ – $W_a \sim 5,9$ км/с.

Таким образом, дополнительный подвод тепла (с тепловой мощностью 300 – 500 Вт, поглощенной рабочим телом) разгоняет поток почти до 6 км/с.

Полученный результат свидетельствует о том, что организация рабочего процесса в ЭДПТ с участком дополнительного теплоподвода позволяет увеличить энергосодержание потока и скорость истечения рабочего тела из двигателя по сравнению с существующими электротермическими двигателями в два – три раза и экономить запасаемое рабочее тело.

СЕКЦИЯ 2. **КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ И СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ** **КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО** **ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ **РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА** **НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ**

Н. А. Куликов,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

В настоящее время интегральные микросхемы сверхбольшой степени интеграции (СБИС) используются в бортовой аппаратуре космических систем. Как известно, в космическом пространстве на микросхемы воздействует целый комплекс дестабилизирующих факторов (низкоинтенсивное ионизирующее излучение космического пространства, температура, электрический режим). Поэтому необходимо учитывать влияние этого комплекса при оценке вероятности безотказной работы.

В СБИС наблюдаются как сбои и повреждения отдельными тяжелыми частицами, так и «дозовые» эффекты, при которых прекращается нормальное функционирование отдельных блоков. В данной работе анализируется проявление «дозового» эффекта. В общем виде вероятность безотказной работы равна:

$$p = p_0(t)p_p(D),$$

где $p_0(t)$ – вероятность безотказной работы без радиационного воздействия в период нормальной работы; t – время; $p_p(D)$ – вклад в вероятность безотказной работы радиационных эффектов; D – доза ионизирующего излучения.

Для прогнозирования вероятности безотказной работы при радиационном воздействии предлагается использовать выражением:

$$p_p(D) = 2 - \exp(K_q D),$$

в котором K_q – коэффициент радиационного повреждения микросхемы, $D = Pt$ – поглощенная доза ионизирующего излучения за заданный отрезок времени облучения t (эксплуатации ЭРИ); $P = dD / dt$ – мощность поглощенной дозы.

Целью настоящей работы является оценка вероятности безотказной работы микроконтроллера ATmega-128 при работе в реальных условиях эксплуатации на геостационарной орбите в широком диапазоне температур.

В данной работе были использованы результаты экспериментального исследования микроконтроллеров типа ATmega-128 (8-разрядный RISC-процессор с частотой $f = 16$ МГц) фирмы Atmel, в которой радиационные испытания проводились в пассивном и активном (при напряжении питания 5 В) режимах при значениях температур 25°C, 55°C и 85°C и при мощностях дозы от 0,0148 рад/с до 9,8 рад/с.

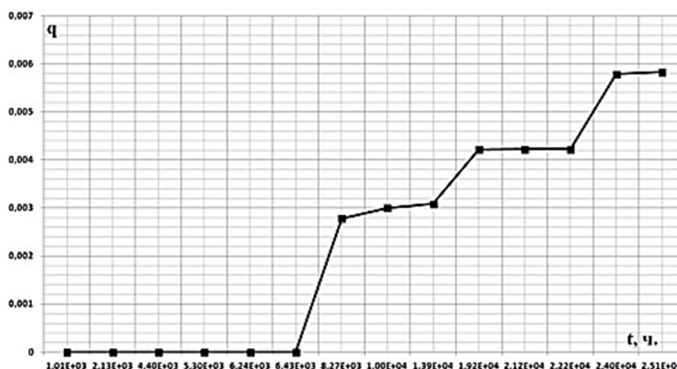
Для прогнозирования радиационно-стимулированного отказа МК использованы данные, полученные на геостационарной орбите и опубликованные. Мощность дозы в бортовом отсеке космического аппарата измерялась с помощью прибора контроля дозовых и одиночных эффектов.

Для расчета вероятности отказа микроконтроллера были использованы временные интервалы реальной эксплуатации на геостационарной орбите и посчитаны значения накопленной дозы D_i , а также вероятности отказа на каждом этапе эксплуатации q_i . В итоге получаем вероятность отказа за весь период эксплуатации в электрическом режиме:

$$q(t_{\text{эсп}}) = \sum_{i=1}^n q_i(t_i),$$

где t_i – продолжительность i -го периода; n – количество периодов эксплуатации; $t_{\text{эсп}}$ – суммарное время эксплуатации. Результаты

расчета представлены на рисунке. Если принять вероятность безотказной работы $p = 0,995$, то в данном примере продолжительность эксплуатации превышает $t \approx 3,6 \cdot 10^4$ час. = 4,1 года.



Зависимость вероятности отказа МК q от времени эксплуатации на геостационарной орбите за защитой 1 г/см^{-2} в период с 24 октября 2008 года до 31 октября 2012 года

Полученные результаты прогнозирования вероятности радиационно-стимулированного отказа для МК типа АТmega-128, выбранного для демонстрации применения методики, показали, что на геостационарной орбите в случае следующей солнечной вспышки толщина защиты 1 г/см^{-2} может быть недостаточна для СБИС данного типа.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ РАБОТЫ В АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ МНОГОЗАДАЧНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

*И. В. Ашарина, А. В. Лобанов,
АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва, г. Зеленоград*

Рассматривается проблема восстановления целевого функционирования в распределенной многомашинной вычислительной системе (РМВС), возникающая после того, как в этой РМВС в некотором комплексе (или множестве F комплексов) была обнаружена допустимая

совокупность (допустимые совокупности) неисправностей и каждая такая неисправность была также синхронно и согласованно идентифицирована всеми исправными ЦВМ соответствующего комплекса по месту возникновения и по типу как программный сбой или отказ определенной ЦВМ этого комплекса. Синхронность и согласованность означает, что все исправные ЦВМ комплекса в одном и том же временном отрезке, одновременно (с приемлемой точностью начинающимся и заканчивающимся во всех исправных ЦВМ комплекса), одинаково и правильно, в соответствии с принятыми критериями сбоя, программного сбоя и отказа, идентифицировали обнаруженные проявления неисправностей как по месту их возникновения, так и по типу.

Всей работой РМВС управляет системный диспетчерский комплекс (СДК), представляющий собой сбое- и отказоустойчивую подсистему РМВС, согласованно управляющую всеми процессами интерфейса сбое- и отказоустойчивости, реализованного в рассматриваемой РМВС и обеспечивающего, 1) парирование допустимых совокупностей неисправностей, и, 2) все необходимые действия по реализации требований динамической избыточности. Объектом, исполняющим функции СДК, может быть отдельный комплекс с принятым достаточным уровнем сбое- и отказоустойчивости или подсистема РМВС, или вся РМВС в целом, которая объединяется в отведенные временные отрезки в отдельный специальный комплекс, выполняющий функции СДК. При идентификации программного сбоя ЦВМ в некотором задачном комплексе (далее – восстанавливаемый, подлежащий самовосстановлению задачный комплекс), информацию об этом событии данный задачный комплекс передает в СДК, который анализирует все выполняемые в задачных комплексах целевые процессы и взаимодействия между ними, определяет период времени восстановления, на который восстанавливаемый задачный комплекс может быть выведен из процесса решения предписанной ему целевой задачи, и сообщает об этом данному комплексу, а также всем другим комплексам, взаимодействующим с ним. Кроме того, СДК сообщает всем этим взаимодействующим между собой комплексам, алгоритмы их работы, во-первых, во время этого периода, и, во-вторых, по его окончании в случаях как успешного, так и неуспешного восстановления. При наступлении периода восстановления все взаимодействующие между собой комплексы выполняют предписанные им из СДК целевые и восстанавливающие действия и по окончании периода восстановления сообщают в СДК об

успешных или неуспешных его результатах. В свою очередь, СДК, получив эти сообщения, принимает решения по дальнейшей организации целевого вычислительного процесса.

Процесс восстановления в восстанавливаемом комплексе состоит в следующем. Все исправные ЦВМ этого комплекса согласованно образуют восстанавливающий подкомплекс (ВПК) восстанавливаемого комплекса и переходят к процессу восстановления, состоящему в следующем. Во-первых, предусмотренными аппаратно-программными средствами восстанавливающие ЦВМ из ВПК согласованно и безусловно переводят восстанавливаемые ЦВМ этого комплекса в режим восстановления и блокируют их каналы межмашинной связи по возможности вмешиваться в работу любой ЦВМ из ВПК. В режиме восстановления восстанавливаемая ЦВМ ожидает от ВПК поступления определенной последовательности команд ее восстановления.

В составе программ каждой ЦВМ из целевого комплекса должна быть программа восстановления восстанавливаемой ЦВМ из этого комплекса, которая должна завершаться последней из указанных команд, переводящей восстанавливающие и восстанавливаемую ЦВМ восстанавливаемого комплекса к выполнению его целевой задачи. Также в программе восстановления может быть предусмотрено предварительное тестовое диагностирование восстанавливаемой ЦВМ. Проявления программных сбоев восстанавливаемой ЦВМ, соответствующие принятому критерию отказа ЦВМ, например, две подряд неудачные попытки восстановления, должны восприниматься со стороны РМВС как отказ этой ЦВМ, вызывающий необходимость ее исключения из восстанавливаемого комплекса и из рабочей конфигурации РМВС, подключения запасной ЦВМ, если она имеется, и аналогичного восстановления в ней целевой работы восстанавливаемого комплекса. В случае отсутствия запасной ЦВМ данный комплекс должен быть переведен по команде из СДК в режим целевой работы с пониженным уровнем сбоев и отказоустойчивости. При достижении принятого критического уровня сбоев и отказоустойчивости в самом СДК и возникновении в нем следующей неисправности РМВС должна перейти в режим безопасного останова, индивидуального для РМВС и зависящего от условий ее применения. В этом режиме РМВС должна сообщить о своем переходе в режим безопасного останова внешнему

пользователю и перейти в режим ожидания от этого пользователя специальных команд управления РМВС.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ТИПА CUBESAT

*Т. К. Пахомов,
3-я научная рота Космических войск
Воздушно-космических сил РФ, г. Красногорск*

Доклад посвящается разработке специализированных систем управления ориентацией и стабилизацией для нано- и пикоспутников. Пикоспутниками называют спутники с массой от 100 г до 1 кг, наноспутники – это аппараты массой от 1 кг до 10 кг. Благодаря спутникам данного типа, можно решить широкий круг задач, например: проводить исследование геофизических полей, астрономические наблюдения, исследование в области космической связи, тросовых систем и т. д.

Особое место среди подобных космических аппаратов (КА) занимают спутники формата «Cubesat». Такие аппараты имеют модульную структуру, каждый модуль которой – это куб со сторонами 10 см. Такой подход позволяет существенно снизить стоимость КА. «Cubesat» представляют огромный интерес при проектировании орбитальных группировок с целью осуществления дистанционного зондирования земной поверхности. Небольшая стоимость КА, относительно низкая стоимость вывода на орбиту делает возможным создание многочисленных орбитальных группировок, включающих в себя множество спутников,двигающихся по разным орбитам. Это, в свою очередь, позволит осуществлять постоянный и непрерывный мониторинг земной поверхности, сохраняя при этом точную географическую привязку и 100% охват наблюдаемых территорий. Если известна функциональная зависимость между спектральным диапазоном, разрешением бортовых устройств спутника и известными свойствами исследуемых объектов, то возможно определить физические, химические, биологические, геометрические параметры отслеживаемых объектов.

Небольшие размеры и масса пико- и наноспутников приводят к необходимости использования в составе подобных систем управляющих двигателей-маховиков (УДМ), при этом традиционно сложившийся подход при проектировании систем управления в крупных

спутниках неприемлем. Так, нельзя использовать при изготовлении УДМ герметичный корпус, потому что его использование соответственно увеличивает размеры и вес системы. Поэтому наиболее приемлемым для использования является бесколлекторный электродвигатель постоянного тока (БДПТ), который кроме, того, что обладает небольшими размерами, также имеет некритические различия в характеристиках при работе в земных и околоземных условиях. БДПТ имеет низкое тепловыделение и уровень электромагнитных помех, срок службы может составлять до 20 000 часов.

Условно можно выделить два метода проектирования УДМ на базе бесколлекторного двигателя постоянного тока. В первом случае разработка системы управления и выбор маховика осуществляется под конкретную модель серийного двигателя. Подобные системы из-за недостатков своей конструкции имеют высокие пульсаций крутящего момента и хаотичное поведение подшипниковых узлов ротора двигателя под действием колебательных и ударных нагрузок, возникающих при выведении КА на орбиту. При втором подходе разрабатывается узкоспециализированный БДПТ, в котором ротор конструктивно интегрирован с маховиком, а подшипниковые узлы рассчитываются с учетом стартовых нагрузок. Такой подход, позволит снизить пульсации момента, за счет оптимизации количества пар магнитных полюсов ротора двигателя-маховика.

При выполнении проекта, разработана принципиальная схема устройства управления УДМ, по сути являющегося электронным коммутатором силовых ключей, разработанным на базе микроконтроллера STM32F407GV. Компонент L293D имеет в своем составе четыре полумостовых схемы, которые позволяют производить отладку и управление БДПТ с номинальным напряжением от 4 до 38 вольт. Модуль UART, реализованный при помощи микросхемы MAX3232, связывает устройство управления УДМ с персональным компьютером, на котором должен быть установлен программный комплекс, разработанный под задачи управления двигателем.

По причине высокого соотношения эффективности с относительной простотой изготовления, а также удобства реализации системы коммутации для данного типа двигателей, в качестве привода УДМ было решено использовать трехфазный БДПТ с датчиками Холла. В программном пакете SOLIDWORKS, с учетом результатов матмоделирования, был спроектирован БДПТ для использования в составе УДМ. При

успешном завершении проекта будет получена одна из ключевых технологий, необходимых для создания КА сверхмалого класса и использования их в составе орбитальных группировок ДЗЗ.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ МНОГОЗАДАЧНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

*И. В. Ашарина, А. В. Лобанов,
АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва, Зеленоград*

Исследуется проблема организации в автоматической необслуживаемой информационно-управляющей распределенной многомашинной вычислительной системе (РМВС) сбое- и отказоустойчивого параллельного выполнения множества $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_l\}$ взаимодействующих между собой целевых задач, каждая из которых должна выполняться на отдельном вычислителе, и взаимодействие между задачами должно осуществляться посредством обмена сообщениями между соответствующими вычислителями по каналам связи между ними.

Сбое- и отказоустойчивость и увеличение срока активного существования РМВС должны обеспечиваться, во-первых, посредством репликации в вычислителе каждой целевой задачи Z_i в соответствии с заданным для нее уровнем μ_i сбое- и отказоустойчивости, определяющим допустимое количество неисправностей принятой модели в этом вычислителе, при котором проявления допустимых неисправностей могут быть парированы за счет обеспечения возможности гарантированного вычисления правильной выходной информации данной задачи из копий выходной информации, формируемых на выходах этого вычислителя, например, применением мажорирования или кворумирования. Репликация целевой задачи Z_i в исполняющем ее вычислителе состоит в параллельном выполнении ее копий на нескольких избыточных цифровых вычислительных машинах (ЦВМ), составляющих задачный комплекс K_i этой целевой задачи (данного вычислителя), с обменом между всеми ЦВМ задачного комплекса результатами выполнения целевой задачи и выбором из них в каждой из исправных ЦВМ правильного результата, в предположении, что не более чем μ_i из этих копий результатов могут быть ошибочными. При этом в каждой

исправной ЦВМ задачного комплекса будет сформирована правильная выходная информация. Во-вторых, использованием в системе механизмов динамической избыточности, обеспечивающих обнаружение проявлений допустимых неисправностей, их идентификацию по месту возникновения и по типу (сбой, программный сбой, отказ), необходимую реконфигурацию системы и восстановление целевого вычислительного процесса при сбоях и программных сбоях, осуществление самоуправляемой реконфигурации или деградации РМВС при отказах.

При отказах и отсутствии запасных элементов должен выполняться переход к целевой работе со сниженными уровнями сбое- и отказоустойчивости или должна осуществляться предусмотренная функциональная деградация РМВС посредством исключения из исполняющихся целевых задач наименее приоритетных, с расформированием их задачных комплексов и переводом составляющих их ЦВМ в запас. При достижении критического уровня сбое- и отказоустойчивости и возникновении следующей неисправности, а также при возникновении недопустимых неисправностей система должна переходить в режим безопасного останова и ожидания предусмотренных при проектировании РМВС указаний из внешней среды с последующим выполнением этих указаний. В системе также должна быть предусмотрена возможность перераспределения имеющихся ресурсов с целью варьирования соотношением «производительность – достоверность» для различных параллельно решаемых взаимодействующих целевых задач, когда в определенные периоды времени для более приоритетных задач выделяется больше избыточности за счет ее уменьшения для менее приоритетных задач.

Особенности рассматриваемых РМВС ответственного применения: а) автономность ЦВМ, б) отсутствие общей памяти, в) межмашинное взаимодействие по двухточечным и шинным каналам связи; г) многоуровневость системы и отсутствие централизованного управляющего органа; д) необходимость самосинхронизации и самоорганизации системы для обеспечения необходимой адаптации, масштабирования, защиты от внешних воздействий, воздействий неисправностей и ошибок проектирования; е) работа в режиме реального времени; ж) большой срок активного существования; з) высокие требования по надежности работы и достоверности результатов.

Уязвимое место таких РМВС – это сложность механизмов самосинхронизации и самоорганизации, разрушение их и циркулирующих в системах информационных потоков.

В качестве модели неисправности принимается самая общая модель враждебной неисправности отдельной ЦВМ, при которой поведение этой ЦВМ может быть произвольным, неодинаковым по отношению к другим взаимодействующим с ней ЦВМ, и даже подобным злонамеренному. Защита от враждебных неисправностей будет гарантировать защиту от неисправностей любой другой известной модели.

ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ФГУП «ОКБ «ФАКЕЛ» ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*М. В. Коркунов, Е. В. Космодемьянский, А. И. Корякин,
К. Н. Козубский, О. Г. Рожков,
ФГУП «Опытное конструкторское бюро «Факел»,
г. Калининград*

Одной из тенденций развития российской космической отрасли является развитие отечественной группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с целью доведения ее до уровня ведущих стран в этой области и снятия зависимости от зарубежных данных ДЗЗ, что предопределяет необходимость разработки высокоэффективных и надежных двигательных установок. Сегодня электроракетные двигательные установки на базе СПД-50, разработанного ОКБ «Факел» еще в 1970-е годы и квалифицированного под требования российского заказчика, успешно применяются в составе 7 космических аппаратов ДЗЗ.

Для удовлетворения современных требований, выдвигаемых к КА ДЗЗ, в ОКБ ведутся работы по модернизации уже существующих двигателей и созданию новых, направленные на обеспечение повышенных тяговых, удельных и ресурсных характеристик, внедрение в конструкцию результатов новых разработок, конструкционных материалов и комплектующих. Также постоянно ведутся работы по усовершенствованию применяемых технологий и внедрению новых с целью снижения затрат на производство изделий и трудоемкость, сокраще-

ния цикла изготовления деталей, сборочных единиц и двигательных установок в целом при обеспечении более высокой надежности и качества продукции и обеспечения полной технологической независимости производства (в том числе импортозамещение). В 2018 г. начаты исследования возможности создания СПД сверх малой мощности для космических аппаратов нано-класса типа Cubesat и экспериментальной установки для их отработки в условиях космического пространства.

Также стоит отметить, что успешное использование космической информации зависит не только от источников ее получения, но и от создания и развития наземной инфраструктуры для получения, обработки, хранения и использования космической информации и информационной продукции созданной на ее основе. В целях развития Единой территориально распределённой информационной системы дистанционного зондирования земли из космоса (ЕТРИС ДЗЗ) Решением Федерального космического агентства № МХ-327-р в сентябре 2015 г. принято решение о формировании на базе наземного комплекса приема, обработки и распространения НКПОР-Р/З, размещенного на территории ФГУП «ОКБ «Факел», Западного регионального центра приема, обработки и распространения космической информации дистанционного зондирования Земли Роскосмоса (ЗРЦ ДЗЗ). На сегодняшний день функционирование ЗРЦ ДЗЗ осуществляются в рамках договоров с АО «Российские космические системы» и включает в себя:

- выполнение мероприятий по поддержанию эксплуатационных характеристик на заданном уровне, техническое обслуживание средств ЕТРИС ДЗЗ, размещенных на объектах Западного регионального центра ДЗЗ;
- участие в эксплуатации КА «Метеор-М» № 2 в части использования приемного комплекса КПИ-9;
- прием, регистрацию, анализ качества приема информации с КА «Канопус-В» № 1, КА «Ресурс-П» № 1 и КА «Ресурс-П» № 2, передачу информации в НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы»;
- прием, регистрацию, анализ качества приема информации с КА «Канопус-В-ИК» и ее передачу в НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы».

В докладе рассмотрены современные и перспективные СПД разработки ОКБ «Факел» для КА ДЗЗ в разрезе интегральных и удельных характеристик, показаны их отличительные особенности и преимущества перед известными аналогами. А также представлены перспективы развития ЗРЦ ДЗЗ.

**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ В
КОМПЛЕКСЕ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ «МУТАЦИЯ»
ПРИ ЭКСПОНИРОВАНИИ БИООБРАЗЦОВ
В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ**

*Р. С. Салихов, В. К. Ильин, Н. Д. Захарова, В. И. Исаев,
А. Н. Лазарев, Н. А. Мурза, М. М. Соловьев,
АО «НИИЭМ», г. Истра*

В настоящее время ведутся обширные исследования в области космической биотехнологии. В частности проводятся эксперименты по изучению индуцированных физических мутаций микроорганизмов.

Наиболее эффективными по степени воздействия на микроорганизмы среди индуцированных физических мутагенов являются микрогравитация, радиация, температура, давление, магнитное излучение и т. д., как при отдельном, так и особенно совокупном воздействии указанных факторов на испытываемые микроорганизмы.

В связи с этим на основании Федеральной космической программы России в АО «НИИЭМ» совместно с ПАО «РКК «Энергия» и ГНЦ РФ ИМБП РАН разрабатывается комплекс научной аппаратуры «Мутация» (далее – КНА «Мутация»).

КНА «Мутация» позволит проводить биотехнологические эксперименты по исследованию уровня мутационного процесса, эффективности передачи генетического материала среди штаммов различных видов и изменения регуляции антибиотикообразования под воздействием условий космического полета у штаммов микроорганизмов внутри гермоотсека и в открытом космосе на внешней поверхности многоцелевого лабораторного модуля (МЛМ) РС МКС.

КНА «Мутация» создается с учетом специфических требований, которым должен удовлетворять комплекс при доставке, работе на борту МЛМ РС МКС и возврате на Землю.

КНА «Мутация» состоит из блоков БУР (блок управления и регулирования), БКК (блок коммутации кассет), контейнера «Мутация-ОК» 1 с тремя кассетами ОК (А-ОК, Б-ОК, В-ОК), контейнера «Мутация-ОК» 2 с тремя кассетами ОК (Г-ОК, Д-ОК, Е-ОК) и контейнера «Мутация-ГО» с пятью кассетами ГО (А-ГО, Б-ГО, В-ГО, Г-ГО, Д-ГО). Контейнеры

предназначены для доставки кассет на борт МЛМ РС МКС, хранения кассет на борту и доставки их обратно на Землю после эксперимента. До отправки кассет на борт МЛМ РС МКС в них устанавливаются пробирки с биообразцами.

В докладе представлена структурная схема размещения КНА «Мутация» при летной эксплуатации на борту МЛМ РС МКС, а также фотографии составных частей КНА «Мутация». Блок БУР и кассеты ГО размещаются в гермоотсеке МЛМ РС МКС, блок БКК, снаряженный кассетами ОК, на адаптере полезной нагрузки выставляется в открытый космос для экспонирования биообразцов. С целью уменьшения влияния ионизирующих излучений космического пространства на аппаратуру КНА «Мутация» вся ее программно-логическая часть, содержащая полупроводниковые элементы, сосредоточена в блоке БУР в гермоотсеке МЛМ РС МКС.

Важной задачей являются обеспечение и контроль температурных и радиационных режимов в кассетах.

Для выявления влияния радиационного излучения на биообразцы в крышке каждой кассеты установлены экраны с различной степенью защиты от радиации. Для определения поглощенной дозы радиационного излучения и спектра линейной передачи энергии, характеризующей вид частиц, вносящих вклад в дозу, в кассетах установлены регистраторы радиации, представляющие собой термолюминесцентные детекторы и твердотельные трековые детекторы.

В кассетах ОК для поддержания и контроля заданного температурного режима установлены тонкопленочные нагреватели и датчики температуры.

Подача электропитания в кассеты, управление нагревателями, контроль температуры в кассетах и регистрация на карту памяти времени экспонирования кассет осуществляется блоком БУР посредством программного обеспечения. В докладе представлена методика поддержания заданного температурного режима, приведены результаты электротепловых расчетов и дается общее представление о принципе работы и особенностях эксплуатации КНА «Мутация».

В настоящее время успешно проведены приемосдаточные испытания КНА «Мутация» с применением разработанного комплекта испытательной аппаратуры КИА, ведется подготовка к предварительным испытаниям.

СПОСОБ КОРРЕКТИРОВКИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ БОРТОВОЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ АППАРАТУРОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А. Ю. Сенин,

*Научно-исследовательский испытательный центр
ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт»
Министерства обороны Российской Федерации, г. Курск*

При осуществлении съемки местности в районах возникновения кризисной ситуации с применением космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) требуется актуальная информация об этом районе местности в условиях быстроменяющейся ситуационной обстановки. Вместе с тем, планирование целевого применения КА ДЗЗ осуществляется с учетом исходных данных, актуальных на период планирования для конкретного района кризисной ситуации, а также с учетом прогноза возможных изменений в ситуационной обстановке, который может не соответствовать реальным условиям на момент съемки данного района.

Тогда, возникает необходимость постоянно адаптировать планы опорных включения бортовой специальной аппаратуры (БСА) КА к происходящим изменениям в ситуационной обстановке, а также корректировать рабочие программы управления БСА КА (РП).

В мировой практике существует два основных способа модификации программ: модификация исполняемого программного кода во время его исполнения и модификация исходного кода программы до его исполнения.

Недостатком первого способа является то, что при модификации исполняющего программного кода, в случае сбоя исполняющей программы произойдет ее перезапуск, тогда КА продолжит выполнять основную РП и не сможет выполнить задачу по предназначению в районе кризисной ситуации.

Недостатком второго способа является то, что при модификации исходного кода программы, в случае программной ошибки или сбоя при перезапуске программы, КА не сможет выполнить ни одной задачи по предназначению до ближайшей закладки очередной РП на борт КА.

В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность загрузки скорректированной РП в отдельную область данных бортового запо-

минающего устройства КА с возможностью вызова исполняющего кода скорректированной РП из основной РП в отдельном потоке. Такой подход позволит КА выполнить задачу по предназначению в районе кризисной ситуации даже в случае сбоя выполнения какой-либо из РП.

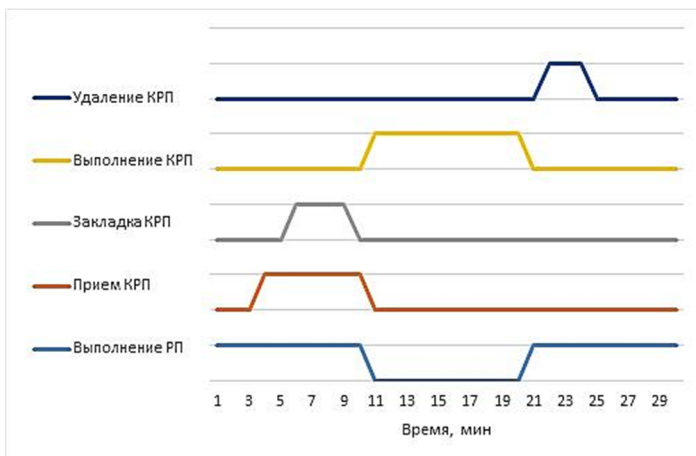


Диаграмма выполнения рабочих программ

Для достижения данной цели предлагается способ корректировки РП с применением мобильных наземных комплексов, находящихся вблизи или непосредственно в районе кризисной ситуации. Для общего понимания введем понятие корректирующей рабочей программы управления БСА КА.

Корректирующая рабочая программа (КРП) – совокупность команд управления БСА КА, разработанная на определенный промежуток времени с целью изменения режимов работы БСА КА, не изменяя исходный или исполняемый код основной РП, записанной в памяти БСА.

Пример выполнения КРП представлен на рисунке.

Способ корректировки РП управления БСА КА включает следующие основные этапы:

- расчет баллистической траектории полета КА по данным телеметрии;
- выбор районов наблюдения в соответствии с установленными ограничениями по углу отклонения и углу возвышения КА;
- решение оптимизационной задачи текущего планирования на период нахождения КА в районе кризисной ситуации;

- расчет угла и времени возврата КА после проведения съемки района наблюдения с учетом необходимого времени на успокоение КА;
- формирование КРП в мобильном пункте управления, а также определение параметров приема данных ДЗЗ для пункта приема информации;
- корректировка планов опорных включений и КРП в соответствии с происходящими изменениями в ситуационной обстановке;
- закладка КРП на борт КА, запуск ее в отдельном исполняющем потоке.

Таким образом, предложенный способ корректировки РП управления БСА КА позволит адаптировать РП и планы опорных включений БСА КА к происходящим изменениям в ситуационной обстановке, и как следствие, позволит обеспечить потребителей ДЗЗ более актуальной и достоверной информацией о районе возникновения кризисной ситуации.

Однако, для применения предложенного способа корректировки РП необходимо разработать программное обеспечение для реализации процесса текущего планирования на базе мобильного пункта управления, а также предусмотреть при разработке программного обеспечения бортовых систем КА возможность приема КРП и загрузки ее в отдельное запоминающее устройство БСА КА с последующим запуском КРП в отдельном исполняющем потоке.

СРЕДСТВА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОТЛАДКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

*Д. Е. Королев,
ЗАО «МНИТИ», г. Москва*

Рассмотрены высокоскоростной отладочный интерфейс Ethernet Debug Communications Link его особенности и преимущества при использовании для отладки программного обеспечения обработки изображений и данных в бортовой аппаратуре. Приведена информация о программных средствах автоматизации отображения и профилирования программного обеспечения без использования средств операционных систем.

Отладка и оптимизация специального программного обеспечения (СПО) встроенного оборудования является важнейшей частью разработки бортовых систем дистанционного зондирования Земли (ДДЗ).

Как правило, отработка СПО производится методом удаленной отладки с подключением к выполняющейся на другом устройстве программе. Часто это единственный способ исправления ошибок, которые возникают только на конкретном аппаратном обеспечении.

Для удаленной отладки необходимо наличие связи по интерфейсу информационного обмена между бортовой аппаратурой и средствами разработки (компьютером разработчика). Сегодня, наиболее популярными отладочными средствами связи являются интерфейсы на базе последовательного порта (*RS-232*, *UART* и т. д.) и *JTAG*. Для тех же целей разработан отладочный интерфейс *Ethernet Debug Communications Link (EDCL)* [1].

Сегодня аппаратная поддержка *EDCL* включается, в том числе, в отечественные микропроцессоры ЗАО НТЦ «Модуль». *EDCL* функционирует на базе *Ethernet* канала 10/100 Мб/с и обладает определенными отличиями и преимуществами. Основными отличиями *EDCL* являются существенно большая скорость обмена данными с отлаживаемой аппаратурой и возможность использования стандартных аппаратных средств (сетевой карты) при отладке, без использования специальных адаптеров. Эти отличия дают следующие преимущества по сравнению с другими отладочными интерфейсами:

- быстрая загрузка исполняемого кода программы;
- загрузка больших объемов тестовых данных (изображений, данных датчиков ДЗЗ) в память встроенного оборудования в реальном масштабе работы;
- возможность выгрузки результатов работы СПО большого объема для отображения средствами разработки (изображений и т. д.) в реальном масштабе работы;
- позволяет подключаться к отлаживаемой аппаратуре без существенных ограничений по дальности расположения от средств разработки (до 100 метров) без необходимости использования дополнительного оборудования;
- возможность использования существующей сетевой инфраструктуры.

Микропроцессоры ЗАО НТЦ «Модуль» широко применяются в бортовой аппаратуре для обработки больших объемов информации (изображений, данных полученных при ДЗЗ и т. д.). На сегодняшний день интерфейс *EDCL* поддерживается следующими микросхемами: K1879XB1Я, K1888BC018, 1888TX018, 1879BM8Я и др.

Для отладки и оптимизации СПО необходимы данные о работе отдельных частей программы (обычно подпрограмм) такие как времена выполнения, количество их вызовов и т. д. Такие данные получают при профилировании СПО. Средства профилирования можно использовать в большинстве операционных систем (ОС). Но бортовая аппаратура зачастую строится без использования ОС. С другой стороны, объем и сложность программного кода СПО достаточно высоки что делает ручное профилирование слишком трудоемкой задачей.

Для решения задачи автоматизации профилирования СПО в составе программной библиотеки *Hardware Abstraction Level (HAL)* разработанной ЗАО НТЦ «Модуль» присутствуют специализированные программные средства. Автоматизация профилирования СПО обеспечивает:

- автоматизированное составление списка подпрограмм присутствующих в СПО;
- возможность редактирования списка подпрограмм профилирование которых будет производиться;
- автоматическое формирование отчета о работе СПО с указанием общего и среднего времени выполнения подпрограмм, их адресов в памяти и количества вызовов.

Отладочный интерфейс *EDCL*, автоматизация процесса профилирования и программный модуль обработки изображений *VShell* предоставляемые разработчикам существенно ускоряют и облегчают процесс создания СПО, что в результате позволяет повысить качество бортовой аппаратуры в целом.

О ПЕРСПЕКТИВАХ СОЗДАНИЯ В АО «НИИФИ» ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО АНАЛОГА ТРЕХОСЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ТИПА «SUPER STAR»

*Р. Ш. Мусаев, А. А. Папко, В. Е. Пауткин,
АО «НИИФИ», г. Пенза,*

Начало разработок высокочувствительных акселерометров уравнивающего преобразования АЛО 034 (аналог GG 326, Honeywell) в АО «НИИФИ» и «Super Cactus» в ONERA относится к концу 70-х годов прошлого столетия. Многие проблемы разработки акселерометра АЛО 034 с разрешающей способностью до $10^{-6}g$ решались с использованием результатов создания акселерометра «Super Cactus», опублико-

ванных в СССР в начале 1980-х годов. В связи с низкой технологичностью изготовления кварцевого подвеса АЛЮ 034 методами стекольного производства и перспективностью развития кварцевой маятниковой акселерометрии разработки АЛЮ 034 были прекращены.

В настоящее время в АО «НИИФИ» производятся маятниковые акселерометры навигационного класса АЛЕ 057, характеристики которого аналогичны акселерометру QA3000 фирмы Honeywell с разрешающей способностью не хуже $10^{-6}g$. Наряду с этим на предприятии накоплен определенный опыт использования методов электростатического уравнивания сил, позволяющий отказаться от традиционных упругих подвесов и достигать высокой разрешающей способности за счет радикального уменьшения собственной частоты чувствительного элемента с одновременным увеличением массы инерционного элемента (пробной массы) более чем на два порядка.

В докладе представлены результаты оценки исследований по созданию высокочувствительного аналога трехосевого акселерометра типа «Super Star». При анализе энергетических возможностей электростатических преобразователей силы показано, что управляющие напряжения акселерометра в условиях эксплуатации не превышают 1 В. В наземных условиях для «вывешивания» пробной массы с целью калибровки произведение управляющего и опорного напряжения достигает $16 \cdot 10^4 B^2$. Аналогичные характеристики электростатического управления имеют волновые твердотельные гироскопы, разрабатываемые в настоящее время в АО «НИИФИ».

При создании реальных аналогов «Super Star» необходима реализация принципиально новых подходов к решению схемно-конструктивных, технологических, метрологических проблем и специальной подготовки производства, включающих:

- отработку новых методов и структур построения, в том числе атомную интерферометрию, обеспечивающих установленные характеристики акселерометров и сохранение работоспособности в наземных условиях и в процессе запуска космических аппаратов;
- отработку технологий изготовления инерционных элементов из сверхтяжелых сплавов типа «платина-родий», обеспечивающих повышение чувствительности до установленного уровня за счет увеличения массы инерционного элемента более чем на два порядка по отношению к акселерометрам АЛЕ и QA;

– разработку и внедрение уникальных технологических процессов, специальной подготовки и оснащения производства отсутствующими в АО «НИИФИ» прецизионными обрабатывающими центрами типа Ultrasonic 30 или Kern Micro или их более современными аналогами.

Для решения метрологических проблем необходимы:

– отработка методов взвешивания инерционного элемента в наземных условиях воспроизведением электростатических сил вдоль измерительной оси с использованием высоковольтных источников напряжения и исключением электрического пробоя;

– исследования и разработки достоверных методик «заглубления» диапазона измерений до уровня, обеспечивающего возможность подтверждения метрологических характеристик расчетно-экспериментальными методами;

– разработка и изготовление устройств для запуска капсулы с акселерометрами в башне для реализации тестов нормального режима падения или режима катапульты;

– строительство башни высотой до 120 м для реализации методов оценки метрологических характеристик в режиме свободного падения.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕБАНИЙ УПРУГИХ КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*М. С. Карев, А. В. Шаговиков, К. В. Логинов,
Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург*

В настоящее время одной из важнейших задач является оперативное получение достоверной и качественной информации о наземных объектах с помощью космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ). Однако воздействия различного рода возмущений, изменяемость характеристик бортовых систем и элементов конструкции приводит к снижению качества получаемой КА ДЗЗ информации. Одной из основных причин является изменение параметров колебаний упругих композитных элементов конструкции (УКЭК) КА, что приводит к снижению точности ориентации и стабилизации КА ДЗЗ, смазу изображения, увеличению времени переходных процессов системы. Кроме того, если ранее для КА ДЗЗ достаточным требованием по угловой скорости являлась величина до 0,001 град/с, то в настоящее время требования к точности стабилизации лежат в пределах 0,001 град./с – 0,0001 град./с.

Для уменьшения негативного воздействия колебаний УКЭК применяются как конструкционные, так и алгоритмические способы. Однако недостатком конструкционных способов является увеличение массы КА и стоимости производства как всего КА, так и отдельных его элементов. Поэтому наиболее перспективными являются алгоритмические способы, одним из которых является использование обучаемой нейросети, которая позволяет снизить шумовой сигнал на выходе с чувствительных элементов системы. К чувствительным элементам можно отнести оптические и инерционные датчики системы.

КА ДЗЗ с УКЭК представляет механическую систему, состоящую из несущего абсолютно твердого тела и N присоединенных УКЭК. Конечномерная модель поступательного, вращательного и относительно-го движения элементов конструкции КА ДЗЗ может быть представлена в следующем наиболее общем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} J \dot{\bar{\omega}} + \bar{\omega} \cdot J \bar{\omega} + \sum_{s=1}^N A_s \ddot{\bar{q}}_s = \bar{M} \\ m \dot{\bar{V}} + \bar{\omega} \cdot m \bar{V} + \sum_{s=1}^N B_s \ddot{\bar{q}}_s = \bar{P} \\ L_s \left[\ddot{\bar{q}}_s + D_s \dot{\bar{q}}_s + \Omega_s \bar{q}_s \right] + A_s^T \bar{\omega} + B_s^T = \bar{Q}_s, s=1, \bar{N}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где, $\bar{V}_{(3)}, \bar{\omega}_{(3)}, \bar{q}_{(3)}$ – векторы линейной скорости центра масс КА ДЗЗ, угловой скорости вращения КА ДЗЗ вокруг центра масс и перемещений s -го УКЭК с числом учитываемых форм конечномерной модели – n_s ; $J_{[3, 3]}$ – тензор инерции недеформированного КА ДЗЗ; m – масса КА ДЗЗ; $L_{s[ns, ns]}$, $D_{s[ns, ns]}$, $\Omega_{s[ns, ns]}$ – диагональные матрицы соответственно приведенных масс, коэффициентов диссипации и квадратов парциальных частот колебаний УКЭК; $A_s(\bar{\varphi}_s)_{[3ns]}$, $B_s(\bar{\varphi}_s)_{[3ns]}$ – матрицы коэффициентов инерционных связей, являющихся, в общем случае, функциями углов ориентации УКЭК относительно корпуса; $\bar{P}_{(3)}$, $\bar{M}_{(3)}$ – главные векторы сил и моментов, действующих на корпус КА ДЗЗ; $\bar{Q}_{s(ns)}$ – вектор обобщенных внешних сил, действующих на s -й УКЭК.

Данная математическая модель достаточно компактна и отражает основные физические процессы динамики углового и относительного движения элементов конструкции КА ДЗЗ.

Рассматривая угловое движение по одному каналу ориентации КА

ДЗЗ с двумя симметричными УКЭК получаем редуцированную модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} J\dot{\omega} + \sum_{s=1}^2 A_s \ddot{\bar{q}}_s = \bar{M} \\ \left[\ddot{\bar{q}}_s + D_s \dot{\bar{q}}_s + \Omega_s \bar{q}_s \right] + A_s^T \dot{\omega} = \bar{Q}_s, s = 1, 2. \end{array} \right. \quad (2)$$

Моделирование контура локальной системы демпфирования колебаний УКЭК с ПИД-законом демпфирования проводилось в пакете Matlab с использованием математической модели канала штатной системы ориентации.

Изменение параметров колебаний УКЭК оказывает существенное влияние на функционирование системы управления движением за счет появления паразитного управляющего сигнала на выходе чувствительных элементов системы. Использование нейронных сетей в системах управления движением позволяет снизить влияние колебаний УКЭК.

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА СБРОСА КИНЕТИЧЕСКОГО МОМЕНТА ТЯЖЕЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

^{1, 2}Д. О. Якимовский, ¹Д. Й. Джукич, ¹А. С. Мещанова,
¹АО «Научно-исследовательский институт командных приборов»,
г. Санкт-Петербург
²ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

В данной работе рассмотрены вопросы создания магнитной системы сброса кинетического момента (МССКМ) для тяжелого космического аппарата (КА).

В АО «НИИ командных приборов» разработана магнитная система, предназначенная для разгрузки инерционных исполнительных органов, обеспечивающих режимы стабилизации и программных поворотов КА.

В состав МССКМ входят:

- шесть СМ – магнитные исполнительные органы, расположенные по два СМ на каждую ось связанной системы координат КА;
- два феррозондовых датчика (ДФ) – первичные датчики геомагнитного поля;
- электронный прибор (ЭП) – устройство управления СМ и ДФ.

Для выполнения задач назначения от системы требуется создание магнитного момента порядка $1000 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Создание МССКМ с большим магнитным моментом вызвало ряд трудностей при обработке изделия, а именно:

- создание силовых магнитов (СМ) с номинальным магнитным моментом $1000 \text{ А} \cdot \text{м}^2$;
- обеспечение требуемого остаточного момента;
- разработка измерителя магнитного поля;
- реализация ЭП на отечественной элементной базе.

Для их устранения были найдены и реализованы конструктивные, схемотехнические и программно-алгоритмические решения.

Все технические решения отрабатывались на стенде, имитирующем расположение СМ и ДФ на КА.

ПРЯМОТОЧНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ: КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ В АТМОСФЕРЕ ИЛИ САМОЛЕТ В КОСМОСЕ

*А. С. Филатьев, А. И. Ерофеев, О. В. Янова, А. А. Голиков,
ФГУП Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора
Н. Е. Жуковского (ФГУП «ЦАГИ»), г. Жуковский*

Снижение высоты орбит перспективных мониторинговых космических аппаратов (КА) позволяет значительно повысить эффективность работы их бортовой регистрирующей аппаратуры. Однако такое снижение с учетом орбитальной скорости аппарата и газов атмосферы создает аэродинамическое сопротивление, приводящее к дальнейшему снижению высоты орбиты КА, существенно ограничивая срок активного существования (САС). Известен опыт длительной работы (более 4 лет) КА *GOCE* Европейского космического агентства на орбитах 250 – 280 км с корректирующей двигательной установкой (ДУ) из электрореактивных двигателей (ЭРД) фирмы QinetiQ. Аппарат прекратил свое существование по завершению выработки запасенных на борту 40 кг ксенона.

Опыт эксплуатации ЭРД свидетельствует о целесообразности их использования для разрабатываемых низкоорбитальных (НО) КА с повышенным САС. Одним из факторов, существенно препятствующих снижению орбиты и повышению САС при использовании ЭРД, является необходимость брать на борт рабочее тело (РТ), расход

массы которого экспоненциально возрастает с уменьшением высоты полета. Преодолеть это ограничение можно за счет забора РТ из окружающей КА атмосферы. Такую возможность предоставляют прямоточные воздушные электрореактивные двигатели (ПВЭРД).

Идея использования заборного атмосферного газа в качестве РТ возникла достаточно давно, и в настоящее время исследования возможности создания ПВЭРД продолжаются как в России, так и за рубежом. Актуальность проводимых исследований основывается на все большем интересе, проявляемом в последние годы к низким орбитам для размещения группировок КА. Об очевидном преимуществе низких орбит говорят следующие факты: с уменьшением высоты h при прочих равных условиях разрешение оптической системы улучшается пропорционально h , мощность аппаратуры спутниковой связи снижается пропорционально h^2 , требуемая масса КА сокращается пропорционально h^3 . Сегодня уже реализуются такие крупные проекты, как OneWeb, StarLink, направленные на создание группировок из тысяч малых КА массой 150 – 450 кг на низких орбитах высотой ~1000 км.

Для практической реализации концепции ПВЭРД необходимо обеспечить:

- накопление достаточной массы газа из разреженной внешней атмосферы;
- достаточную скорость эжектируемой струи и мощность электропитания двигателя;
- оптимальное управление ПВЭРД, источником электропитания (в зависимости от его типа) и ориентацией КА (влияющей на аэродинамическое сопротивление и, при использовании солнечных батарей, на скорость накопления энергии);
- приемлемые для долгого существования КА на сверхнизких орбитах тепловые потоки.

Экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанной физико-математической модели процессов массопереноса на базе концепции диффузного отражения молекул от поверхности для воздухозаборников различной формы. Показана возможность создания плотности РТ в термализаторе ПВЭРД, в сотни раз превышающей плотность атмосферы.

Параметры, характеризующие условия реализуемости КА с ПВЭРД объединены в два обобщенных параметра. Определены области существования КА с ПВЭРД в терминах этих обобщенных

параметров. С использованием комплексной физической модели рассмотрена задача определения оптимальных параметров компоновки КА, которые при заданном полезном объеме КА соответствуют минимальной потребляемой мощности ПВЭРД при движении по заданной круговой орбите высотой h . Получена оценка области эффективного применения ПВЭРД по сравнению с ЭРД в зависимости от срока активного существования, высоты орбиты и параметров двигателей.

Получен синтез оптимального управления вектором тяги ПВЭРД для поддержания КА на заданной орбите и для наискорейшего изменения ее параметров (высоты апогея и наклона) с учетом ограниченных тяги и мощности источника электроэнергии. Аналитические оценки подтверждены численными результатами.

СЕКЦИЯ 3.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

LASER COMMUNICATION ON CUBESATS AND SMALLSATS – CURRENT STATUS

*¹Philipp Biller, ¹Herwig Zech, ¹Matthias Motzigemba,
²Christopher Schmidt, ²Christian Fuchs,
¹Tesat Spacecom, Backnang
²German Aerospace Center (DLR),
Institute of Communications and Navigation, Wessling*

With the increasing need for higher data rates on small LEO spacecraft, highly compact laser communication systems are required to overcome the limitations in the downlink channel. TESAT has a long heritage in optical communication and has expanded its portfolio in cooperation with the German Aerospace Center (DLR) towards small satellite communication solutions. The group of Optical Communication Systems (OCS) at the DLR is developing the OSIRIS (Optical Space Infrared Downlink System) technology for these systems.

CubeSat missions made its way from technology demonstration missions and university projects towards commercial applications as the capabilities of small scale sensors are increasing. Small LEO spacecraft with a

weight of 100 to 500 kg can carry imaging sensors with high resolutions generating large amounts of data in the earth observation. Those mission scenarios demand high data rates in the downlink channel.

CubeL DTE is the smallest commercial optical transmitter especially designed for operation in CubeSat platforms and can provide a data rate of up to 100Mbps. While the high performance TOSIRIS terminal addresses the small satellite platforms and can transmit 10Gbps from LEO orbit to ground. Both system support an optical back channel with up to 1Mbps. Furthermore DLR and TESAT are working on the availability of a sufficient optical ground station infrastructure.

This paper will give an overview over the OSIRIS technology based systems for CubeSats and SmallSats and the status of the first demonstration missions planned for 2019.

С увеличивающейся потребностью в более высоких нормах {разрядах} данных на маленьком космическом корабле ЛЕО, очень компактные лазерные системы связи обязаны преодолевать ограничения в канале передачи информации из космоса. TESAT имеет длинное наследие в оптической связи и расширил его портфель в сотрудничестве с немецким Космическим Центром (ДОЛЛАР) к маленькому спутнику решения связи. Группа Оптических Систем Связи (ОС) в ДОЛЛАРЕ развивает OSIRIS (Оптическая Космическая Инфракрасная Система Передачи информации из космоса) технология для этих систем.

CubeSat миссии пробивался от миссий демонстрации технологии и университетских проектов к коммерческому заявлению {применения} как способности маленьких датчиков масштаба увеличиваются. Маленький космический корабль ЛЕО с весом от 100 до 500 кг могут нести датчики отображения с высокими решениями, производящими большие количества данных в земном наблюдении. Те сценарии миссии требуют высокие нормы {разряды} данных в канале передачи информации из космоса.

CubeL DTE – наименьший коммерческий оптический передатчик, особенно разработанный {предназначенный} для действия в CubeSat платформах и может обеспечить норму {разряд} данных до 100 Mbps. В то время как высокая работа {выполнение} TOSIRIS терминал обращается к маленькому спутнику платформы и могут передать 10Gbps с орбиты ЛЕО, чтобы основать. Обе системы поддерживают оптический обратный канал до 1 Mbps. Кроме того ДОЛЛАР и TESAT воз-

действуют на пригодность {готовность} достаточной оптической станции основания {земли} инфраструктура.

Эта бумага даст краткий обзор по OSIRIS технологии, базировал системы для CubeSats и SmallSats и статуса из первых миссий демонстрации, запланированных на 2019.

К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

*Д. В. Толочков, А. В. Попов,
ЗАО «МНИТИ», г. Москва*

Рассмотрены существующие проблемы в отечественной промышленности, связанные с разработкой оптических систем с малыми массогабаритными характеристиками для применения в малых космических аппаратах дистанционного зондирования поверхности Земли. Предложены возможные пути совершенствования оптических зеркал объективов и методы уменьшения массогабаритных характеристик оптико-электронных систем.

Разработки в области современных оптических систем (ОС) малых космических аппаратов (МКА) для дистанционного зондирования поверхности Земли непрерывно направлены на повышение качества формирования изображения и сокращение массогабаритных параметров ОС. В настоящее время в МКА применяются ОС на основе линзовых, зеркальных и зеркально-линзовых объективов.

Кроме классических рефлекторных и рефракторных вариантов построения объективов, часто отмечается высокая перспективность применения дифракционных оптических элементов. Примером данных элементов являются линзы Френеля. Такие элементы представляют собой плоскую пластину малой толщины, с объёмной мелкомасштабной рельефной микроструктурой. Размеры рельефа микроструктуры соотносятся с размерами длины волны света. Изготовление данных элементов возможно не только из стекла, но и из пластика и полимеров, позволяя получить гибкий мембранный дифракционный элемент.

Применение дифракционных оптических элементов, даст наибольший эффект в борьбе за снижение веса оптической системы. Однако слабой стороной линз Френеля, на данный момент, остается существенное снижение качества изображений вследствие выраженных оптических искажений и аберраций, в частности хроматической аберрации. При этом в направлении совершенствования дифракционных оптических элементов зарубежными странами (особо активно США и Францией) ведутся успешные исследования и разработки. Известно о практическом применении линз данного типа на космических аппаратах и о проекте применения таких линз в космическом телескопе.

Таким образом, в настоящее время более предпочтительными для использования в МКА являются зеркально-линзовые объективы в силу ряда существенных преимуществ, среди которых отсутствие хроматических аберраций, возможность увеличения входной апертуры, сокращение габаритов, упрощение процесса изготовления объектива, уменьшение массы за счет использования облегченных конструкций зеркал.

В зеркально-линзовых объективах значительное влияние на качество формируемого изображения, массогабаритные и прочностные параметры оказывает выбор материала зеркала. В настоящее время основными материалами, применяемыми для изготовления зеркал, являются ситалл, Zerodur, карбид кремния и бериллий. Наилучшим соотношением прочностных свойств и массы обладает бериллий, однако он имеет большой коэффициент температурного расширения и токсичную технологию изготовления. Высокими прочностными свойствами обладает карбид кремния, но его плотность выше, чем у ситалла и Zerodur'a, кроме этого для его обработки требуется дорогостоящий инструмент.

В отечественном производстве зеркал для космических телескопов в основном используется ситалл, а в качестве перспективного материала рассматривается карбид кремния. Однако проведенные расчеты показывают, что широко применяемые в настоящее время материалы для изготовления зеркал, отвечающих необходимым современным потребностям в качестве получаемых изображений, не обеспечивают требуемой легкости и прочности объектива. В связи с этим при разработке ОЭС следует обратить внимание на такие две технологии как композитные материалы (углепластик) и «легкие» зеркала.

Оптический блок (ОБ), в состав которого входит и объектив, вносит максимальный вклад в общую массу ОС. Поэтому использование углепластика при разработке u1086 оптического блока, вероятно, позво-

лит получить требуемую низкую массу и прочность системы. Помимо высоких прочностных свойств и малого веса, углепластик имеет практически нулевой коэффициент линейного расширения, что делает углеродное волокно незаменимым в производстве конструкций для космических систем.

ОБ считается условно «легким», если: $D/t > 10$, где D – диаметр зеркала, t – толщина зеркала. Если: $D/t \leq 10$, зеркало изготовлено по условно традиционной технологии, согласно которой параметры заготовки зеркала позволяют получить заданное качество на основе универсального оборудования и техпроцесса. Чем «легче» зеркало, тем выше трудоемкость, стоимость и технические риски его изготовления.

Таким образом, возможная степень облегчения зеркальных и зеркально-линзовых ОС определяется такими факторами как: масса, входящих в состав ОС зеркальных узлов; масса несущей конструкции; методы обеспечения сборки, юстировки, испытаний и контроля ОС «лёгкого» типа; научно-технический опыт разработчиков условно «легких» систем; готовности производства к технологическому циклу изготовления сложной аппаратуры.

Известны работы иностранных авторов, в которых сообщается о применении углепластика при изготовлении крупногабаритных «лёгких» зеркал. Отечественного практического задела в данном направлении не обнаружено. Однако в стране имеются предприятия, обладающие необходимой технологической базой.

В ходе теоретической и экспериментальной проработки конструкции ОС с учётом приведённых выше данных и заданных высоких требований к качеству получаемых изображений, были выделены 3 основных варианта конструкции.

Вариант 1 оказывается более предпочтительным по разрешающей способности и чувствительности, однако изготовление зеркал с габаритами более 1000 мм даже традиционным способом сопряжено с технологическими трудностями, большими сроками по доводке и юстировке. Практический опыт подобного рода разработок на отечественных предприятиях ограничивается диаметром 1000 мм. Кроме этого очевидно, что без применения углепластика, масса такой системы будет очень высока.

Уменьшение диаметра входного зеркала, рассматриваемое в варианте 2, приводит к ухудшению оптического качества изображения и здесь актуальным становится применение метода микросканирования.

Вариант 3, обладая минимальной массой из всех вариантов конструкций, имеет такую же разрешающую способность, как и системы с вдвое большим фокусом, но с большим размытием изображения из-за дифракционного пятна.

Таким образом, перспективность композитных технологий и «легких» зеркал в разработках ОС для применения в МКА не вызывает сомнений и целесообразным является создание экспериментального образца для продолжения исследований и проверки возможности применения композиционных материалов и изучения качественных свойств полученного изделия.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ РАДИОЛИНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЗАДАЧАХ ПЕРЕДАЧИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ИНФОРМАЦИИ

*А. А. Кащеев,
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – ОКБ «Спектр», г. Рязань*

Постоянный спрос на материалы космической съемки Земной поверхности пользователями всего мира приводит к необходимости передачи с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) на наземные пункты приема информации (НППИ) больших объемов информации ДЗЗ.

Классическим вариантом решения проблемы является увеличение пропускной способности высокоскоростной радиолинии (ВРЛ) и длительности сеансов связи КА ДЗЗ с НППИ за счет передачи информации через космические аппараты-ретрансляторы, что в свою очередь сопряжено со значительными техническими трудностями.

Менее затратным вариантом, предлагаемым в настоящей работе, является увеличение эффективности использования пропускной способности ВРЛ КА ДЗЗ за счет адаптации информационного объема канального кадра к надежности ВРЛ.

Задача решается в предположении, что данные маршрутов съемки, поступающие на вход бортовой аппаратуры ВРЛ в цифровой форме, подвергаются сверточному помехоустойчивому кодированию со скоростью r , мультиплексированию в каналные кадры объемом V_k , записью в бортовое запоминающее устройство, фазовой манипуляции с индексом m и передаче на наземную аппаратуру ВРЛ.

Пропускная способность канала ВРЛ определяет предельные возможности радиолинии, как в частотном, так и в энергетическом отношении, и в соответствии с формулой Шеннона определяется как [1]:

$$C = \Delta f \log_2 \left[1 + \left(\frac{P_{i,j}^{\text{НППИ}}}{P_{i,j}^{\text{ш}}}_{\text{пор}} \right) \right], \quad (1)$$

где Δf – ширина полосы пропускания приемника наземной аппаратуры ВРЛ; $P_{i,j}^{\text{НППИ}}$ – мощность полезного сигнала на входе приемника НА ВРЛ i -го НППИ в j -й момент времени; $P_{i,j}^{\text{ш}}$ – мощность шума на входе оборудования НА ВРЛ i -го НППИ;

$$\left(\frac{P_{i,j}^{\text{НППИ}}}{P_{i,j}^{\text{ш}}}_{\text{пор}} \right) \quad (2)$$

пороговое отношение сигнал/шум, при котором возможна синхронизация между передатчиком и приемником ВРЛ.

Так как информация по радиолинии передается кадрами объемом V_k с вероятностью ошибки передачи p , а также, учитывая статистическую независимость бит кадра, расчет пропускной способности ВРЛ может осуществляться следующим образом [1, 2]:

$$C = \frac{1,2R(1-p)V_k}{r \log_2 m} \log_2 \left[1 + \left(\frac{P_{i,j}^{\text{НППИ}}}{P_{i,j}^{\text{ш}}}_{\text{пор}} \right) \right]. \quad (3)$$

Повышение эффективности использования пропускной способности ВРЛ заключается в адаптации информационного объема канального кадра V_k к надежности ВРЛ посредством решения задачи оптимизации:

$$dR(V_k) = \max_{V_k} dR(V_k) \quad (4)$$

$$\begin{cases} V_{k \min} \leq V_k \leq V_{k \max} \\ m = m_{\text{зад}}; r = r_{\text{зад}} \\ p = p_{\text{зад}}, p_{\text{задmin}} \leq p_{\text{ад}} \leq p_{\text{задmax}} \end{cases},$$

где $dR(V_k)$ – коэффициент использования пропускной способности радиолинии; $m_{\text{зад}}$, $r_{\text{зад}}$, $p_{\text{зад}}$ – значения индекса фазовой манипуляции сигнала, скорости помехоустойчивого кодирования и вероятности битовой ошибки передачи информации соответственно, заданные в техническом задании.

Применение предложенного способа обеспечивает выигрыш в повышении коэффициента использования пропускной способности ВРЛ преимущественно для низконадежных радиолиний до 41% по сравнению с классическим способом передачи информации канальными кадрами с постоянным информационным объемом.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*С. С. Орешечкин,
3-я научная рота Космических войск
Воздушно-космических сил РФ, г. Красногорск*

Дистанционное зондирование представляет собой процесс, посредством которого собирается информация об объекте, территории или явлении без непосредственного контакта с ним. Данные дистанционного зондирования поверхности Земли (ДЗЗ) из космоса находят все более широкое применение в различных отраслях хозяйственной деятельности. С их помощью можно успешно решать задачи оперативного контроля природных ресурсов, исследовать динамику протекания природных процессов и явлений, наблюдать за состоянием растительного покрова, почв и водоемов, выяснять причины чрезвычайных ситуаций, прогнозировать их возможные последствия и выбирать способы предупреждения.

Основное требование, предъявляемое к оптико-электронной аппаратуре (ОЭА) ДЗЗ, – обеспечение высокого качества изображения, которое может быть выполнено только при следующих условиях:

1. Максимальная разрешающая способность по всему полю изображения.
2. Минимальная величина сферической и хроматической аберраций, а также астигматизма.
3. Высокая ортоскопичность оптической системы.
4. Большая светосила оптической системы и правильная передача контраста изображения.
5. Постоянство элементов внутреннего ориентирования: фокусного расстояния камеры и главной точки снимка.

Анализ современной ОЭА ДЗЗ говорит о том, что при разработке данных систем следует обращать особое внимание на уменьшение габаритных и массовых соотношений, получение необходимой точности – высокого качества изображения, на технологичность конструкции, высокую надежность элементов, механизмов и всего прибора в целом, на уменьшение потребляемой энергии, удобство эксплуатации в различных условиях и максимальную степень автоматизации. Особое внимание разработчики уделяют повышению качества изображения.

Можно сделать вывод, что особенностями современных космических телескопов систем ДЗЗ являются значительные размеры, как оптических элементов, так и линейного поля в пространстве изображений, что приводит к высокой чувствительности этих телескопов к воздействию эксплуатационных факторов и обуславливает появление наведенных ими аберраций.

Из наиболее существенных дестабилизирующих факторов можно указать следующие:

- силовые и вибродинамические воздействия на телескоп в процессе вывода его на орбиту, приводящие к изменению микронеровностей в стыках;
- отсутствие силы тяжести на орбите, вызывающее перераспределение напряжений и деформаций конструкции, обусловленных силами тяготения, действовавшими на телескоп во время юстировки;
- ионизирующие излучения естественных радиационных поясов Земли и космических лучей, которые могут воздействовать на материалы оптических деталей, их покрытия и на характеристики фотоэлектронных устройств;

– изменение температуры и температурные перепады на элементах конструкции, вызывающие термодетформации.

В связи с этим, при создании ОЭА ДЗЗ предпринимается целый ряд мер для ограничения вредного влияния дестабилизирующих воздействий на нее. Например, в качестве конструкционных материалов применяются наиболее легкие, жесткие и термостабильные сплавы и композиты.

Однако эти меры не в состоянии полностью предохранить ОЭА от температурных деформаций. Для восстановления характеристик качества оптической системы и поддержания их на требуемом уровне за счет контроля и корректировки взаимного положения оптических элементов в течение всего срока активного существования ОЭА используют системы автоматической юстировки. В основу построения системы юстировки положен принцип, предусматривающий измерение в режиме реального времени, либо перед каждым сеансом съемки, приобретенной в процессе эксплуатации разъюстировки и обеспечение ее ликвидации путем расчета и отработки соответствующих перемещений корректирующего звена оптической системы.

Обычно корректирующим элементом, предназначенным для компенсации разъюстировки объектива и тем самым восстанавливающим характеристики качества изображения, выбирается элемент оптической системы, смещения и развороты которого наиболее вероятны и сильнее всего влияют на волновые аберрации. В зеркальных и зеркально-линзовых схемах космических телескопов таким элементом является вторичное зеркало. Поэтому данное зеркало устанавливаются в узле с пятью приводами, обеспечивающими линейные перемещения зеркала вдоль трех взаимно перпендикулярных осей и его развороты вокруг двух из них.

В основу системы автоматической юстировки можно положить следующие методы: интерферометрический метод контроля волнового фронта от внешнего источника, например звезды; интерферометрический метод контроля положения оптических элементов от внутреннего источника излучения; метод, основанный на определении основных волновых аберраций объектива путем регистрации и обработки нескольких изображений произвольного объекта; автоколлимационный метод измерения смещений и разворотов корректирующего элемента.

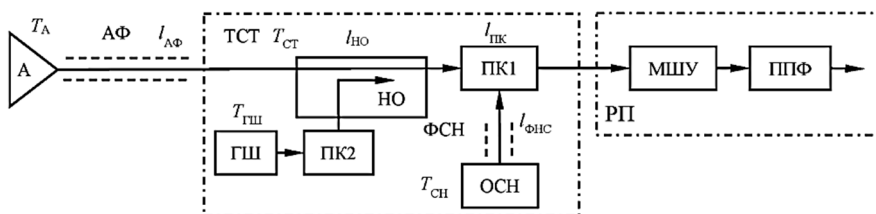
Данные методы контроля положения оптических элементов космического телескопа ДЗЗ позволяют сохранять высокое качество изображения оптико-электронной аппаратуры в процессе ее орбитальной эксплуатации.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ АБСОЛЮТНОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ-ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА БОРТОВОГО БАЗИРОВАНИЯ

А. В. Убайчин,

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Одним из последних трендов развития средств дистанционного зондирования Земли в СВЧ- и КВЧ-диапазонах является использование гиперспектральных методов исследований. Использование гиперспектральных методов позволяет повысить информативность зондирования и решать новые исследовательские задачи. В СВЧ-диапазоне гиперспектральные исследования осуществляются при помощи нескольких СВЧ-радиометров, образующих приемные каналы гиперспектрометра, рабочие частоты которых разнесены по интересующим участкам спектра. Использование нулевых СВЧ-радиометров в СВЧ-гиперспектрометрах позволяет повысить устойчивость результатов измерений к изменяющимся факторам внешней среды. На рисунке представлена структурная схема входной СВЧ-части приемного канала СВЧ-гиперспектрометра, выполненного на основе нулевого СВЧ-радиометра.



**Структурная схема входной СВЧ-части приемного канала
СВЧ-гиперспектрометра с учетом потерь**

Структурная схема входной СВЧ-части состоит из антенны А, с шумовой температурой T_A , антенного фидера АФ с потерями $I_{AФ}$, направленного ответвителя НО с потерями $I_{НО}$, первого высокочастотного переключателя ПК1 с потерями $I_{ПК}$, опорной согласованной нагрузки ОСН с шумовой температурой $T_{СН}$, фидера согласованной нагрузки ФСН с потерями $I_{ФНС}$, второго высокочастотного переключателя ПК2, генератора шума ГШ с шумовой температурой $T_{ГШ}$ и блока радиоприема РП, состоящего из микшера МШУ и полосового фильтра ППФ.

теля ПК2, активного генератора шума ГШ с шумовой температурой $T_{ГШ}$, термостата ТСТ с температурой $T_{СТ}$, фрагмента радиометрического приемника РП, состоящего из малошумящего усилителя МШУ и полосового фильтра ППФ.

На практике, изменения внешних условий эксплуатации, в первую очередь температуры, приводит к появлению погрешности измерений, обусловленной не идеальностью узлов входных высокочастотных элементов. Для оценки абсолютной точности приемного канала СВЧ-гиперспектрометра, выполненного на основе нулевого СВЧ-радиометра, разработана математическая модель оценки влияния изменяющейся температуры окружающей среды на результаты измерений шумовой температуры антенны. Математическая модель абсолютной точности СВЧ-гиперспектрометра, выполненного на основе нулевого СВЧ-радиометра описывается выражением:

$$dT_A = \langle (dT_{CH} - dT_{СТ} l_{НО}) / (1 - l_{НО}) \rangle - \langle [(dT_{ГШ} C) t_{ШИМ}] / [t_{АИМ} (1 - l_{НО})] \rangle, \quad (1)$$

где dT_{CH} – погрешность поддержания температуры пассивного опорного генератора шума (согласованной нагрузки); $t_{ШИМ}/t_{АИМ}$ – отношение управляющих сигналов широтной и амплитудных модуляций; $l_{НО}$ – величина потерь в фидере активного генератора шума; $dT_{ГШ}$ – погрешность поддержания шумовой температуры активного генератора шума.

Величина dT_A в (1) является функцией, в том числе, измеряемой шумовой температуры антенны, которая задает отношение $t_{ШИМ}/t_{АИМ}$:

$$t_{ШИМ} = t_{АИМ} (T_{CH} - T_A) / T_{ГШ}, \quad (2)$$

где T_A – шумовая температура антенны; T_{CH} – шумовая температура согласованной нагрузки; $T_{ГШ}$ – шумовая температура генератора шума. Выражение (2) позволяет рассчитать значение отношения $t_{ШИМ}/t_{АИМ}$ при заданной шумовой температуре антенны. В выражение (1) не входят шумы, обусловленные вносимым ослаблением в фидере опорной согласованной нагрузки в виду их термодинамического равновесия с согласованной нагрузкой. Для упрощения расчетов и учитывая отсутствие возможности контроля в выражение (1) не входят шумы, обусловленные потерями в антенном фидере. Физическая температура антенного фидера в процессе эксплуатации летательного аппарата может изменяться на десятки и сотни градусов. При таких изменениях температуры минимальные потери в антенном фидере приводят к зна-

чимым (относительно погрешности измерений) изменениям измеряемой шумовой температуры антенны. Нестабильность измерений, обусловленная потерями в антенном фидере, в разы превышает величину погрешности, обусловленной нестабильностью сигнала генератора шума и погрешности поддержания температуры термостата. Очевидным решением этой проблемы является учет в измерениях температуры фидера при известной величине ослабления. Этот подход усложняет гиперспектральную систему и не учитывает изменение величины потерь в фидере с течением времени. В связи с этим актуальным для последующих исследований является вопрос дополнения разработанной математической модели возможностью реализации учета влияния потерь в антенном фидере на результаты измерений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00045).

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДЗЗ

¹А. М. Савицкий, ²А. И. Бакланов, ¹Г. С. Полищук, ¹М. Н. Сокольский,
²М. В. Ключников, ¹Ю. Н. Петров, ¹В. А. Данилов, ¹Н. А. Истомина
¹АО «ЛОМО», г. Санкт-Петербург,
²Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС»,
г. Москва, г. Зеленоград

Современные оптико-электронные комплексы (ОЭК) наблюдения представляют собой информационно-измерительные системы, обеспечивающие формирование и обработку видовой информации в глобальном масштабе с высокой оперативностью. Детальность выходной информации определяется линейным разрешением на местности (ЛРМ) создаваемых ОЭК. В настоящее время ОЭК высокого разрешения обладают возможностью определения координат объектов и их высот с высокой точностью и способны работать в условиях освещенности при низком положении Солнца над горизонтом (порядка 5°). Увеличивается их срок активного существования на орбите.

Стремление к расширению возможностей космических средств наблюдения и к повышению уровня качественных характеристик видеоинформации приводит к ужесточению требований к характеристикам ОЭК, характеристикам КА, его системы управления движением (СУД), системы энергоснабжения.

Повышение оперативности сбора информации при одновременном повышении детальности требует увеличения высоты орбиты КА и увеличения диаметра входного зрачка оптической системы, а также ужесточения требований к СУД КА в части точности стабилизации и ориентации КА при съемках.

Основные тенденции в развитии космической оптико-электронной аппаратуры заключаются в том, что бортовая аппаратура ОЭК усложняется в плане увеличения числа рабочих спектральных диапазонов – к панхроматическому каналу добавляется до восьми спектральных диапазонов в мультиспектральном канале.

Технические характеристики ОЭК

Параметр	Значение
Количество и границы (по уровню 0,5) спектральных диапазонов наблюдения, мкм	1 ПХ канал (0,5 ... 0,8) 8 МС каналов: 0,40 – 0,45 0,45 – 0,51 0,51 – 0,58 0,58 – 0,62 0,63 – 0,69 0,70 – 0,74 0,77 – 0,89 0,86 – 1,05
Линейное разрешение на местности в зачетных условиях съемки: – в панхроматическом диапазоне, м – в мультиспектральных диапазонах, м	Не более 0,5 Не более 2,0
Ширина полосы захвата при наблюдении в надир с зачетной высоты ($H = 700$ км), км	Не менее 19
Значение суммарной функции передачи модуляции на частоте Найквиста в панхроматическом диапазоне	Не менее 0,12
Разрядность линейного аналого-цифрового преобразования видеоинформации	Не менее 12 бит на пиксель
Динамический диапазон сигнала изображения	Не менее 3500
Фокусное расстояние объектива, м	15,8
Световой диаметр главного зеркала, м	1,5
Интегральный коэффициент пропускания оптической системы в диапазоне от 0,5 до 0,8 мкм	Не менее 0,65
Длина фоточувствительной зоны ОЭП, мм	432

Совершенствуются ОЭЖ в плане расширения полосы захвата и уменьшения величины ЛРМ. Поэтому увеличивается диаметр входного зрачка телескопа, уменьшаются размеры пикселей в ОЭПах, увеличивается пропускная способность радиолиний. Существенное значение с каждым годом приобретает метрологическое обеспечение аппаратуры ДЗЗ, сопровождение снимков формулярными данными для дальнейшей обработки.

В докладе представлен проектный облик ОЭЖ ВР «Элегия», предназначенного для решения задач ДЗЗ в составе космической системы, таких как: создание и обновление топографических карт и планов городов, контроль загрязнения и деградации природной среды, мониторинг чрезвычайных ситуаций, инвентаризация природных ресурсов (сельскохозяйственные и лесные угодья, пастбища, районы промысла морепродуктов и др.), поиск нефти, газа, рудных и других месторождений полезных ископаемых, контроль застройки территорий, контроль водоохранных и заповедных районов, прокладка магистралей и других крупных сооружений.

В докладе представлены основные ТТХ, оптическая система, конструктивная реализация, рассмотрены вопросы экспериментальной наземной отработки и описаны возможные способы радиометрической и геометрической калибровки аппаратуры.

В таблице представлены характеристики ОЭЖ ВР «Элегия».

ОБЛИК ПЕРСПЕКТИВНОГО МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ

*А. А. Каменев, М. М. Полуян,
Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург*

В настоящее время является актуальной задача получения многоспектральных отражательно-излучательных характеристик объектов и фонов Земли и космоса:

– с непрерывным одновременным наблюдением в УФ, видимом и ИК диапазонах на дальностях более 1000 км с использованием широкоформатных матричных фотоприёмных устройств (ФПУ), работающих в «смотрящем» режиме;

- с высоким мгновенным угловым разрешением оптико-электронных систем (1 – 2 угл. сек. в УФ, видимом диапазонах и 5 – 10 угл. сек. в ИК диапазоне) во всём угле поля зрения объектива 2,5 – 3 град;

- с высокой стойкостью информационного тракта ОЭС к воздействию внешних источников излучения за счёт оптимизации конструкций объектива, бленд для вне полевого ослабления и оптических фильтров матричных ФПУ для вне полосового ослабления (при наблюдении объектов на фоне дневной Земли в дальнем УФ-диапазоне 0,2 – 0,3 мкм оно должно составлять 10 – 8);

- с оперативной обработкой полученных видеоданных в бортовом цифровом процессоре, их сжатием, помехоустойчивым кодированием и передачей по широкополосным каналам связи.

Располагаемый технологический уровень позволяет решать указанную задачу с использованием низкоорбитальных малых космических аппаратов (КА) массой не более 500 кг, оснащенных многоспектральными ОЭС. Однако с связи с жёсткими ограничениям на массу, габариты и энергопотребление целевой аппаратуры необходимо использование ряда принципиально новых конструктивно-технологических решений.

При выбранных значениях характеристик высокоразрешающего зеркального объектива (диаметр входного зрачка 0,35 м, фокусное расстояние 1,225 м) на основе модифицированной оптической схемы Корша с использованием трёх зеркал облегчённой конструкции из карбида кремния его масса совместно с несущими элементами конструкции телескопа из углеалюминия не превысит 70 кг. При этом габаритные размеры составят около $400 \times 700 \times 500$ мм.

При использовании криосистемы для охлаждения в сеансе наблюдения матричных фотоприёмных модулей ИК-диапазона и объектива общая масса многоспектральной ОЭС (включая систему приёма и преобразования информации с матричными ФПУ) не превысит 150 кг.

Рассматриваемый перспективный малый КА должен базироваться на унифицированной космической платформе с высоким уровнем технологической готовности (не ниже 8) и удовлетворять основным требованиям, представленным в таблице.

Указанным требованиям соответствует служебная космическая платформа КА «Канопус-В». При этом использование солнечно-синхронной орбиты с временем прохождения нисходящего узла около 6 или 18 часов, позволяет:

– реализовать полное затенение криорadiatorа от внешних тепловых потоков посредством корпуса КА и плоского экрана, что позволяет обеспечивать температуру объектов терморегулирования ниже 160°K отказавшись от использования криомашин в интересах снижения общей массы КА и увеличения срока эксплуатации ИК канала ОЭС;

– длительно наблюдать низкоорбитальные объекты на теневых и около-теневых участках в ИК-диапазоне, а также в УФ и видимом диапазонах – преимущественно с малыми фазовыми углами освещённости Солнцем;

– обеспечить непрерывную освещённость солнечных батарей (СБ), максимально увеличив продолжительность применения ОЭС на витке и уменьшив общую массу элементов системы электроснабжения КА.

Масса полезной нагрузки, кг	Точность трехосной ориентации КА		Потребляемая ОЭС (в сеансе) мощность, Вт	Тип орбиты, км	Гарантийный срок актив. существования, лет
	по углу, угл. мин	По угл. скорости, град./сек			
<200	<5	<0,001	600 (для 4-х каналов ОЭС)	низкая околокруговая (500 – 800)	≥5

Оценочные расчёты показывают, что для непрерывной работы многоспектральной ОЭС малого КА на рассматриваемой орбите достаточно иметь площадь солнечных батарей менее 1,8 м², то есть можно отказаться от выносных панелей, используя корпусные СБ на одной грани малого КА, обращённой к Солнцу.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗОВОГО ПЕЛЕНГАТОРА, РЕАЛИЗОВАННОГО НА SDR-ПРИЕМНИКЕ

*М. И. Войтович, С. В. Харалгин,
АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт
им. академика А. И. Берга», г. Москва*

Современная техника на данном этапе имеет тенденцию перехода от аналоговых решений в цифровой вид. Одним из таких решений в данный момент являются высокоскоростные АЦП с возможностями предварительной обработки на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Выпускаемые на данный момент АЦП

имеют высокие скорости оцифровки (до нескольких Гвыб/с), возможности цифрового переноса частоты, квадратурную обработку и цифровую фильтрацию. Важной сферой применения высокоскоростных АЦП с широким динамическим диапазоном являются телекоммуникационные и радиотехнические системы, где используется прямое преобразование сигналов в тракте высокой частоты.

С целью оценки возможностей цифровой обработки на основе современной электронной компонентной базы, применительно к задачам фазовой пеленгации, был создан макет на основе многофункционального двухканального АЦП с возможностью регулировки частоты оцифровки от 76 МГц до 3 ГГц и высокоскоростной платы сбора данных, вычислительным ядром которой является ПЛИС.

На этапе экспериментальных исследований были измерены такие характеристики как: тангенциальная чувствительность, СКО фазы отдельного канала в зависимости от соотношения с/ш, произведена оценка точности измерения пеленга на источник радиоизлучения и потерь при распространении радиосигнала. Расхождение расчетных теоретических соотношений с/ш с экспериментальными данными составило 6,5%. Вычисленные значения пеленга на источник радиоизлучения так же имеют удовлетворительные результаты, однако требуют перепроверки в условиях БЭК со стабильной угломерной платформой для размещения приемника. В результате исследований сделаны положительные выводы о возможности реализации пеленгационной системы на основе высокоскоростных АЦП, теоретические данные имеют высокую корреляцию с результатами натурных испытаний.

МИНИАТЮРНАЯ 4 МРХ КМОП ВИДЕОКАМЕРА КОСМИЧЕСКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БОРТОВОЙ АППАРАТУРЕ КА ДЗЗ

¹*В. Муаллем, ²А. В. Королёв,*

¹*3D PLUS, Франция,*

²*ООО «СД Солюшнс», г. Санкт-Петербург*

Компания 3D PLUS в рамках НИОКР разработала новую КМОП-камеру для космических применений. Работа была выполнена по заказу Национального центра космических исследований Франции (CNES). Для обеспечения максимальной компактности конструкции камера была разработана с использованием объемных технологий компании 3D PLUS. Также при разработке камеры особое внимание было уделе-

но обеспечению ее высокой стойкости к воздействию радиации для широкого спектра научных применений, таких как обзор земной поверхности, мониторинг состояния КА и носителя, звездные датчики.

Камера 3DCM681 была разработана с использованием 3D технологий и представляет из себя куб объемом $35 \times 35 \times 25 \text{ мм}^3$, в котором на 4 уровнях размещены ее компоненты. Верхний уровень содержит КМОП датчик изображения, который является основным элементом камеры. Датчик состоит из 2048×2048 пикселей размером 5,5 микрон. Каждый пиксель основан на архитектуре pin-фотодиода с несколькими транзисторами. Этот датчик полностью цифровой, он содержит микроконтроллер, регистры, 2048 АЦП и может передавать информацию, используя 16 выходов LVDS. Частота кадров зависит от количества битов АЦП и составляет 12 кадров/сек (12 битов) или 16 кадров/с (10 битов). Стойкость цифровой части датчика в отношении одиночных эффектов (SEE) была оценена CNES и была признана удовлетворительной в части SEU и требующей дополнительной защиты для снижения SEL. Красный, зеленый и синий цветные фильтры размещены в оптической системе над каждым пикселем с использованием распределения массива Байера. Микролинзы нанесены в верхней части каждого пикселя. Эти оптические элементы фокусируют падающий на пиксель свет для того, чтобы улучшить квантовую эффективность пикселя.

На втором уровне компонентов размещена ПЛИС на 3 млн. вентилей с низкой потребляемой мощностью, стойкостью к накопленной дозе 30 крад и невосприимчивостью к одиночным эффектам. ПЛИС выполняет функцию интерфейса камеры с другими системами. ПЛИС может хранить изображения в ОЗУ, расположенном на том же уровне и выполняет предварительную обработку изображений. Также имеется ПЗУ для обеспечения загрузки регистров состояния датчика изображения и хранения каталога звезд в случае применения камеры в составе звездных датчиков. Для управления камерой используется последовательный интерфейс, для передачи изображения с выхода камеры используется интерфейс LVDS.

Следующий уровень компонентов камеры содержит PGA, который поддерживает любые типы интерфейсов передачи данных от LVDS до SpaceWire в зависимости от программирования ПЛИС.

Входное напряжение питания камеры от 4,5 до 9 В. В составе камеры имеются четыре стабилизатора напряжения (3,3 В, 2,5 В, 2,1 В и 1,5 В) для питания датчика, генератора, ПЛИС и памяти.

Камера выпускается в космическом исполнении.

КВАЛИФИЦИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ММИС НА ОСНОВЕ GAAS И GAN ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВРЛ И АФАР СПУТНИКОВ ДЗЗ

*Д. Н. Нестеров,
ООО «СД Солюшнс», г. Санкт-Петербург*

Разработка спутников дистанционного зондирования Земли в настоящее время приобретает все большую актуальность. Радары с синтезированной апертурой космического базирования иностранного производства показывают технические характеристики, достаточные для реализации широкого круга прикладных задач в интересах народного хозяйства, а также обороны и безопасности. Процесс создания спутника дистанционного зондирования земли в России ставит перед разработчиками задачу по выбору современной электронной компонентной базы, обладающей как техническими параметрами, так и уровнем качества и надежности достаточными для решения задач, заложенных в ТЗ. Возможным решением такой задачи могут стать изделия или услуги французского производителя монолитных микроволновых ИС – компании United Monolithic Semiconductors (UMS).

Компания UMS обладает значительным опытом создания микросхем космического уровня качества на начиная с 1996 года. UMS представляет передовые решения для создания приемо-передающего модуля аппаратуры дистанционного зондирования земли космического базирования, удовлетворяющего техническим характеристикам и требованиям надежности, предъявляемым к номенклатуре космического уровня качества. Арсенидные и нитридные технологические процессы производителя прошли квалификацию Европейского космического агентства. Продукция компании UMS нашла применение в составе аппаратуры ДЗЗ спутников Sentinel, MetOp, TerraSAR и других.

Наряду с серийными изделиями различного функционального назначения компания UMS предлагает разработчикам РЭА для КА ДЗЗ производство микросхем по принципу Foundry, с разработкой топологии микросхем инженерами заказчика.

В докладе будет представлен краткий обзор технологических процессов производителя, квалифицированных для создания изделий космического уровня качества и рассмотрен объем и результаты испытаний, характерных для указанных процессов.

Кроме того, будет представлен краткий обзор наиболее востребованной GaAs и GaN номенклатуры изделий для создания аппаратуры ДЗЗ, включая перспективные мощные транзисторы и усилители мощности в диапазоне частот 8 – 12 ГГц, выполненные по GaN технологическому процессу.

РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ БОРТОВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРОВ ИКФС-2

*Ф. С. Завелевич, Ю. М. Головин, Н. Н. Ушаков, А. Г. Никулин,
Д. А. Козлов, Д. О. Монахов, И. А. Козлов, И. С. Черкашин,
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва*

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр температурного и влажностного зондирования ИКФС-2 предназначен для измерения спектров уходящего излучения атмосферы Земли и решения на их основе оперативных задач гидрометеорологического обеспечения. Аппаратура ИКФС-2 в составе КА «Метеор-М» № 2 обеспечивает формирование спектров атмосферы Земли и подстилающей поверхности в диапазоне спектра от 5 до 15 мкм (от 660 до 2000 см⁻¹) со спектральным разрешением 0,4 см⁻¹ в полосе обзора до 2500 км с пространственным разрешением в надире 30 км.

Запуск космического аппарата «Метеор-М» № 2 с фурье-спектрометром ИКФС-2 состоялся 8 июля 2014 г. К настоящему времени прибор функционирует на орбите в штатном режиме в течение более четырех лет. За время эксплуатации отмечается стабильная работа механизма перемещения уголкового отражателя, механизма сканирования по полосе обзора, а также стабильное тепловое состояние прибора. Технические характеристики в орбитальных условиях функционирования соответствуют проектным.

Результаты сопоставления с данными независимых спутниковых измерений (радиометр SEVIRI и фурье-спектрометр IASI) свидетельствуют о надлежащем качестве калибровки аппаратуры. Проведенные исследования не обнаружили временного тренда (ухода) калибровки в течение эксплуатации прибора на орбите.

Спектры уходящего излучения, измеренные с помощью аппаратуры ИКФС-2, позволяют восстанавливать вертикальные профили температуры с погрешностями, близкими к 1 К в большей части высотной области 0 – 30 км, за исключением нижней тропосферы и высот более 30 км, где эти погрешности близки к 2 – 3 К. Также в настоящее время дан-

ные ИКФС-2 используются для верификации полей численного прогноза погоды, полученных с использованием данных радиозондирования и учитываются при составлении синоптического прогноза на Дальневосточном регионе.

Целью предлагаемой модернизации аппаратуры ИКФС-2 для КА «Метеор-М» № 2 – 5, № 2 - 6 является введение второго измерительного канала и расширение рабочего спектрального диапазона до 3,5 – 15 мкм при сохранении требований по массе, энергопотреблению, габаритам прибора и потоку информации, что позволит расширить номенклатуру и повысить качество спутниковой информационной продукции, а именно:

1. Регистрация спектров излучения в полосе поглощения CO₂ вблизи 4,3 мкм позволит повысить вертикального разрешение профилей температуры атмосферы, восстанавливаемых по спутниковым данным.

2. Регистрация излучения в диапазоне 5,5 – 6,3 мкм отдельным фотоприемником позволит существенно уменьшить спектральную пороговую яркость, что серьезно улучшит информационный потенциал прибора в части восстановления вертикальных профилей относительной и удельной влажности.

3. Регистрация спектров излучения в полосе поглощения CO вблизи 4,6 мкм позволит оценить содержание угарного газа в атмосфере.

4. Наличие в составе измерений спектральных каналов – «микроскоп прозрачности» в диапазоне 3,7 – 4,2 мкм позволит усовершенствовать процедуру детектирования облачности в поле зрения прибора и, тем самым, повысит достоверность результатов температурно-влажностного зондирования атмосферы и дистанционного определения температуры поверхности (воды и суши).

РАЗРАБОТКА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ КМОП ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

¹Г. И. Вишневский, ¹М. В. Четвергов, ²М. Г. Выдревич, ²А. Г. Попов,

¹АО «Научно-Производственное предприятие «ЭЛАР»

²АО «Научно-Производственное предприятие «СИЛАР»

АО «НПП «ЭЛАР» разрабатывает, изготавливает и поставляет фоточувствительные микросхемы ФПЗС для специальных систем. Вместе с тем бурное развитие технологии и схемотехники КМОП, приводит к постепенному вытеснению ФПЗС технологии с рынка фотоприёмных устройств. В связи с этим в 2015 году компании АО «НПП «ЭЛАР» и АО «НПП «СИЛАР» создали дизайн-центр, а также организовали участ-

ки сборки и тестирования фоточувствительных КМОП микросхем на основе действующего сертифицированного производства фотоприемников АО «НПП «ЭЛАР».

За прошедший с начала работ период в инициативном порядке было разработано и поставлено несколько видов фоточувствительных КМОП-микросхем.

Характеристики первого разработанного КМОП фотоприемника приведены в таблице (Первый сенсор).

Кристалл разработан в двух модификациях: модификация А с ячейкой с повышенной зарядовой емкостью и модификация В с ячейкой с повышенными крутизной выходного устройства ячейки и спектральной чувствительностью.

Основные характеристики некоторых из разработанных фотоприемных КМОП микросхем

Название параметра	Тип фотоприемника			
	Первый сенсор	Сенсор для ФПУ	Микросхема для астроориентации	Микросхема для спец. камеры
Формат фотозоны	640 × 480	1280 × 1024	1024 × 1024	720 × 540
Шаг пиксела	14 мкм	14 мкм	16 мкм	14 мкм
Количество транзисторов ячейки	5	5	3	5
Тип затвора	Global	Global	Rolling	Global
Наличие АЦП	12 бит	Нет	12 бит с возможностью получения 14-разрядного сигнала	12 бит
Корпус	Планарный	Без корпуса, входит в состав ФПУ	Герметичный с охлаждением кристалла	Планарный, герметичный
Интерфейс управления	—	—	SPI	SPI
Другие особенности	Аналоговый выход	Октогональный фотодиод, коэфф. заполнения 60%	Динамический диапазон 72 дБ	Коэффициент светозащиты больше 500

В рамках инициативной работы были разработаны, получены и включены кристаллы для сочленения с ЭОП для работы в составе камеры в условиях низкой освещенности. Конструктивные особенности кристалла приведены в таблице (Сенсор для ФПУ)

На данный момент работа завершена и образцы ФПУ переданы заказчику для создания камер ночного видения.

Компании АО «НПП «ЭЛАР» и АО «НПП «СИЛАР» непрерывно совершенствуют и расширяют номенклатуру имеющихся приборов.

Компании разработали кристалл для работы в составе аппаратуры астроориентации. Одной из особенностей разработанного прибора является возможность включения кристалла в уже имеющемся герметичном корпусе с элементом Пельтье для охлаждения кристалла и дополнительного повышения его радиационной устойчивости. Основные конструктивные и технические характеристики разработанного кристалла приведены в таблице (микросхема для астроориентации). В 2019 году АО «НПП «ЭЛАР» был переработан имеющийся в наличии корпус для увеличения угла визирования и уменьшения массы микросхемы, а также разработан кристалл с увеличенным коэффициентом светозащиты (микросхема для спец. камеры).

До сегодняшнего дня, в разработанных кристаллах использовался рамповый столбцовый АЦП. Как показывает анализ зарубежной документации и собственный опыт разработки, этот типа АЦП наиболее удобен в большинстве стандартных задач, которые выполняют фотоприемные кристаллы. Однако существуют области, в которых его использование связано с рядом сложностей или требует изменения концепции работы АЦП. В связи с этим компаниями был проработан первый вариант дельта-сигма АЦП, использование которого позволит увеличить кадровую частоту фотоприемников до нескольких сотен кадров в секунду.

Таким образом, компаниями был разработан ряд различных фотоприемных КМОП микросхем. Успешно завершены работы по эскизному проектированию микросхемы для гиперспектральной системы космического базирования. Разработана зарядо-чувствительная микросхема, для работы в составе медицинского масс-спектрометра; разработано и совершенствуется фотоприемное устройство для работы в составе камеры ночного видения на основе собственной фотоприемной КМОП микросхемы. Прорабатывается 180 нм технологическая линейка для разработки на ее основе малошумящих КМОП фотоприемников с фотоячейкой размером 7 – 8 мкм. Прорабатываются вопросы производства фотоприемников с микролинзами.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РАЗРАБОТОК ФПЗ И КМОП ФОТОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ СИСТЕМ КА

¹Г. И. Вишневецкий, ²М. Г. Выдревич,

¹В. Г. Коссов, ²А. Г. Попов, ¹М. В. Четвергов,

¹АО «Научно-производственное предприятие «ЭЛАР»

²АО «Научно-производственное предприятие «СИЛАР»

АО «НПП «ЭЛАР» занимается производством ФПЗС ФЗН микросхем для оснащения систем ДЗЗ, а также разработкой и производством фотоприемников других типов для бортовой космической аппаратуры.

Предприятие выпускает большую номенклатуру ФПЗС ВЗН для панхроматического и спектрального каналов аппаратуры ДЗЗ, отличающихся размером элемента, форматом, количеством фотозон на кристалле, и т. д.

АО «НПП «ЭЛАР» осуществляет производство ФПЗС «Круиз-6» с размером фоточувствительной ячейки 6×6 мкм. Кроме того, АО «НПП «ЭЛАР» выпускает 8 типов фоточувствительных модулей «Круиз-Ц-Б» с интегрированным трехзонным светофильтром. Типы фоточувствительных модулей различаются набором спектральных каналов, определяемым интегрированным светофильтром. Перечисленные фотоприемники работают в системах ДЗЗ КА «Ресурс-ДК», «Ресурс-П» № 1, «Ресурс-П» № 2, «Ресурс-П» № 3, «Аист-2Д» а также других аппаратов. Ведутся поставки для КА «Ресурс-П» № 4 и № 5.

Помимо ФПЗС ВЗН для аппаратуры высокого разрешения АО «НПП «ЭЛАР» разработало и поставляет ФПЗС «Кадр-РП», предназначенный для применения в гиперспектральной аппаратуре (ГСА), которой оснащены КА «Ресурс-П».

АО «НПП «ЭЛАР» разработало ФПЗС ВЗН «Обзор» и «Обзор-Ц», предназначенные для изготовления панхроматического и спектрального каналов аппаратуры ДЗЗ разработки ОАО «Пеленг» (г. Минск). Объем поставок ФПЗС ВЗН достиг нескольких сотен изделий.

В рамках ОКР «Разработка опережающего задела бортовых приборов дистанционного зондирования Земли, в части создания многоканального оптико-электронного комплекса с высоким пространственным разрешением» (шифр ОКР «Прибор-ОЭК») изготовлено семейство широкоформатных ФПЗС ВЗН. На данный момент эти приборы являются самыми крупными матричными фотоприемниками отече-

ственного производства. Семейство представляют два ФПЗС для панхроматического и спектрозонального каналов:

- ФПЗС ВЗН «Прибор-ОЭК-9», форматом 6144 и размером ячейки 9 мкм;
- ФПЗС ВЗН «Прибор-ОЭК-Ц» для спектрозонального канала, форматом 1536 и размером ячейки 36 мкм.

Дальнейшее совершенствование этих датчиков проводится в рамках ОКР «Пиксел-ВД» и «Прибор-СР». В разработанных и изготовленных датчиках реализована возможность двунаправленного считывания и значительно увеличена частота считывания видеосигнала до 30 МГц.

В ФПЗС ВЗН «Комби» (предназначен для аппаратуры ДЗЗ среднего разрешения КА «Ресурс-ПМ» заложена конструкция, сочетающая на одном кристалле панхроматический (размер ячейки 9×9 мкм и формат строки 6144 элемента) и 4 спектральных канала (размер ячейки 18×18 мкм и формат строки 3072 элемента), что обеспечит более эффективное использование площади в фокальной плоскости оптоэлектронной аппаратуры. Ввиду большого интереса к фотоприемникам данного типа прорабатывается ФПЗС ВЗН, предназначенный для аппаратуры ДЗЗ высокого разрешения с повышенной чувствительностью и повышенной рабочей частотой.

Завершаются испытания и начались поставки в рамках ОКР матричных ФПЗС ВЗН для панхроматического и спектрозональных каналов нового КА ДЗЗ. Разработка данных фотоприемников, «Кемь-ПХ» (с размером ячейки 9×9 мкм) и «Кемь-МС» (с четырьмя спектральными каналами и размером ячейки 18×18 мкм), является логическим продолжением линейки ВЗН фотоприемников для панхроматической и спектрозональной аппаратуры ДЗЗ.

Началась разработка взаимодополняющей пары фотоприемников для панхроматического и спектрозональных каналов широкозахватной аппаратуры ДЗЗ высокого разрешения КА «Ресурс-ПМ», с фоточувствительными элементами 9 и 18 мкм, соответственно.

По заказу ВНИИЭМ идет работа по разработке, изготовлению и поставке традиционной для современных систем ДЗЗ пары фотоприемников для панхроматического и спектрозональных каналов. ФПЗС ВЗН для панхроматического канала имеет ячейку 9×9 мкм и формат фоточувствительной зоны 1536×128 элементов. ФПЗС ВЗН для спектрозональных каналов имеет ячейку 18×18 мкм и четыре фоточувствительных зоны с длиной строки 768 и количеством строк 64 (3 фотозоны) и 96 (1 фотозона).

В рамках ОКР завершено изготовление и предварительные испытания гибридной, многокристальной ФПЗС ФЗН сборки. Произведена поставки данных изделий для летной эксплуатации на борту КА. Указанный фотоприемник построен на основе прецизионной сборки четырех ФПЗС ВЗН «Круиз-6» – самого массового фотоприемника для отечественных космических систем ДЗЗ. В рамках данной ОКР предприятие получило необходимый опыт и знания для дальнейшего развития тематики по изготовлению фокальных плоскостей большого размера для панхроматической и спектрально-зональной аппаратуры. Изготовление подобного рода продукции является одним из приоритетных направлений развития АО «НПП «ЭЛАР». Развитие дальнейших разработок будет направлено на изготовление широкоформатной панхроматической и спектрально-зональной аппаратуры ДЗЗ различного размера.

АО «НПП «ЭЛАР» совместно с АО «НПП «Силар» занимается разработкой и изготовлением матричных КМОП-фотоприемников. Предприятиями совместно был разработан и выпущен ряд различных фотоприемных КМОП микросхем. Отгружены заказчику корпусированные микросхемы в соответствии с техническими требованиями. Проработаны технические требования и принципиальные части схемотехнических и топологических решений кристаллов для работы в составе гиперспектральной аппаратуры. Разработана микросхема для использования в составе аппаратуры астроориентации. Ведутся переговоры по разработке микросхем для задач дистанционного зондирования Земли. Изготовлены опытные образцы ФПУ в состав которых входят КМОП-фотоприемники собственной разработки, совмещенные с ЭОП, для работы в составе камеры ночного видения.

Прорабатываются вопросы перехода на другую технологическую линейку для уменьшения размеров фоточувствительных ячеек. Ведутся переговоры по созданию микролинз на фотоячейках кристаллов для увеличения квантовой эффективности приборов.

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. К тематике данной конференции наибольшее отношение имеет разрабатываемый на данный момент специализированный КМОП-сенсор для работы в составе бортовой аппаратуры астроориентации.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ГРАВИИНЕРЦИАЛЬНОЙ И ГРАВИГРАДИЕНТОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*В. Б. Дубовской, В. И. Леонтьев, И. А. Боев,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Российской академии наук, г. Москва,
В. Г. Пиенияник,
Научно-исследовательский институт космических систем
им. А. А. Максимова – филиал Акционерного общества
«Государственный космический научно-производственный
центр им. М. В. Хруничева», г. Королев*

В 2000 – 2016 гг. были осуществлены три очень значимых для геодезии зарубежных спутниковых проекта CHAMP, GRACE и GOCE, которые позволили достичь небывалой точности в глобальном определении параметров гравитационного поля Земли (ГПЗ). В каждом из этих проектов использовались различные принципы проведения измерений:

- 1) CHAMP, GRACE – межспутниковое слежение (измерение дальности и скорости изменения дальности между двумя спутниками);
- 2) GOCE – спутниковая градиентометрия (измерение разностей ускорений силы тяжести в пределах одного спутника).

Эти проекты позволили существенно уточнить параметры гравитационного поля Земли. Причём каждый из них внёс вклад в уточнение модели гравитационного поля Земли в определенном диапазоне разложения его потенциала в ряд по сферическим функциям.

Подобные отечественные спутниковые данные и их аппаратурное обеспечение для решения этой задачи в настоящее время отсутствуют.

Для ликвидации отставания в данной области АО «ИСС им. академика М. Ф. Решетнёва» были проведены комплексные исследования по определению проектного облика многоярусной космической геодезической системы (КГС) «ГЕО-ИК-3», включающей среднеорбитальные и низкоорбитальные космические аппараты (КА), выполняющие задачи, аналогичные функциям спутников CHAMP, GRACE и GOCE.

Однако проект создания КГС «ГЕО-ИК-3» может быть реализован только при наличии на борту ее космических аппаратов гравиинерциальной и гравиградиентометрической аппаратуры с уровнем разрешения порядка $10^{10} \dots 10^{-12}$ м/с² и 0,1 ... 0,01 Е (Этвеш) соответственно.

Завершенных отечественных образцов такой аппаратуры, выполненных на современном технологическом уровне, к сожалению, не имеется (достигнутый уровень разрешения серийных отечественных акселерометров, входящих в состав гравиградиентометров, составляет 10^{-6} м/с²).

В докладе обсуждаются возможности создания гравиинерциальной и гравиградиентометрической аппаратуры для среднеорбитальных и низкоорбитальных КА КГС «ГЕО-ИК-3» на основе экспериментальных образцов высокочувствительных акселерометров с торсионным подвесом пробной массы совместной разработки «НИИ КС им. А. А. Максимова – филиала АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева» и Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук.

Приводятся результаты расчетов физических и технических ограничений возможности достижения предельной чувствительности спутниковых гравиинерциальных датчиков.

Рассматриваются основные направления дальнейшего совершенствования этих приборов, методов аттестации их технических характеристик в наземных условиях и обеспечения ортогональности осей их чувствительности.

Достигнутое в настоящее время достаточно высокое разрешение этих акселерометров порядка 10^{-9} м/с² реализовано в результате минимальной связи подвеса пробной массы с корпусом приборов, а также максимально возможного разрешения датчиков перемещения пробной массы в их составе.

Кроме того, эти акселерометры, а значит и гравитационные градиентометры, построенные на их основе, имеют ряд преимуществ по сравнению с зарубежными акселерометрами с электростатическим подвесом пробной массы. Это – значительно менее затратная технология изготовления, широкие возможности испытаний в наземных условиях, более простая система определения проекций вектора измеряемых ускорений на оси системы координат, связанные с космическим аппаратом.

Научно-технический задел, имеющийся в этой области, позволяет определить перспективы поэтапного создания штатной гравиинерциальной (акселерометров) и гравиградиентометрической аппаратуры для КГС «ГЕО-ИК-3»:

- гравиинерциальной аппаратуры с разрешением 10^{-9} м/с² среднеорбитального КА (зарубежный аналог – спутник CHAMP) для определения длинноволновых гармоник математической модели ГПЗ – 2021 – 2022 гг.;

- гравиинерциальной аппаратуры с разрешением $(3 \dots 5) \cdot 10^{-10}$ м/с² среднеорбитального КА (зарубежный аналог – спутник GRACE) для

определения средневолновых гармоник математической модели ГПЗ – 2022 – 2023 гг.;

– гравиградиентометрической аппаратуры с разрешением $10^{-11} \dots 10^{-12} \text{ м/с}^2$ низкоорбитального КА (зарубежный аналог – спутник GOCE) для определения коротковолновых и средневолновых гармоник математической модели ГПЗ – 2024 – 2025 гг.

СЕКЦИЯ 4.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЗЗ

*С. А. Золотой, И. В. Минаев,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

В настоящее время данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса и продукты, созданные в результате их обработки, имеют повышенный спрос на мировом рынке пространственных данных и геоинформационных технологий. За последние годы в России и Беларуси значительно (на 30 – 40 %) возросла заинтересованность потребителей в получении и использовании данных и продуктов ДЗЗ. Становится очевидным, что ДЗЗ является важным элементом всех сфер социально-экономического развития России и Беларуси.

При этом актуальным вопросом развития ДЗЗ в мировой практике является совместимость всех этапов целевого применения системы ДЗЗ – от формирования оптимальной орбитальной группировки космических средств, на основе требований потребителей к данным ДЗЗ, до реализации этих данных, продуктов и услуг ДЗЗ.

К 2020 г. количество космических аппаратов ДЗЗ России и Беларуси составит не менее 15 КА, а состав целевой аппаратуры позволит обеспечить все необходимые для потребителей виды и режимы космической съемки в различных диапазонах электромагнитного спектра. В России и Беларуси накоплен достаточный опыт тематической комплексной обработки космической съемки, но используемые техноло-

гии ДЗЗ индивидуальны и, как правило, персонально разрабатываются для каждой конкретной космической системы ДЗЗ.

Существующие методы и формы обеспечения потребителей данными ДЗЗ обладают невысокой оперативностью выполнения заявок на космические съемки и не обеспечивают требуемую надежность выполнения заказов на космическую информацию ДЗЗ и продукты ее обработки. Это обстоятельство является одной из главных причин ограничения перехода на широкомасштабное применение данных дистанционного зондирования Земли и их распространения в повседневной деятельности общества в интересах социально-экономического развития государств-участников.

Возникает проблема доведения до потенциальных потребителей России и Беларуси конкурентоспособной и актуальной космической информации ДЗЗ и продуктов их обработки, получаемой с использованием космических аппаратов России и Беларуси.

Наиболее эффективное, с учетом национальных аспектов, в короткие сроки и с наименьшими затратами, решение данной проблемы возможно осуществить в рамках программ Союзного государства, обеспечивающих наиболее полное привлечение научно-технического потенциала государств-участников.

В этой связи Советом министров СГ в ноябре 2018 г. утверждена Концепция научно-технической программы Союзного государства «Разработка, модернизация и гармонизация нормативного, организационно-методического и аппаратно-программного обеспечения целевого применения космических систем дистанционного зондирования Земли России и Беларуси» («Интеграция-СГ»). Программу предлагается реализовать в период 2019 – 2023 гг.

Цель Программы: создание единых научно обоснованных стандартов, программно-технических средств и методического обеспечения в интересах совершенствования системы доведения до потребителей актуальной космической информации ДЗЗ и продуктов ее обработки, получаемой с использованием космических аппаратов России и Беларуси.

Планируется получить следующие научно-технические результаты, обеспечивающие совершенствования форм, методов и условий доведения до потенциальных потребителей России и Беларуси конкурентоспособной и актуальной космической информации ДЗЗ и продуктов их обработки, получаемой с использованием космических аппаратов

ДЗЗ России и Беларуси:

- гармонизированные на международном уровне стандарты, нормирующие требования к данным ДЗЗ, форматам их предоставления, способам и методам обработки в процессе целевого применения космических систем и комплексов ДЗЗ;
- организационно-методические документы, составляющие правовую и организационную основу для создания, совместного использования и совершенствования геопорталов, баз данных ДЗЗ и систем доступа к ним потребителями России и Беларуси;
- экспериментальные образцы сопряженных между собой аппаратно-программных комплексов, обеспечивающих автоматизацию процессов оценки качества данных ДЗЗ и валидации продуктов их обработки, получения базовых продуктов межведомственного использования, подтверждающие эффективность принятых технических решений и применения разрабатываемых нормативно-технических и организационно методических документов.

ПРОБЛЕМЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В. М. Гриць,
Филиал АО «Ракетно-космический центр «Прогресс» – ОКБ «Спектр»,
г. Рязань*

Одним из путей повышения конкурентоспособности российских космических систем ДЗЗ, расширения области использования результатов их целевого применения, роста востребованности отечественных космических данных на внутреннем и международном рынках является обеспечение данных ДЗЗ радиометрическими измерениями. Необходимость проведения измерений на изображениях, полученных съемочной аппаратурой (СА) космического базирования, и требования федерального закона от 26.06.2008 г. №102-ФЗ обусловили периодическую метрологическую аттестацию этих средств. Основной целью метрологической аттестации является подтверждение характеристик СА как при ее изготовлении, так и в процессе летных испытаний и штатной эксплуатации, когда аппаратура находится на околоземной орбите.

Метрологическая аттестация предполагает передачу размера единицы спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) от пер-

вичного эталона единиц радиометрических величин, хранимого во Всероссийском научно-исследовательском институте оптико-физических измерений вторичным и рабочим эталонам.

Метрологическая аттестация СА в процессе ее изготовления заключается в определении характеристик оптико-электронного тракта различными лабораторными способами и особых методологических проблем не представляет. Измерение характеристик во время орбитального полета является более сложным по организации и методическим подходам, однако именно в этом случае удастся получить реальные эксплуатационные характеристики.

Основная проблема периодической аттестации (калибровки) СА во время полета заключается в обеспечении равномерной засветки всего оптико-электронного тракта эталонным оптическим сигналом. Для реализации указанных функций бортовой калибровки необходимы:

- высокая стабильность источника излучения;
- максимально полный охват тракта измерительного канала (в пределе сквозная калибровка СА включает оптическую систему, приемники излучения, видеотракт и систему бортовой обработки сигнала);
- максимальная однородность и постоянство освещения фокальной поверхности или, по крайней мере, стабильность функции распределения освещенности на ней.

Использование для этого бортовых излучателей не позволяет в полной мере решить эту проблему, так как сами излучатели подвергаются негативному воздействию внешних факторов, что и аттестуемая СА, и не обеспечивается главное правило метрологической аттестации – передача единицы СПЭЯ от первичного эталона единиц радиометрических величин рабочим эталонам. Процесс передачи единицы СПЭЯ может быть осуществлен от внешнего (наземного или космического) эталонного излучателя, но при наземном эталонном излучателе необходимо учитывать степень поглощения оптического сигнала атмосферой.

Необходимости учета влияния атмосферы на сигнал эталонного наземного излучателя лишена радиометрическая калибровка по звездам, светимость которых стабильна и с достаточно высокой точностью промерена за многие годы наблюдений. При калибровке по звездам нет надобности учитывать искривление поверхности Земли и другие негативные факторы. Однако изображение звезды, являющейся точечным источником света, не обеспечивает засветку всех фоточувствительных элементов (ФЧЭ) матрицы приборов с зарядовой связью (ПЗС),

что требует такого энергозатратного маневра космического аппарата (КА), при котором засвечивались бы все ФЧЭ ПЗС-матрицы.

В докладе рассматриваются способы полетной радиометрической калибровки СА космических систем ДЗЗ:

- калибровка по звездам на одном витке полета КА;
- калибровка по наземному эталонному излучателю с определением коэффициента пропускания атмосферы;
- калибровка с использованием бортового излучателя с периодической проверкой его светимости по внешнему эталонному источнику.

В основе всех способов лежит сочетание засветки части ФЧЭ ПЗС-матрицы внешним эталонным источником света и равномерной засветки всех ФЧЭ ПЗС-матрицы объектом с неизвестной светимостью, например, наземные полигоны, льды Северного Ледовитого океана, заснеженные поля, песчаные пустыни и т. п. Приводится структура наземной оптико-электронной системы, обеспечивающей эталонную засветку оптико-электронного тракта СА.

Приведенные в докладе решения позволят решить существующие на настоящий момент организационные и методологические проблемы радиометрических измерений на изображениях, полученных СА во время полета по околоземной орбите.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО ЛИДАРА

*В. В. Саморуков, М. С. Иванов, С. Д. Богодяж,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт прикладной геофизики
им. академика Е. К. Фёдорова», г. Москва*

Идея использования лидарного метода зондирования атмосферы Земли для решения задач метеорологии.

Зондирование в диапазоне оптического излучения и использованием лидара.

Разработка научного проекта создания лидара для изучения особенностей глобального распределения облачности и атмосферного аэрозоля на ОС «Мир».

Использование полученных данных эксперимента на основе лидара для понимания атмосферных процессов, влияния облачных систем на термодинамическое равновесие атмосферы и для интерпретации радиометрических наблюдений атмосферы из космоса.

Исследование глобального распределения атмосферного аэрозоля и его влияние на климат.

Задачи космического эксперимента на основе лидара на ОС «Мир».

Технические характеристики лидара.

Одновременная работа с другими приборами на ОС «Мир» и модуле «Природа».

Планирование и проведение эксперимента на модуле «Природа».

Обработка полученных материалов эксперимента, научный анализ и выводы.

Перспективы дистанционного зондирования атмосферы с использованием лидара на базе МКС и других КА геофизического (метеорологического) назначения.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СИЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

^{1, 4}А. В. Тертышников, ¹И. И. Иванов, ²А. Д. Шрамко,

¹К. В. Грязнов, ¹А. А. Палей,

^{1, 3}Ю. В. Писанко, ¹М. Д. Зинкина, ¹В. Е. Давыдов

¹«Институт прикладной геофизики

им. академика Е. К. Федорова»

(ФГБУ «ИПГ»), г. Москва,

²Кисловодская Горная астрономическая станция

Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН

(ГАС ГАО РАН), г. Кисловодск,

³МФТИ (национальный исследовательский университет),

⁴ФГБУН ФИРЭ РАН, г. Москва

Необходимость наземных решений для регистрации радиоизлучения солнечных вспышек обусловлена тем, что связанные с сильными солнечными вспышками короткопериодные вариации потока солнечного радиоизлучения в ГГц-диапазоне могут на 10 – 20 дБ превысить максимально допустимый уровень $-142 \text{ (дБ} \cdot \text{Вт)} / (\text{м}^2 \cdot 4 \text{ кГц})$, установленный регламентом ITU RR2566 для спутниковых каналов связи.

В докладе рассмотрены технические решения способа регистрации радиоизлучения сильных солнечных вспышек на сети наземных приемных устройств, реализующих автоматизацию наблюдений за потоком радиоизлучения Солнца, и критериев интенсивности потока радиоизлучения Солнца на выбранных длинах волн с регулярной корректировкой по произошедшим событиям, использованием калибровок регистрируемых характеристик и валидации критериев сильных вспышек.

В состав комплекса регистрации интенсивности радиоизлучения Солнца входят антенные и приемные устройства на нескольких длинах волн, скоммутированных с блоком анализа и калибровки регистрируемых сигналов на базе процессора с устройством отображения информации (ПЭВМ оператора), который связан с пунктами регистрации радиоизлучения солнечных вспышек, Центром сбора и обработки информации, электронными архивами гелиогеофизических данных.

Полученные результаты регистрации сильных солнечных вспышек позволяют повысить надежность их регистрации с помощью сравнительно дешевых наземных радиотехнических устройств и современной элементной базы.

ПОДХОД К СЖАТИЮ ТРЕХМЕРНЫХ ДАННЫХ

¹ А. А. Дудкин, ² Д. Ю. Перцев,

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск,

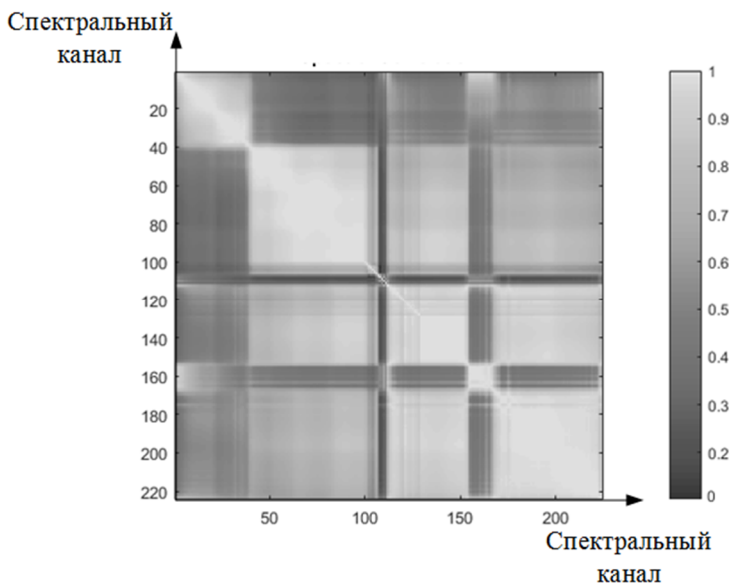
²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Примерами данных, имеющих трехмерную структуру, являются гиперспектральные и Фурье-интерферограммы. Их отличительной чертой является высокая степень корреляции по оси Z , стремящаяся к единице. Например, матрица спектральной корреляции для гиперкуба AVIRIS Moffett Field представлена на рисунке.

В результате проведенных исследований был разработан универсальный алгоритм сжатия без потерь для трехмерных данных, обладающих высокой корреляцией по оси Z , и включающий следующие шаги:

Шаг 1. Перераспределение потока данных для сжатия.

Шаг 2. Предобработка и декорреляция данных.



**Матрица спектральной корреляции
для гиперкуба AVIRIS Moffett Field**

Шаг 3. Упаковка и реорганизация декоррелированного потока.

Шаг 4. Применение контекстно-адаптивного бинарного арифметического кодера.

На *первом шаге* выполняется разбиение трехмерной структуры на блоки одинаковой размерности, каждый из которых впоследствии обрабатывается независимо от остальных и представляет собой независимый поток данных. Основными преимуществами такого подхода являются:

- повреждения упакованных данных, которые могут возникнуть, например, при передаче, оказывают влияние только на блок, в котором произошли искажения. Остальные блоки будут полностью восстановлены;
- при правильном подборе размерности блока по оси *Z* удастся минимизировать влияние атмосферных окон;
- возможность параллельной обработки каждого блока.

На *втором шаге* уменьшается избыточность данных по всем координатам блока. Для этого применяется либо вейвлет-преобразования, либо алгоритмы предсказания.

На *третьем шаге* выполняется предварительная упаковка и переупорядочивание данных в соответствии с подходом 3D zig-zag. Основной задачей данного этапа является реорганизация потока бит таким образом, чтобы длина нулевых или единичных бит была максимально длинной.

На *четвертом шаге* применяется контекстно-адаптивный бинарный арифметический кодер, результатом которого является упакованный поток данных.

Достоинствами данного подхода является универсальность представленного подхода к сжатию трехмерных данных, отсутствие операций с высокой латентностью, возможность аппаратной реализации.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА КОСМИЧЕСКОГО ВЫСОТОМЕРА

*Д. С. Боровицкий, А. Е. Жестерев, В. П. Ипатов, Р. М. Мамчур,
АО «Российский институт радионавигации и времени»,
г. Санкт-Петербург*

Спутниковые радиовысотомеры (альтиметры) устанавливаются на космических аппаратах, предназначенных для решения задач дистанционного зондирования Земли. Принцип работы радиовысотомера основан на известном принципе импульсной радиолокации, при котором информация о расстоянии до подстилающей поверхности вычисляется из измеренного запаздывания отраженного сигнала относительно излучаемого. Помимо измерения высоты высотомер способен измерять степень возмущенности морской поверхности и некоторые другие параметры, которые впоследствии могут быть использованы для решения различных геодезических, географических, океанографических и других задач.

В настоящем докладе рассматриваются одноэтапный и двухэтапный алгоритмы поиска эхо-сигнала спутникового высотомера. В отличие от одноэтапного алгоритма при двухэтапном сначала осуществляется быстрый просмотр оси запаздываний с целью выявления точек, подозрительных на присутствие сигнала, а на втором этапе происходит повторная проверка отобранных временных позиций. Рассчитываются энергетические характеристики эхо-сигнала. Выполнен выбор частоты повторения радиоимпульсов в зависимости от высоты орбиты космического аппарата и диапазона частот, в котором работает высотомер.

АНАЛИЗ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ ОТ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СЕРИИ «КАНОПУС-В»

*А. Е. Кузнецов, В. А. Зенин,
Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань*

На спутниках дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) серии «Канопус-В» аппаратурой наблюдения ПСС и МСС изображения подстилающей поверхности формируются АЦП с радиометрическим разрешением 12 бит. Применительно к 12-битному разрешению в ходе предполетной калибровки получены функциональные зависимости пересчета кодов АЦП (яркостей пикселей) в энергетические величины. Для передачи по каналу связи на наземную станцию приема изображения преобразуются из 12 в 8-битное представление. При этом происходит сжатие яркостного диапазона в 8, 14 или 40 раз в разных диапазонах яркостей. Это приводит к снижению радиометрического разрешения и потерям дешифровочных свойств информации.

Другим недостатком подобного преобразования является то, что выходная продукция потребителям выдается в формате 8 бит, поскольку обратное преобразование не приводит к восстановлению изначальной информации (гистограмма подобного изображения будет содержать пропуски, и для него методы тематической обработки не применимы). В этой связи функция преобразования кодов яркости в энергетические величины на входном зрачке прибора становится нелинейной, что также не позволяет использовать стандартные средства для получения энергетических характеристик объектов подстилающей поверхности с учетом атмосферной коррекции.

Для преодоления перечисленных недостатков был поставлен эксперимент. Разработчики целевой аппаратуры организовали передачу по каналам связи закодированных изображений в 12-битной структуре. После декомпрессии для анализа были предоставлены изображения земной поверхности в формате TIFF с радиометрическим разрешением 12 бит.

Визуальное сравнение выявило разницу в идентификации объектов между изображениями в 8-битном и 12-битном форматах только на участках с высокой яркостью. Так в 12-битном представлении можно распознать структуру облаков, а при переводе в 8-битный формат

большая часть облака переходит в переполнение и детали становятся неразличимы. На темных участках подобных эффектов не наблюдается. При попиксельном анализе отмечаются ситуации, когда пиксели имеющие различную яркость в 12-битном представлении после преобразования в формат 8 бит становятся неразличимыми. При этом значимых искажений контуров объектов не отмечено.

Таким образом, результаты сравнения показывают, что качественного улучшения дешифровочных свойств 12-битных изображений по отношению к 8-битным не наблюдается.

Для выявления причин, связанных с низкими дешифровочными свойствами 12-битных изображений была выполнена оценка СКО шума. Для датчика ПСС эта величина составила 14,6 квантов яркости. Это означает, что младшие 4 бита практически не являются информативными и реально для представления яркостных характеристик наблюдаемой сцены использовать 8-битное кодирование. Для сравнения в панхроматическом канале аппаратуры «Геотон-Л1» КА «Ресурс-П» изображения кодируются 10 битами, при этом СКО шума составляет порядка 1,82 кванта. Соотношение сигнал/шум для датчика «Геотон-Л1» равно 562,6, а для датчика ПСС – 280,5, то есть в 2 раза ниже.

Сделан вывод, что свето-сигнальные характеристики съемочной аппаратуры ПСС и МСС не достаточны для эффективного использования яркостного диапазона 0 – 4095, т. е. для 12-битного кодирования. Переход к 12-битному представлению не повышает дешифровочные свойства материалов съемки. Поэтому доработки наземных средств приема и обработки информации с КА серии «Канопус-В» для учета 12-битной структуры изображений проводить не целесообразно.

ТЕХНОЛОГИИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ И АБСОЛЮТНОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ В СИСТЕМАХ ДЗЗ

¹М. В. Новиков, ²А. Е. Кузнецов, ²В. А. Зенин,

¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

²Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань

Съемочное устройство высокого пространственного разрешения на основе матриц приборов с зарядовой связью (ПЗС) имеет технологический разброс характеристик по полю зрения. В результате сформированное изображение содержит яркостные неоднородности в виде «полосатости». Определение параметров таких искажений составляет за-

дачу относительной радиометрической калибровки съемочной аппаратуры. Для выполнения различных видов тематической обработки необходимо установить связь получаемых съемочным оборудованием кодов яркости и физических величин (энергетическая яркость, СПЭЯ и т. п.). Вычисление параметров такого пересчета составляет задачу абсолютной радиометрической калибровки.

Условием возможности проведения относительной радиометрической калибровки является стабильность и линейность передаточных характеристик ПЗС-матриц. Для выполнения высокоточной относительной радиометрической калибровки необходимо обеспечить формирование эталонного изображения высокой степени яркостной однородности по всему полю зрения прибора. Существует несколько возможных способов формирования такого эталона:

- использование специальных бортовых источников излучения;
- естественные источники (звездное небо, фрагменты земной поверхности);
- специальные оптические системы, рассеивающие солнечный свет.

Наиболее простым в реализации является технология калибровки по однородным участкам земной поверхности. Для получения эталонного изображения необходимо получить большое количество изображений. Значительно повысить скорость калибровки позволяет съемка в режиме «скольжения», путем разворота съемочного устройства вдоль направления полета космического аппарата. Таким образом, обеспечивается условие, что все фотоприемные элементы получают на вход один и тот же сигнал. По различию выходных сигналов оцениваются коэффициенты относительной радиометрической калибровки. Эксперимент по относительной радиометрической калибровке в режиме «скольжения» успешно проведен на аппаратуре КА ДЗЗ «Ресурс-П».

Задача абсолютной радиометрической калибровки изначально решается на земле до запуска спутника на орбиту разработчиком оборудования. При этом возможно использование точного лабораторного оборудования, различных источников опорного излучения. В процессе эксплуатации параметры калибровки изменяются и их необходимо уточнять. Для этого можно использовать несколько методов:

- кросс-калибровки;
- калибровки по стабильным источникам;
- калибровки по наземным полигонам с одновременными подспутниковыми измерениями.

Для выполнения кросс-калибровки необходимо иметь возможность выполнять одновременную съемку одноименных объектов калибруемым датчиком и откалиброванной аппаратурой имеющей такой же или очень близкий спектральный диапазон. Далее проводится статистический анализ полученных измерений и для калибруемого датчика строится градуировочная характеристика в виде линейной функции. В мировой практике часто в качестве опорной аппаратуры для кросс-калибровки используется спектрометр MERIS.

Стабильными естественными источниками излучения являются Солнце и Луна. Предпочтительным является второй вариант. Энергетическая яркость Луны в заданный момент времени может быть с высокой точностью определена с помощью одной из математических моделей, например ROLO (Robotic Lunar Observation). Калибровка осуществляется путем съемки Луны и сопоставления измеренного значения энергетической яркости с эталонным значением, полученным с использованием математической модели.

Рассмотренные подходы и технологии радиометрической калибровки применяются в мировой практике ДЗЗ и могут использоваться как в существующих отечественных системах наблюдения Земли, так и учитываться при проектировании новых.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЕДИНОЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (ЕТРИС ДЗЗ)

*П. А. Лошкарев, С. В. Пушкарский,
АО «Научно-исследовательский институт точных приборов», г. Москва*

Развитие высокопроизводительной орбитальной группировки ДЗЗ предполагает, в том числе, создание единой интегрированной наземной инфраструктуры ДЗЗ, предусматривающей формирование как рационального состава и топологии наземных центров, так и оснащение их самыми современными техническими средствами и технологиями в интересах решения научных и прикладных задач широкого круга пользователей различной ведомственной принадлежности.

Единая наземная инфраструктура ДЗЗ должна обеспечить требуемые (либо максимально возможные) показатели производительности,

своевременности (оперативности), качества и экономичности системы в условиях ограничений по стоимости и срокам проведения работ.

Увеличение количественного состава орбитальной группировки, типажа космических аппаратов, рост объемов информации, освоение новых спектральных диапазонов в условиях ограничений на ресурсные затраты требует обеспечения максимально возможной унификации технических, программных средств и технологий в центрах единой наземной инфраструктуры ДЗЗ.

Основные направления развития Единой территориально-распределенной информационной системы дистанционного зондирования Земли предусматривают создание и развитие следующих наземных средств комплексного целевого применения КА:

- автоматизированной системы управления целевым применением (АСУ ЦП) объединенной орбитальной группировки российских КА ДЗЗ, обеспечивающей комплексное планирование целевого применения КА орбитальной группировки ДЗЗ в интересах потребителей и управление наземной инфраструктурой средств приема и обработки;

- унифицированного комплекса автоматизированной стандартной обработки информации (УКАСОИ), обеспечивающего системную интеграцию технологий обработки спутниковых данных с различных типов КА ДЗЗ в целях реализации типовых потоковых конвейерных линий автоматической обработки по заданиям АСУ ЦП и организации единых архивов информации ДЗЗ на объектах ЕТРИС, включая внедрение унифицированного специального программного обеспечения стандартной высокоуровневой обработки информации;

- программно-технических средств взаимодействия с потребителями, обеспечивающие получение, обработку заявок и выдачу информации с КА ДЗЗ;

- комплексов приёма спутниковых данных ДЗЗ на объектах Оператора КС ДЗЗ и ППИ ЕТРИС ДЗЗ, обеспечивающих прием, синхронизацию, раскодирование и регистрацию информации с КА ДЗЗ;

- программно-технических средств взаимодействия центров и пунктов ЕТРИС ДЗЗ в целях обеспечения технологических процессов целевого применения КА ДЗЗ;

- комплексов вычислительных ресурсов для СПО планирования получения и обработки спутниковых данных на объектах ЕТРИС ДЗЗ;

- комплексов программно-технических средств каталогизации, оперативных и долговременных архивов информации ДЗЗ на объектах ЕТРИС ДЗЗ;

- комплексов технических средств рабочих мест дежурных смен на объектах ЕТРИС ДЗЗ (планирования, управления, приёма, обработки информации);
- программно-технических средств обеспечения обмена технологическими данными и целевой информации ДЗЗ;
- выделенных каналов обмена данными системы обмена данными (СОД) ЕТРИС ДЗЗ.

Проведение данных работ осуществляется с соблюдением принципа преимущественности и внедрения новых методов в ведущихся работах, как по разработке космических комплексов, так и при создании Единой территориально-распределенной информационной системы ДЗЗ.

ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСПЕКТИВНОМУ КОМПЛЕКСУ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В. В. Бетанов, Ю. А. Веремчук, Д. В. Доронин,
В. А. Мертвищев, В. В. Столяров, А. С. Шмакова,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

Перспективный комплекс баллистического обеспечения применения систем КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), создание которого планируется в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ), предназначен для решения таких основных задач, как:

1. Прогнозирование движения центра масс КА, входящих в систему, с использованием математических моделей:
 - системы уравнений движения 6-го порядка, для которой должна быть предусмотрена возможность интегрирования в прямоугольных координатах (гринвичская относительная и абсолютная геоцентрическая системы), а также в неособенных оскулирующих переменных;
 - доступных методов интегрирования уравнений движения – Рунге – Куты, Адамса – Мултона, Адамса – Бошфорта, Эверхарта, с возможностью выдачи рекомендаций оператору по выбору метода и шага интегрирования по результатам ввода исходных данных для моделирования и автоматически – в ходе решения задачи прогноза (в части уменьшение или увеличение шага);
 - атмосферы – динамической на основе ГОСТ Р 25645.166-2004 с

возможностью осуществления прогноза солнечной активности и геомагнитной возмущенности и расчетом высот полета КА над общеземным эллипсоидом;

- гравитационное поле Земли (ГПЗ) – учета нормальной и не менее чем 36 гармоник разложения аномальной части ГПЗ в ряды по сферическим функциям (ГПЗ-90);

- расчета времени – для эпохи 2000 г. с учетом поправок от прецессии, долго- и короткопериодической нутации, неравномерности вращения Земли;

- учета притяжения Солнца и Луны с точностью определения координат светил не хуже 2 угл. с и 45 угл. с соответственно;

- учета работы корректирующей двигательной установки и системы ориентации КА с учетом разнотяговости и погрешностей установки двигателей, а также расхода топлива в течение всего периода эксплуатации КА;

- учета изменения коэффициента лобового сопротивления за счет маневров КА и перекладки панелей солнечных батарей (ПСБ);

- пересчета прямоугольных координат и компонент скорости в кеплеровы параметры орбиты и обратно (в том числе – при вводе начальных условий и выводе результатов).

2. Расчета трасс полета на эллипсоиде; суточного и межвиткового смещения (в град. и км); параметров замыкания трассы (количество витков, время); полос обзора; покрытия на заданной широте полосами обзора отдельными КА и системой КА в целом.

3. Определение параметров целеуказаний наземным средствам, зон радиовидимости (ЗРВ) наземных измерительных пунктов и пунктов приема информации с учетом несферичности Земли, московского декретного времени входа/выхода в зоны видимости, продолжительности сеансов связи, прогнозирования «наложения» сеансов связи для различных КА.

4. Решение задачи оценки освещенности КА. Расчет зон освещенности подспутниковых точек для различных значений минимального угла Солнца с отображением результатов расчетов в графическом виде.

5. Оценка (прогноз) устойчивости орбит, выдача рекомендаций по параметрам динамически устойчивых кратных солнечно-синхронных орбит, расчет текущих индексов кратности.

6. Расчет маневров для:

- выведения КА на рабочие орбиты (время, азимут старта);

- ликвидации ошибок вывода;
- построения, поддержания, оптимизации, восполнения орбитальной структуры по различным показателям (время построения, расход рабочего тела, максимизации покрытия системой КА на заданной широте, продолжительность съемки заданных точечных объектов системой КА) с возможностью автоматического или интерактивного указания «мест» отдельных КА в системе по фазовому углу и плоскостям орбит;
- изменения плоскости орбит КА.

В ходе моделирования должны максимально учитываться основные конструктивно-баллистические, организационные, временные ограничения, а также ограничения, связанные с функционированием целевой и вспомогательной аппаратуры, в том числе наземной.

Должен быть обеспечен режим выдачи предупреждений о возможности выхода КА за границу допустимой фазовой области в соответствующей КС и рекомендаций по маневрированию (реализуемость маневров, энергозатраты, время и т. п.).

В ходе работы программного комплекса баллистического обеспечения должны быть реализованы:

- автоматический обмен с базами данных, развернутых в НЦ ОМЗ, включая получение стандартных начальных условий движения из ЦУП;
- графическое отображение параметров системы КА в 3D-режиме;
- возможность автоматического формирования стандартных форм заявок на маневры для всех КА рассматриваемых КС.

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ ПРИЕМНОЙ АППАРАТУРЫ РОССИЙСКИХ СПУТНИКОВ С ПОМОЩЬЮ КРОСС-КАЛИБРОВКИ ДАННЫХ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ГИСТОГРАММ

*А. М. Матвеев, А. А. Мазуров,
А. А. Бриль, А. В. Кашицкий, Е. А. Лупян,
Институт космических исследований РАН, г. Москва*

Калибровочные характеристики спутниковых приборов имеют важное значение для исследования как долговременных рядов изображений поверхности Земли, так и для определения текущих параметров излучения и отражения поверхности в совокупности с измерением характеристик влияния атмосферы на пропускание излучения. Сове-

менные приборы ДЗЗ являются измерительными инструментами, данные которых используются в различного рода задачах мониторинга изменений земной поверхности. Это оценки различных вегетационных индексов: цветность поверхности, температура или влажность почвы, интенсивность пожаров и др. Для осуществления таких функций спутниковых приборов существенную роль играют регулярные проверки и корректировки калибровочных характеристик приборов, а также прогнозирование изменения этих характеристик во время функционирования космических аппаратов ДЗЗ при отсутствии возможности регулярной коррекции. Этой проблеме посвящено большое количество исследований и публикаций, поскольку наличие специальных возможностей для проведения качественной калибровки непосредственно на борту КА сильно усложняет компоновку аппаратуры, а также значительно удорожает производственные и эксплуатационные затраты. В современных системах ДЗЗ в целях непрерывного детального мониторинга земной поверхности массово запускаются малогабаритные КА и значительная часть приборов как на российских так и на зарубежных КА не имеет калибровочной схемы на борту.

В данной работе предлагается метод оценки измерительных характеристик (калибровочной кривой) прибора путем сравнения гистограмм изображений одних и тех же районов на поверхности Земли с различных аппаратов. Предлагается использовать радиометрически поэлементно выравненные, калиброванные, но не скорректированные на атмосферное влияние данные. Суть предлагаемого метода сводится к приведению гистограммы яркостей изображения, снятого одним прибором к гистограмме изображения того же точно объекта (территории), полученного другим прибором (эталоном). Таблица преобразования яркости одного изображения в яркость на другом изображении (look-up-table или LUT) строится путем сопоставления частичных интегралов площадей гистограмм изображений, приведенных к одинаковому пространственному разрешению. Если сравниваемые приборы хорошо откалиброваны, изображения нормализованы в одинаковый диапазон яркостей (для каждого прибора), то такие таблицы LUT будут одинаковыми для всех исследуемых пар одновременных снимков. В частности, если калибровки данных линейные (что обычно принято для хранящихся в архивах данных), то и построенные LUT будут линейными функциями.

Изложенная методика применена для оценки стабильности работы приемной аппаратуры КМСС на борту КА «Метеор-М» № 2.

Все данные и результаты получены из архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» с использованием сервисов доступа к данным и их обработки ВЕГА-Science и единой системы работы со спутниковыми данными ФГБУ «НИЦ «Планета».

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЧС РОССИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИНЯТИЯ ПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

*Я. В. Алексеевко,
Федеральное казенное учреждение
«Национальный центр управления в кризисных ситуациях» МЧС России,
г. Москва,
Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной
службы МЧС России, г. Санкт-Петербург*

МЧС России активно применяет в своей деятельности результаты космического мониторинга. В настоящее время используются данные дистанционного зондирования, получаемые с различных информационных источников. Основными источниками являются:

- отечественная группировка космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ);
- открытые источники получения данных ДЗЗ (такие как, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, <https://earthexplorer.usgs.gov/> и др.);
- данные с Международной космической станции, получаемые в рамках проведения космического эксперимента «Сценарий».

Для обеспечения оперативного доведения полученных данных ДЗЗ до потребителей, а также результатов тематической обработки получаемых данных активно применяются геопорталы. Для обеспечения функционирования геопорталов необходимо обеспечить надёжное хранение данных и оперативный доступ к ним. В последние года наблюдается активный рост получаемых данных, что обусловлено следующими факторами:

- увеличение группировки КА ДЗЗ;
- увеличение объёма передаваемых данных за счет повышения качества данных;

– развитие открытых источников ДЗЗ.

Исходя из вышесказанного, существует необходимость создания системы хранения данных, которая должна выполнять следующее:

- распределенное хранение данных (с возможностью обеспечения распределенной обработки данных);
- гарантированное хранения данных (учитывая выход из строя устройств хранения данных, узлов хранения данных);
- оперативный доступ к данным;
- сокращение расходов на аппаратную составляющую;
- оперативное масштабирование аппаратной инфраструктуры.

В докладе представлен анализ существующих методов организации систем хранения данных, а также на его основе предлагаются методы создания распределенной системы хранения данных для обеспечения функционирования информационных систем космического мониторинга МЧС России. Реализация предлагаемых методов позволяет создать распределенную систему хранения данных, решающих вышеуказанную проблему.

СЕКЦИЯ 5.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

АРХИТЕКТУРА КОМПЛЕКСА ОЦЕНКИ ЛИНЕЙНОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АТМОСФЕРЫ

*А. А. Кащеев,
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – ОКБ «Спектр», г. Рязань*

На этапе проектирования и в процессе штатной эксплуатации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) одной из актуальных задач является априорная оценка линейного раз-

решения на местности (ЛРМ) материалов космической съемки земной поверхности, от объективности которой зависят точность планирования работы целевой аппаратуры наблюдения и достоверность подтверждения тактико-технических характеристик системы.

Оценка ЛРМ в большинстве случаев осуществляется с использованием законов геометрической оптики и не учитывает влияние отдельных звеньев тракта формирования космических изображений, одним из важнейших элементов которого является атмосфера.

С целью решения указанной проблемы в работе проведены исследования влияния оптических свойств атмосферы на априорную оценку ЛРМ материалов космической съемки. Проблема решалась для видимого и ближнего инфракрасного диапазона электромагнитных волн при когерентном рассеянии солнечной энергии на сферических прозрачных частицах атмосферного аэрозоля.

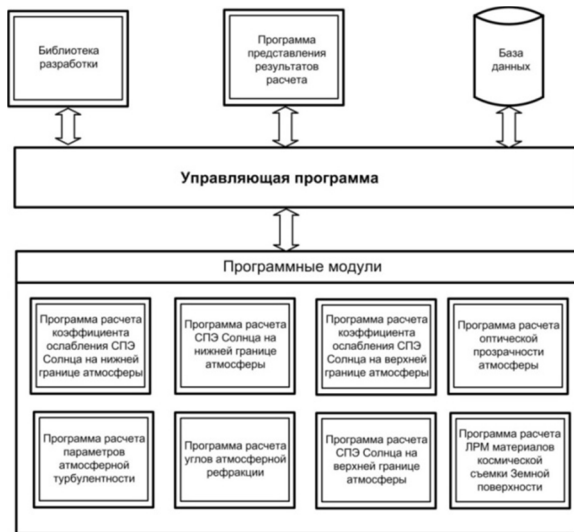
На основе проведенных исследований предлагается комплекс априорной оценки линейного разрешения на местности материалов космической съемки земной поверхности, учитывающий: аэрозольное рассеяние на частицах облаков, туманов, осадков, атмосферной дымки; молекулярное рассеяние на флуктуациях плотности воздуха; атмосферную рефракцию электромагнитных волн; флуктуацию фронта электромагнитных волн вследствие турбулентного перемешивания нижних слоев атмосферы из-за колебаний температуры.

В основе разрабатываемого комплекса лежат современные прогрессивные принципы построения, такие как: переносимость, универсальность, масштабируемость и модульность. Комплекс разрабатывается с использованием современных инструментальных средств: языков программирования, средств разработки приложений и системы управления базами данных.

Упрощенная архитектура комплекса приведена на рисунке.

Ядром комплекса является *управляющая программа*, которая предназначена для управления программными модулями и обеспечения взаимодействия с составными частями системы.

Программные модули реализуют математические расчеты оптических параметров атмосферы (коэффициенты ослабления СПЭ Солнца у поверхности Земли и на входе оптико-телескопического модуля КА ДЗЗ, параметры атмосферной турбулентности и углы атмосферной рефракции, оптическую толщину атмосферы и т. д.) и априорную оценку ЛРМ материалов космической съемки земной поверхности.



Архитектура комплекса

Ключевым элементом архитектуры является *библиотека разработки*, представляющая собой набор абстрактных классов, реализующих программные интерфейсы, через которые осуществляется взаимодействие между программными модулями.

Входные и выходные данные комплекса хранятся в *базе данных*, управление которой осуществляется управляющей программой.

Программа представления результатов расчета обеспечивает возможность представления результатов расчета в текстовом и графическом видах.

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЛАЧНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКИ ОБУЧАЕМЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ

*Е. А. Шохина, Д. А. Бусарова,
Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация
«Энергия» им. С. П. Королева», г. Королев*

Обнаружение облачности на изображениях дистанционного зондирования Земли является важной прикладной задачей. Проведение этой операции необходимо, в частности, в ходе каталогизации сцен маршрута съемки для оценки их качества. На основе процентного содержания облачности на изображении впоследствии принимаются решения

о пригодности полученных материалов для глубоких уровней обработки и передачи их заказчику.

Полностью автоматическое решение данной задачи является научным интересом многих отечественных и зарубежных исследователей. Наиболее успешно она решается в случаях сенсоров с гиперспектральным принципом съемки, особенно когда дополнительно используются различные данные о параметрах атмосферы и земной поверхности. Для случаев же, когда съемка ведется только в видимом диапазоне спектра (RGB), алгоритма, гарантированно позволяющего автоматически распознать облачные образования, на данный момент не существует.

Для решения задачи распознавания облачности на панхроматических и RGB-изображениях разработано множество подходов. Популярными являются методы, основанные на различных пороговых значениях спектральных характеристик снимка. Однако часто они не способны отделить облака от объектов со схожими спектральными свойствами (например, песка, льда, снега). Более устойчивыми являются методы классификации, основанные как на спектральных, так и на текстурных признаках. Наборы признаков, как и используемые классификаторы, при этом могут быть различными. В докладе представлены методы классификации с обучением, причем обучающая выборка автоматически формируется из данных классифицируемого изображения.

В предлагаемых методах классифицируемое изображение разбивается на тайлы, для каждого тайла формируется вектор дескрипторов, содержащий спектральные и текстурные признаки. Затем, в соответствии со специальными алгоритмами, из полученного набора тайлов выбираются те, которые принадлежат облачности, и те, которые не принадлежат. На основании полученной выборки проводится обучение классификатора (мы использовали модифицированный алгоритм k-средних и перцептрон). Затем обученный классификатор используется для всех тайлов, на которые разбивается обрабатываемое изображение.

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В РАЗНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНАХ

Е. И. Травина, А. А. Шевчук,

*ЗАО «Московский научно-исследовательский телевизионный институт»,
г. Москва*

Многоспектральные оптико-электронные системы (МОЭС) предназначены для получения информации об исследуемом объекте на расстоянии путем регистрации электромагнитного излучения в разных

диапазонах длин волн. Эти системы являются важнейшим инструментом оперативного мониторинга экологической обстановки и наблюдения за различными наземными объектами. Характерной особенностью современных систем является совместное использование датчиков изображений различной физической природы, что предоставляет дополнительные возможности при автоматизации обработки и дешифрировании за счет объединения информационных признаков наблюдаемых объектов.

Изображения, получаемые в различных спектральных диапазонах, отличаются яркостно-контрастными, геометрическими и статистическими характеристиками, что обусловлено как физикой формирования самого изображения, так и характеристиками оптико-электронных трактов. Например, на изображениях, полученных в видимом и инфракрасном (ИК-) диапазонах, один и тот же наблюдаемый объект имеет не только различные уровни яркости, но и локальные контрасты различной величины и знака.

Данные особенности в значительной степени определяют выбор способа предварительной обработки, целью которой является обеспечение информационной сопоставимости исходных изображений путем оптимизации и нормализации их яркостно-контрастных характеристик. Например, преобразование яркости исходного изображения в видимом диапазоне корректирующей функцией, учитывающей особенности зрительного восприятия, характеризующей как нелинейное восприятие линейного, т. е. равноконтрастного ряда яркостей, позволяет получить результат, не зависящий от сюжета обрабатываемого изображения.

Корректирующая функция является результатом объединения гистограммы яркости изображения и распределения пороговых значений восприятия контраста, возрастающего и убывающего равноконтрастных рядов яркостей. Распределение пороговых значений восприятия контраста является результатом дифференцирования выражения, известного как формула Выщетки:

$$W = 25 L^{1/3} - 17; \quad L = \overline{1,100}, \quad (1)$$

где L – яркость; W – светлота (субъективная характеристика яркости).

Итоговое распределение пороговых значений восприятия контраста имеет симметричный вид и позволяет получить результат без затемнённых и засвеченных участков:

$$\dot{W}(L) = \frac{25}{3} \max \left[L^{-2/3}, (100 - L)^{-2/3} \right]. \quad (2)$$

Изображение в ИК-диапазоне обладает свойством отсутствия теней и имеет более низкие контрасты по сравнению с изображением в видимом диапазоне. Для ИК-изображения увеличение контраста темных участков может привести к ухудшению качества изображения за счет проявляющихся дефектов датчика. В этом случае целесообразно использовать несимметричное распределение пороговых значений восприятия контраста:

$$\dot{W}_{IR}(L) = \frac{25}{3}(100 - L)^{-2/3}. \quad (3)$$

В то же время изображения, получаемые в различных диапазонах, обладают выраженной пространственной корреляцией и не могут рассматриваться как независимые источники информации об объектах наблюдения. Комплексирование разноспектральных изображений непосредственно связано с необходимостью объективной оценки качества получаемого изображения и его пригодности для дальнейшего анализа и дешифрования. Естественным подходом с учетом специфики применения, является оценка результата обработки на основе положений теории видимости и многомасштабном представлении локальных контрастов. Оценка основана на изменении соотношения наблюдаемых контрастов исходного и обработанного изображений.

Таким образом, при комплексировании разноспектральных изображений, с одной стороны, выбор способа предварительной обработки должен учитывать особенности изображений разных диапазонов. С другой стороны, сходный характер прохождения излучения через атмосферу позволяет ввести общую оценку качества изображений различных спектральных диапазонов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ НА ИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*М. С. Романовская,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

Пространственно-частотные характеристики (ПЧХ) изображений – параметры, определяемые на высоких пространственных частотах и описывающие возможность изображения передавать мелкие детали

раздельно. Разрешающая способность – свойство давать раздельное изображение двух близко расположенных точек. Оценивается разрешающая способность по предельной пространственной частоте, разрешаемой на изображении. Пространственное (линейное) разрешение (на местности) – ширина минимального линейного объекта, который может воспроизводиться на снимке. Частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) показывает изменение амплитуды синусоидального колебания, которая определяет контраст изображения.

ПЧХ космических изображений зависят от многих факторов, в числе которых можно перечислить различные условия съемки, а также особенности конструкции съемочной системы. При этом не следует забывать, что данные космической съемки поступают потребителю уже после прохождения предварительной обработки. Поэтому важно понимать, какое влияние оказывает обработка на качество изображений, используемых непосредственно для решения задач ДЗЗ.

Целью исследования является оценка изменения ПЧХ космических изображений в зависимости от примененного к нему метода обработки.

Оценка ПЧХ осуществляется двумя способами: через оценку разрешающей способности по тест-объектам (мирам) на анализируемых изображениях, или посредством анализа воспроизведения съемочной системой перепада яркости (резкого края). Первый способ состоит в визуальном определении предельно разрешаемой пространственной частоты. Второй – в восстановлении ЧКХ по изображению резкого края, которая также позволяет оценить разрешающую способность космического изображения. В докладе приводятся результаты оценки ПЧХ статистически значимого числа космических изображений до и после проведения предварительной обработки с анализом разницы в результатах оценки.

В докладе рассматриваются такие виды обработки, как геометрическая коррекция, трансформирование изображения в картографическую проекцию, применение алгоритмов фильтрации. Трансформирование изображений осуществляется с применением различных методов яркостной интерполяции.

МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС ДЛЯ КРОСС-КАЛИБРОВКИ ЦА ДЗЗ

*П. Ю. Орлов, М. А. Боярчук, В. В. Некрасов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Кросс-калибровка целевой аппаратуры (ЦА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является альтернативой и дополнением к тра-

диционно используемой полетной калибровке съемочных систем по тестовым объектам подспутниковых полигонов. Она заключается в выполнении съемки однородной местности, в первую очередь полигонов с имеющимися наземными измерениями отражаемого излучения, калибруемым и эталонным аппаратом и сравнении измеренных значений спектральных яркостей регистрируемого излучения.

При подборе эталонов для кросс-калибровки основными требованиями являются близость пространственного разрешения и спектральных каналов целевой аппаратуры, а также близость условий наблюдения (зенитных углов и времени съемки). Исходя из требований к целевой аппаратуре, выбраны эталонные КА ДЗЗ – Sentinel 2A/2B и, с некоторыми допущениями, Landsat 7/8, из спектральных каналов которых выбраны наиболее соответствующие каналам ЦА аппаратов группировки «Канопус-В».

В целях выбора съемочного материала с близкими условиями наблюдения был разработан алгоритм поиска пересечений трасс (проекций орбит на поверхность Земли) спутников ДЗЗ, позволяющий находить участки земной поверхности, наблюдаемые с участвующих в калибровке спутников с временной разницей не более 30 минут и отклонением визирной оси не более 15 градусов от надира. Конечный результат разработанного программного средства – трассы исследуемых спутников, а также точки пересечения трасс, с описанием моментов прохождения этих точек аппаратами дистанционного зондирования и близостью к полигонам (опционально), экспортируемые в формат .kml для дальнейшей визуализации в существующих настольных и web-ГИС. Прогнозирование трасс спутников осуществляется с помощью аналитической модели прогнозирования SGP4, а двухстрочные наборы орбитальных параметров (TLE) берутся из открытых источников.

Полученные точки пересечения трасс позволяют производить планирование съемки аппаратами группировки «Канопус-В» и находить соответствующие материалы, полученные иностранными системами. По полученным материалам производится сравнение измеренных целевой аппаратурой характеристик регистрируемого изображения и вычисление коэффициентов перевода цифровых значений.

МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

*В. Ф. Мочалов, А. В. Марков, М. О. Иванец, О. В. Григорьева,
Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург*

Предлагается метод идентификации и оценивания состояния растительности на основе сбора и совместной обработки многоспектральных космических изображений и разнородных данных наземных измерений. Метод предусматривает обоснование оптимальных сроков выполнения космической съемки и требований к объему и выбору мест проведения полевых работ. Результаты использования метода рассматриваются на примере исследования состояния растительности одного из районов Арктики, для которого были составлены цифровые геоботанические карты и получены данные для библиотеки спектральных характеристик растительных сообществ.

Традиционная технология тематической обработки многоспектральных космических снимков, как правило, основывается на применении различных алгоритмов классификации изображений с помощью тестовой обучающей выборки, которую формируют на основе данных синхронных подспутниковых спектрометрических измерений. Вместе с тем для труднодоступных арктических территорий одновременное выполнение наземных экспериментов и съемочных работ затруднительно. В связи с этим актуальной является задача создания методов, реализующих идентификацию и оценивание состояния растительности Арктики на основе обработки разнородных (гетерогенных) данных.

Рассматриваемый в докладе метод предусматривает выполнение следующей последовательности операций (сценария): геоботаническое описание выбранного тестового участка местности; сбор данных о спектральных отражательных характеристиках растительных сообществ в пределах тестового участка; обоснование параметров (показателей состояния) растительности, оцениваемых на основе имеющихся исходных данных; формирование перечня характерных спектральных признаков, позволяющих идентифицировать состояние растительности; выработка требований к условиям проведения космосъемки; обработка многоспектральных космических снимков; верификация полученных результатов. Выполнение указанных операций осуществля-

ется в циклическом режиме для регулярного систематического обновления информации об объекте контроля.

Требования к параметрам, характеризующим состояние растительности, задаются с учетом спектрального и пространственного разрешения современной и перспективной космической оптико-электронной съемочной аппаратуры. В примере, демонстрирующем результаты применения метода, рассматриваются основные виды арктических растительных сообществ, имеющие важное практическое значение: лишайники, мхи, осоковые и листовые растения. Обоснованы требования к проведению наземных спектрометрических измерений, включая требования к количеству, схеме размещения и минимальным размерам тестовых площадок с однородным слоем растительности. Показана возможность использования предлагаемого метода в интересах совершенствования цифровых карт, отражающих состояние растительности арктических регионов.

ВЫБОР ТЕКСТУРНОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ БКА

*А. А. Золотой, Д. И. Новиков,
УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси, г. Минск*

Тематический анализ сверхбольших космических снимков высокого разрешения требует специальных программно-технических решений по их загрузке, хранению и обработке с привлечением высокопроизводительных систем распределенных вычислений и алгоритмов блочно-параллельной обработки данных. При этом из огромного массива данных дистанционного зондирования Земли для тематического анализа потребителю часто требуется лишь незначительный сегмент. Поэтому целевую информацию (ЦИ) сверхбольшого космического снимка целесообразно подвергать предварительной декомпозиции на фрагменты заданного размера с определенными параметрами. Фрагменты ЦИ, полученные в результате такой декомпозиции могут служить входными данными для алгоритмов блочно-параллельной обработки сверхбольших космических снимков.

Декомпозиция космических снимков обычно строится на описании результатов их классификации по заданным критериям. В данной работе рассматривается выбор текстурного классификатора для космических

снимков, полученных Белорусским космическим аппаратом (БКА). В результате планировалось выбрать вид классификатора, показывающий лучшие результаты при выделении однородных текстур космических снимков, полученных с БКА.

Исходными данными для сравнения классификаторов являлись подготовленные фрагменты однородных текстур размером 93 на 93 пикселя трех классов – вода, лес и поле, вырезанные из космических снимков, полученных с БКА. Всего отобрано было 160 образцов однородных текстур. Выполнена их априорная классификация, на основе экспертных оценок с анализом цифровых карт местности по географическим координатам вырезанных образцов. Выборка из 160 образцов текстур была расширена за счет поворотов каждого образца соответственно на 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 и 330 градусов. Из полученных изображений были исключены 180 образцов с краевыми дефектами, приобретенными в результате вращения и проникновения в изображения артефактных участков из соседних областей на космических снимках. В результате была подготовлена выборка из 1580 априори классифицированных изображений однородных текстур.

Текстурная информативность растровых изображений выражается текстурными признаками. Сопоставление эффективности классификаторов производилось с использованием 12 текстурных признаков Харалика для четырех вариантов соседства пикселей [0 1], [1 0], [1 1] и [– 1 1].

Для сопоставления эффективности, были подготовлены классификаторы, работающие на основе:

- регрессивной модели метода опорных векторов (*regressionSVM*);
- метода опорных векторов (*classSVM*);
- метода k-ближайших соседей (*classKNN*);
- метода дерева решений (*classTree*);
- нейронной сети (*classNN*);
- регрессивной модели нейросети (*fitNN*);
- нейронной сети AutoEncoder с обучением (*NetAutoEncoder*).

Обучение классификаторов производилось на подготовленной выборке образцов текстур, которая случайным образом была разбита на три подмножества: для обучения (*Train*) – 70%, для проверки (*Validation*) – 15% и для тестирования (*Test*) – 15%.

Проверка обучения классификаторов выполнялась путем классификации изображения подмножества *Test* обучающей выборки. Классификация производилась в скользящем окне 93 на 93 пикселя с ша-

гом скольжения, равным размеру окна. Точность классификации F оценивалась по формуле:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{N_t} \frac{c_i}{a_i}}{N_t}, \quad (1)$$

где c_i – число пикселей образца текстуры отнесенных к классу данного образца; a_i – общее число пикселей в образце текстуры; N_t – число образцов текстур на изображениях.

Работа обученных классификаторов проверялась путем классификации фрагментов космических снимков, полученных с БКА, которые не использовались при формировании обучающей выборки. Размер скользящего окна принимался равным 93 на 93 пикселя, шаг смещения окна – 93 и 15 пикселей. При уменьшении шага смещения скользящего окна ожидалось увеличение детальности классификации текстур.

Некоторые значения точности классификации фрагментов космических снимков, вычисленные по формуле (1) для применявшихся классификаторов, приведены в таблице.

Значения точности классификации F , вычисленные для двухфрагментов космических снимков

Классификатор	Фрагмент снимка 1		Фрагмент снимка 2	
	Шаг - 93	Шаг - 15	Шаг - 93	Шаг - 15
regressionSVM	0.4235	0.5023	0.3407	0.4322
classSVM	0.8309	0.7898	0.7166	0.7390
classKNN	0.7423	0.8132	0.6483	0.7215
classTree	0.7802	0.7862	0.6052	0.7027
classNN	0.8396	0.8231	0.6993	0.7481
fitNN	0.7650	0.7583	0.6940	0.7038
NetAutoEncoder	0.7841	0.7638	0.6948	0.7563

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДЗЗ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*С. С. Тимофеева,
АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара*

Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» гласит, что «в соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан

сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации». Действительно, экология была и остается одной из актуальных задач современного общества, к которой приковано пристально внимание.

Существующий государственный экологический мониторинг (государственный мониторинг окружающей среды) представляет собой комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценку и прогноз изменений состояния окружающей среды.

Благодаря активно развивающейся сфере дистанционного зондирования Земли, получена возможность осуществления экологического мониторинга посредством аппаратуры различных типов, расположенных на космических аппаратах. Основным направлением использования данных ДЗЗ является обеспечение информационной и аналитической поддержки системы государственного экологического мониторинга.

В докладе автором будет проведен анализ существующей нормативно-правовой базы, определяющей проведение государственного экологического мониторинга в различных областях жизнедеятельности человека (сельское и лесное хозяйство, водные ресурсы и т. д.), изучены способы применения данных ДЗЗ, получаемые с аппаратуры различных типов (мультиспектральная, гиперспектральная, радиолокационная), обобщен имеющийся опыт использования данных ДЗЗ при решении задач государственного экологического мониторинга.

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, В РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ПОРАЖЕННЫХ ФИТОПАТОГЕНАМИ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ВРЕДИТЕЛЯМИ, ЗАСОРЕННЫХ СОРНЯКАМИ

¹Р. Ю. Данилов, ¹В. Я. Исмаилов, ²В. А. Третьяков,

¹О. Ю. Кремнева, ²А. А. Ризванов, ²В. В. Кривошеин,

¹Всероссийский НИИ биологической защиты растений, г. Краснодар,

²Центральный НИИ машиностроения, г. Королев

Современный уровень развития средств дистанционного зондирования Земли ознаменовался появлением образцов гиперспектральной

аппаратуры космического и авиационного базирования. Применение гиперспектральной съемки позволяет получать изображения более высокого, недоступного ранее качества, которые в кругу специалистов принято называть новым перспективным типом данных.

Фундаментальной задачей наших исследований является разработка методики расчета показателей состояния агроценозов на основе создаваемой базы гиперспектральных данных посевов сельскохозяйственных культур, в различной степени пораженных фитопатогенами, поврежденных вредителями, засоренных сорняками.

Решение данной задачи основано на интерпретации спектральных характеристик посевов основных сельскохозяйственных культур, полученных в результате проведения наземных и дистанционных спектральных измерений исследуемых объектов, с целью выявления специфических спектральных диапазонов, свидетельствующих о проявлении изменений, вызванных воздействием вредных объектов.

На опытных полях ФГБНУ ВНИИБЗР (г. Краснодар) созданы тестовые участки экономически значимых сельскохозяйственных культур озимой пшеницы с искусственным инфекционным фоном бурой ржавчины (*Puccinia triticina* Rob.ex Desm. f. sp. *tritici*) и фоновой обработкой гербицидом сплошного действия; ярового ячменя с различной численностью и степенью поврежденности личинками пьявицы краснотрудовой (*Lemna melanopus* L.).

Осуществлены наземные гиперспектральные измерения тестовых участков в широком диапазоне электромагнитного излучения от 0,35 нм до 2500 нм с высоким спектральным разрешением от 1 до 10 нм по всем типичным на момент съемки состояниям и фазам развития культурных и сорных растений.

Организованы испытания беспилотного летательного аппарата, укомплектованного гиперспектральной камерой. На основе обработки этих данных проведена работа по формированию библиотеки спектров сельскохозяйственных культур.

Проведен анализ изменения морфологии спектральных сигнатур растительных объектов в зависимости от их фактического состояния учетного во время полевых обследований на тестовых участках.

Одним из наиболее информативных и точных методов оценки изменения биохимических параметров растений является преобразование конкретных диапазонов спектра отражения в вегетационные индексы посредством элементарных математических операций.

В качестве первого шага к освоению методологии вегетационной индексации была проведена оценка информативности 15-ти общепринятых вегетационных индексов. Рассчитанные значения индексов подвергались статистической обработке посредством корреляционного анализа с целью получения их линейной зависимости от фактически учтенных фитосанитарных параметров растительных объектов.

Результаты гиперспектральных измерений, проведенных на тестовых участках выявили закономерности, отражающие корреляционные изменения степени поражения (повреждения) сельскохозяйственных культур вредными биообъектами, что определило обоснованность применения гиперспектральных технологий в целях осуществления фитосанитарного мониторинга агроэкосистем.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ VOLSATVIEW

¹А. В. Кашицкий, ²О. А. Гирина,
¹Е. А. Лупян, ³А. А. Сорокин, ²Д. В. Мельников, ²А. Г. Маневич, ¹И. А. Уваров,
³С. И. Мальковский, ³С. П. Королев, ⁴Л. С. Крамарева

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

³Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск

⁴Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета», г. Хабаровск

Эксплозивные извержения вулканов являются одними из опаснейших природных явлений. По данным вулканологов, из 36 действующих вулканов Камчатки и Северных Курил, ежегодно от трех до восьми находятся в состоянии извержения или активизации. Для оценки динамики активности вулканов с течением времени и изучения возможной их будущей опасности необходимо комплексное изучение каждого извержения. При этом, во многих случаях, мониторинг вулканической активности невозможен без применения информации, полученной со спутников ДЗЗ.

Для решения различных задач мониторинга вулканов с помощью информации ДЗЗ в 2011 г. совместными усилиями специалистов ИВиС ДВО РАН, ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН и ДЦ ФГУП НИЦ Планета была

создана информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил VolSatView (ИС VolSatView)». Эта система позволяет работать с данными различных спутников ДЗЗ, метеорологической информацией и инструментальной информацией наземных сетей наблюдений, проводить совместный анализ различных данных. В ИС VolSatView доступна как оперативно получаемая информация с большого числа российских и зарубежных спутников, так и долговременные архивы данных ДЗЗ, а для ее использования требуется лишь наличие web-браузера.

Доклад посвящен этой информационной системе и ее возможностям на настоящий момент. В нем рассказано о доступной в ИС VolSatView спутниковой информации ДЗЗ, имеющихся инструментах ее анализа и обработки, а также приводятся примеры практического использования системы.

При создании ИС VolSatView использовались ресурсы Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», работа которого осуществляется при поддержке ФАНО (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00042).

ОРГАНИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ЦЕНТРОВ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ b2b-СЕТИ

*И. И. Шуклин, В. А. Крылов, А. В. Спирин,
Научно-исследовательский испытательный центр федерального
государственного унитарного предприятия
«18 Центральный научно-исследовательский институт»
Министерства обороны Российской Федерации, г. Курск*

В настоящее время возрастает число прикладных задач, решаемых в организациях, ведомствах и на предприятиях России с использованием данных ДЗЗ. Это потребовало наращивания возможностей орбитальной группировки средств мониторинга земной поверхности, наземных центров и комплексов приема, обработки и распространения

(НЦПОР) данных ДЗЗ. В частности, для производства и предоставления потребителям широкой номенклатуры продуктов ДЗЗ различных уровней их обработки формируется ЕТРИС. Реализуя современные подходы к формированию наземной инфраструктуры приема, хранения, обработки и распространения данных, эта система должна объединить территориальные и ведомственные НЦПОР, интегрировать их информационные ресурсы в единое геоинформационное пространство.

Вопросы проведения наземной фотограмметрической обработки (ФГО) космических изображений местности к настоящему времени проработаны достаточно глубоко. Но, в силу конечности технических возможностей НЦПОР, в условиях постоянного роста объемов получаемых данных ДЗЗ, они не всегда будут способны своевременно выполнить требования потребителей в части их тематической обработки, в том числе фотограмметрической. В это же время аппаратные, программные и информационные ресурсы ФГО территориальных и ведомственных НЦПОР могут оставаться невостребованными. В случае же самостоятельного выполнения заявок на предоставление данных ДЗЗ территориальными и ведомственными НЦПОР, имеющиеся в них ресурсы для выполнения ФГО могут оказаться недостаточными.

В докладе предложена организация совместного функционирования НЦПОР различной ведомственной принадлежности при обслуживании потока заявок на получение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в соответствии с концепцией самоорганизующейся b2b-сети.

Показано, что НЦПОР обладают следующими основными особенностями:

- 1) отсутствие механизмов стимулирования НЦПОР в части предоставления друг другу имеющихся ресурсов для выполнения ФГО;
- 2) наличие в ряде НЦПОР тех или иных ограничений на предоставление имеющихся ресурсов для выполнения ФГО другим НЦПОР;
- 3) наличие коалиций НЦПОР и заданных на них иерархий, обусловленных их принадлежностью одному министерству (ведомству).

В основе механизмов стимулирования ряда НЦПОР в предоставлении своих ресурсов центрам другой ведомственной или иной принадлежности предполагается использовать процедуры «покупки» (аренды) простаивающих ресурсов других НЦПОР. Другие приведенные выше особенности планируется учитывать посредством использования совокупности продукционных правил функционирования подсистем ФГО.

Модель самоорганизации b2b-сети носит обобщенный характер,

что позволяет использовать ее в различных областях. Вместе с тем, практическое применение этой модели в сети НЦПОР требует ее развития в части учета приоритетов поступающих заявок, а также возможностей использования механизмов стимулирования НЦПОР к предоставлению друг другу имеющихся ресурсов при «нефинансовой оплате». Использование производственных правил позволяет задать порядок взаимодействия НЦПОР различной принадлежности при совместном выполнении заявки.

Отметим, что после определения исполнителей для каждой заявки не осуществляется поиск более выгодных предложений. Этим обеспечивается снижение частоты переформирования расписаний узлов b2b-сети, что позволяет достичь устойчивости процессов самоорганизации обслуживания потока поступающих заявок.

Таким образом, предложенный подход предусматривает совместное использование ресурсов всех НЦПОР различной принадлежности, входящих в b2b-сеть, для выполнения любой из поступивших заявок. Это обеспечено путем организации взаимодействия различных НЦПОР как узлов b2b-сети, основанного на «механизмах» самоорганизации функционирования НЦПОР с учетом характеристик потока заявок, свойств обрабатываемых изображений местности и режимов функционирования этих НЦПОР. Привлечение «простаивающих» ресурсов НЦПОР различной принадлежности при обслуживании потока заявок на получение данных ДЗЗ обеспечивает повышение обслуживания количества заявок в единицу времени.

АЛГОРИТМЫ УЛУЧШЕНИЯ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ВЫХОДНОЙ ПРОДУКЦИИ СИСТЕМ ДЗЗ

*П. Н. Светелкин,
Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань*

Съемочная аппаратура космического аппарата «Ресурс-П» выполняет съемку подстилающей поверхности в панхроматическом и нескольких мультиспектральных диапазонах.

В практике обработки видеоданных дистанционного зондирования Земли используется повышение визуального качества изображений. Для снимков от космического аппарата «Ресурс-П» потребителями были предъявлены такие же требования.

При геометрических преобразованиях возможно снижение качества выходной продукции, поэтому для сохранения качества используется кубическая интерполяция. Дополнительно при трансформировании рассчитывается оптимальный размер пикселя, что позволяет сохранить пространственное разрешение снимка.

Для повышения четкости одноканальных изображений уровней обработки 1А, 2А, 2В были подобраны параметры линейной фильтрации по маскам с размерами 3×3 , 5×5 , 7×7 . Для цветных изображений уровней обработки 1А1, 2А1, 2В1 фильтр повышения четкости применяется поканально. Показано, что при получении паншарпинга из продуктов уровней 1 и 2 фильтр повышения четкости нужно применять только для панхроматического снимка, а не поканально.

Дополнительная обработка по улучшению изобразительных свойств сохраняет измерительные свойства изображений, так как не изменяет средней яркости объектов снимков. Приводятся оценки временных затрат предложенных алгоритмов обработки.

Для оценки качества результатов обработки использовался визуальный анализ и оценка линейного разрешения на местности снимка.

В докладе приводятся примеры, иллюстрирующие результат работы алгоритма повышения четкости на видеоданных от космического аппарата «Ресурс-П», а также численные оценки повышения пространственного разрешения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАРУШЕННОСТИ ЛЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

*Ю. А. Полевщикова,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Поволжский государственный технологический университет»,
г. Йошкар-Ола*

В последние десятилетия глобальные изменения на планете затрагивают важные биологические процессы в лесных насаждениях, приводя к снижению их устойчивости и нарушенности, что отражается также на лесохозяйственной деятельности и при принятии решений в области экологических проблем. Современные подходы к изучению

нарушенности лесного покрова в значительной степени основаны на долгосрочном мониторинге и пространственно-временном анализе динамики лесного покрова.

На примере Среднего Поволжья была проведена оценка нарушенности лесного растительного покрова за 1985 – 2014 гг., охватывающая территорию республик Марий Эл, Чувашии, Татарстана и Нижегородской области. Для проведения классификации и тематического картирования подобрана серия разновременных мультиспектральных спутниковых снимков среднего разрешения системы Landsat за исследуемый период времени. Получена интегрированная карта современного состояния лесов и их нарушенности, которая представляет пространственную корреляцию исследуемых мультиспектральных данных. В работе использован алгоритм оценки распределения и пространственной взаимосвязи (автокорреляции) объектов лесного покрова, полученный на основе многофакторного анализа данных. Для каждого из исследуемых факторов рассчитывалась плотность пространственного распределения оцениваемого явления (фактора) и его весового коэффициента. Ситуационные карты, созданные в программном комплексе ArcGIS 10.3 методом двумерного статистического анализа (Bivariate statistical analysis), показывают изменения в лесном покрове и их отсутствие на объектах местности с течением времени. Полученная тематическая карта динамики лесного покрова отражает пространственное распределение классов – уменьшения, увеличения и неизменное состояние лесного покрова на территории исследования. В результате анализа тематической карты нарушенности лесного покрова за период 1985 – 2014 гг. установлен низкий уровень лесных нарушений в Нижегородской области (4,6%) и высокий уровень нарушений на северной части сцены спутникового снимка, где расположена Республика Марий Эл (59,8%). Наибольшая площадь нарушенности лесного покрова выявлена за период с 2010 по 2014 гг. Проведенный мониторинг нарушенности лесного покрова по интегрированной карте современного состояния лесов показал пространственную неоднородность нарушений на лесной территории. Наиболее выраженные участки нарушенности представлены на территории Медведевского района Республики Марий Эл, где были охвачены пожарами огромные территории лесных насаждений. Закономерность неслучайности данных явлений обуславливается их проявлением на определённых участках возрастной структурой насаждений и развитостью дорожной инфраструктуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант № МК-675.2018.5).

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРЯМОЙ ОЦЕНКИ ЛИНЕЙНОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ ПРИ ВАЛИДАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ НАЗЕМНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ

¹В. А. Ермаков, ¹О. А. Левичев, ²В. А. Мороз, ³В. А. Пантюшин,

¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

²АО «СТТ групп», г. Москва

*³ Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Государственный университет по землеустройству, г. Москва*

В настоящее время возрастает потребность и спрос в материалах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) сверхвысокого разрешения, получаемых с помощью малых космических спутников, как у нас в стране, так и за рубежом.

В целях доведения до потребителей материалов ДЗЗ с заданными характеристиками, актуальной становится задача объективного подтверждения точности получаемых результатов ЦА КК ДЗЗ от срока проведения летных испытаний и до завершения эксплуатации КК в орбитальной группировке в целом.

Вопросы проведения валидации и калибровки ЦА КА ДЗЗ считаются важнейшими и на международном уровне. Так, в международном комитете по спутниковым наблюдениям Земли CEOS (Committee on Earth Observation Satellites – CEOS) создана рабочая группа по калибровке и валидации Working Group on Calibration and Validation (WGCV).

Проведение валидации и калибровки зарубежных КА ДЗЗ осуществляется через международные калибровочные полигоны.

Состав зарубежного калибровочного полигона, требования к его расположению, характеристикам и параметрам его объектов определяются в соответствии с требованиями CEOS, а также математическим описанием построения изображения ЦА КК ДЗЗ и определением проверки основных ее характеристик: пространственно-частотных, радиометрических и геометрических. На основе проведенных испытаний ЦА КА ДЗЗ определяются показатели, необходимые для выполнения валидации, а также временной интервал их проверки и допустимые

отклонения. На основании полученных данных разрабатывается «План проведения валидации и калибровки ЦА КА ДЗЗ».

Наземные измерения, проводимые на зарубежных калибровочных полигонах, выполняются в соответствии с требованиями по точности измерений Всемирной метеорологической организацией GCOS WMO.

Полученные измерения оформляются и заносятся в базу данных в соответствии с требованиями международного комитета по спутниковым наблюдениям Земли CEOS и через открытый сервис (<http://calvalportal.ceos.org>), распространяются по запросам потребителей.

В 2010 году Госкорпорация «Роскосмос» вошла в состав рабочей группы по калибровке и валидации WGCV международного комитета CEOS.

Для решения задач, связанных с валидацией и калибровкой ЦА КА ДЗЗ в соответствии с Федеральной Космической программой России на 2016 – 2025 гг., в нашей стране под управлением Госкорпорации «Роскосмос» создается многофункциональная система сквозного контроля качества (МСКК). Разработка и модернизация МСКК проводится в соответствии с опытно-конструкторскими работами (ОКР) «Регион-В-Валидация-РК» и «Валидация-РК25», ГОСТ Р 8.890-2015.

В соответствии с требованиями ОКР «Регион-В-Валидация-РК» и «Валидация-РК25» к составу, назначению и порядку применения МСКК, в варианте структуры МСКК в состав тестовых участков входят наземные тест-объекты с заданными характеристиками с целью подтверждения и оценки радиометрических характеристик и линейного разрешения на местности ЦА КА ДЗЗ видимого диапазона.

Успешное выполнение задач валидации и калибровки решается с помощью учета максимальных факторов, влияющих на формирование изображения, и в дальнейшем описываемых на этапе проектирования ЦА КА ДЗЗ с помощью методов и средств аналитического и имитационного математического моделирования.

Расчетные параметры позволяют учесть влияние параметров ЦА КА ДЗЗ, спектральных оптических характеристик объектов и внешних условий наблюдения на качество полученного снимка.

К параметрам, характеризующим объект наблюдения, относятся коэффициенты отражения фона и штриха (ρ), контраст (K) и пространственная частота (ν). Внешние условия наблюдения характеризуются высотой солнца (h_0), спектральной облученностью единицы поверхности на входе в атмосферу ($E_0(\lambda)$), коэффициентами пропускания ($\tau_{\text{атм}}(\lambda)$) и прозрачности атмосферы (T).

Рассмотренные условия построения изображения позволяют определить показатели ЦА и условия проведения измерений, сформировать состав наземного тест-объекта с заданными характеристиками, комплексную методику проводимых измерений, а также привлекаемое оборудование для измерений и порядок обработки данных.

По полученным данным контролируются показатели приземистого слоя атмосферы, метеоданных, готовности тест-объекта к измерениям, коэффициенты яркости фона и штриха, коэффициенты энергетической яркости, деградации тест-объекта.

Разработанные предложения позволяют повысить качество прямой оценки ЛРМ и внести уточнения в расчетные формулы вычисления величины полученного сигнала (S) и числа электронов $N_{(e)}$ накопленных фотоприемным устройством ЦА КК ДЗЗ.

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ АВРОРАЛЬНЫХ ЭМИССИЙ С ОРБИТ ОДНОВРЕМЕННО С ИЗМЕРЕНИЯМИ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЫ И ЕЕ РОЛЬ В ИССЛЕДОВАНИЯХ И КОНТРОЛЕ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЕ

¹А. К. Кузьмин, ¹О. Л. Вайсберг, ¹А. Ю. Шестаков,
¹С. Д. Шувалов, ²Г. М. Крученицкий, ²Ю. Н. Потанин,
³П. П. Моисеев, ⁴М. А. Баныщикова
¹ИКИ РАН, г. Москва

²ЦАО Росгидромет, г. Долгопрудный, Московская область

³НПП Астрон Электроника, г. Орел

⁴Томский Государственный Университет, г. Томск

Результаты орбитальных и наземных комплексных исследований, проводимых в последнее десятилетие, показали, что вся полярная ионосфера (как северный авроральный овал, так и южный, включая касп и полярные шапки) Земли – это естественная лаборатория для изучения механизмов мерцаний (флуктуаций) радиосигналов на частотах навигационных систем, периодически пересекающих дрейфующие неоднородности электронной концентрации и авроральные структуры разных масштабов на разных высотах (от 100 до 400 км) в разных условиях ММП и особенно во время геомагнитных возмущений.

Представляются предварительные характеристики разрабатываемых приборов перспективного малого аппаратного комплекса «Аврора» [1], элементы методики наблюдений авроральных процессов и диагностики состояния полярной ионосферы с орбит малых КА. Рассматриваются технические требования к МКА и служебной аппаратуре со стороны приборного комплекса Аврора, и к параметрам их орбит и ориентации. Анализируются примеры результатов, полученных комплексами аппаратуры с орбит и поверхности Земли, и их корреляции с характеристиками сигналов навигационных систем в F - и E -областях полярной ионосферы во время геомагнитных возмущений в локальных секторах местного времени.

ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ СИСТЕМНОГО КОСМО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В КОНТЕКСТЕ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО АТЛАСА АРКТИКИ

*С. К. Белоусов, С. С. Карпунин, Ю. И. Носенко,
АО «Научно-исследовательский институт точных приборов», г. Москва*

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации В. В. Путина от 29.06.2014 № Пр-1530 и поручением Правительства Российской Федерации от 15.07.2014 г. № АХ-П9-5271 большим коллективом организаций-соисполнителей под руководством АО «Роскартография» создан Национальный атлас Арктики (далее – НАА). Атлас представляет собой новейшую информационно-картографическую систему, в которой собраны и обобщены самые современные знания о природно-хозяйственной среде важнейшего макрорегиона России – Арктической зоне Российской Федерации (далее – АЗРФ). Характерной особенностью НАА является его междисциплинарный характер.

Помимо разработки Концепции и Программы создания НАА авторы доклада являются разработчиками таких важных разделов атласа, как «Районы Арктической зоны Российской Федерации с высокой антропогенной нагрузкой» и «Исследование Арктики космическими методами» (второй раздел разрабатывался совместно с представителями НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы» и АО Госцентра «Природа»). В первом из вышеназванных разделов атласа, в частно-

сти, был проведен ретроспективный анализ районов опасного антропогенного воздействия на природные системы так называемых «импактных районов» – старопромышленных кластеров АЗРФ: Западно-Кольского, Норильского и Ямало-Ненецкого.

АЗРФ имеет огромное значение для социально-экономического развития, обороны и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации. На сегодняшний день – это важнейший геостратегический район. Помимо формирования опорных зон развития, создания условий для превращения Северного морского пути в транспортную магистраль международного значения в АЗРФ формируются специализированные воинские подразделения, оборудуются военные базы, восстанавливается военная инфраструктура. Указанные виды деятельности требуют развитого комплексного информационного обеспечения.

Принципиальным аспектом комплексного информационного обеспечения социально-экономического развития, обеспечения обороны и безопасности является возможность оперировать разнообразными пространственными данными. Наиболее наглядным способом представления пространственных данных является их картографическое отображение. Достоверное, актуальное и подробное информационно-картографическое обеспечение (ИКО) оказывается необходимым условием эффективной поддержки принятия управленческих решений. В то же время имеет место все возрастающее противоречие между возрастающими потребностями субъектов управления в актуальных картографических материалах, обладающих свойством обобщенного комплексного отображения сложных природно-хозяйственных и военных систем и недостаточностью научно-методических и технических решений, обеспечивающих их подготовку в условиях технологических и ресурсных ограничений.

В качестве нового подхода к совершенствованию ИКО органов государственной власти (включая органы военного управления) предлагается разработка системного космо-картографического мониторинга (СККМ) АЗРФ. Система предусматривает, помимо увеличения арктической орбитальной группировки спутников: осуществление специального районирования, комплексную оценку природно-хозяйственной среды, определение состава, необходимой номенклатуры и создание оригинальных картографических материалов.

Оптимизация ИКО АЗРФ представляет собой комплексную задачу по минимизации системы карт, необходимых для качественной под-

держки развития территорий, и по уменьшению трудовых и материальных затрат. Отработаны следующие направления оптимизации ИКО:

Территориальная дифференциация структуры ИКО. Осуществлено природно-хозяйственное районирование АЗРФ. По его результатам решается проблема подробности и периодичности СККМ.

Широкое применение синтетического картографирования.

Мультимасштабный подход. Достигается увеличение информативности ИКО при соответствующем уменьшении размерности задачи.

Максимальная автоматизация проведения СККМ.

Проектируемая структура СККМ предполагает набор основных структурных блоков и информационных связей, обеспечивающих проведение мониторинга от этапа постановки задачи до использования полученных картографических материалов в процессе принятия управленческих решений.

МОНИТОРИНГ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕЛИОФИЗИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ СОЛНЦА КОСМИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ИЗ ТОЧКИ ЛАГРАНЖА L5

¹С. А. Богачев, ²А. В. Карелин, ¹С. В. Кузин, ²В. А. Шувалов, ²А. А. Яковлев,

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Физический институт им. П. Н. Лебедева»

Российской академии наук, г. Москва,

²ФГУП «Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения», г. Королев

Качество информации о текущем и прогнозируемом состоянии геофизической обстановки, которая предоставляется действующими центрами космической погоды, является не вполне удовлетворительным. Главной проблемой является неполнота исходных данных, что не позволяет построить достоверный прогноз даже с привлечением космических средств. Данные с борта космических аппаратов (КА), которыми пользуются отечественные службы, имеют преимущественно иностранное происхождение и поставляются, главным образом, из околоземного космического пространства. Более информативными являются удаленные от Земли космические аппараты SOHO и ACE, расположенные в точке Лагранжа L1. С такой орбиты, однако, они наблюдают активные солнечные области лишь вблизи центра солнеч-

ного диска, когда они уже вышли на линию Солнце-Земля. Для разработки надежного прогноза требуется наблюдать эти же центры активности за несколько дней до того, как они входят в поле зрения с Земли. Иными словами, требуется взять под контроль не только центр, но и невидимую с Земли восточную сторону Солнца.

Оптимальным местоположением для размещения такого комплекса измерительных средств, по нашему мнению, является устойчивая гало-орбита вблизи точки Лагранжа L5.

Точка L5 системы Солнце-Земля расположена в плоскости эклиптики в 60 градусах от линии Солнце – Земля. Так как синодический период вращения Солнца равен 27 дней, то размещенная в L5 целевая аппаратура сможет регистрировать центры солнечной активности за 4 – 5 дней до того, как они станут доступны аппаратам, работающим в точке L1. Заблаговременность надежного гелиофизического прогноза при этом возрастает от текущих 24 – 3 дней до 64 – 8 дней. Никакие другие средства в настоящее время не способны дать сравнимые результаты.

Мы обращаем внимание, что современные модели гелиофизического прогноза существенно отличаются от моделей 204 – 30 летней давности, которые были основаны на наблюдениях солнечных пятен или радиоизлучения в линии 10,7 см. В наши дни настоящее время главным инструментом для гелиофизического прогноза являются прямые измерения магнитного поля на солнечном диске. Эти данные затем прямо используются для расчета избытка свободной энергии в короне Солнца и для оценки вероятности выброса этой энергии в виде взрывного процесса – солнечной вспышки. Нельзя при этом не обходимо отметить, что ряд государственных заказчиков гелиофизического прогноза игнорируют этот прогрессивные модели и по-прежнему оперируют устаревшими моделями, которые существенно уступают тем, которые то созданы и используются в NASA.

Мы полагаем, что при разработке проектного облика целевого комплекса аппаратуры для точки L5 должны быть приняты во внимание эти отмеченные выше изменения в методическом подходе. Это означает, что основной задачей мониторинга должна быть задача обнаружения, локализации, развития и распада активных областей и центров концентрации магнитного потока. Также нельзя пренебрегать современными данными о том, что главным фактором влияния на геомагнитную обстановку являются не вспышки на Солнце, а корональные выбросы массы. Эта компонента солнечной активности практически

выпала из поля зрения отечественных программ (или отодвинута на их обочину), что должно быть устранено.

В целом, по нашему мнению, в качестве главных целевых задач для комплекса аппаратуры в точке L5 должны быть приняты следующие задачи:

- мониторинг динамики поверхностного магнитного поля Солнца;
- мониторинг появления и эволюции центров солнечной активности в короне;
- мониторинг высокотемпературной солнечной плазмы (5·10⁷ К и выше);
- мониторинг корональных выбросов массы.

Предварительно в докладе обосновано, что указанные задачи могут быть решены комплексом аппаратуры из 4-х приборов: солнечный телескоп, высокотемпературный спектрогелиометр, оптический коронограф, изображающий магнитометр.

СЕКЦИЯ 6. АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОДА

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ

*С. А. Матвеев, А. В. Горбунов, Н. С. Слободзян,
ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург*

МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ ШИРОКОУГОЛЬНЫХ СВОЙСТВ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

*О. И. Ястребцова,
Московский технический университет связи и информатики, г. Москва*

Применение микрополосковых антенных решеток, состоящих из значительного количества элементов, сопряжено с возникновением эффекта «ослепления», который напрямую связан с возбуждением в диэлектрической подложке поверхностных волн.

В приближении бесконечной антенной решетки угол сканирования, при котором может возникнуть «ослепление», определяется как угол,

при котором в решетке устанавливается фазовое распределение, совпадающее в местах расположения излучателей с фазой поля поверхностной волны. Таким образом, угол «ослепления» и, следовательно, допустимый сектор углов сканирования, определяется параметрами диэлектрической подложки и расстоянием между излучающими элементами. При использовании в качестве подложек обычных диэлектриков ослепление может возникать при углах, достаточно близких к направлению, перпендикулярному поверхности решетки. Например, при полуволновом расстоянии между излучающими элементами и подложке с относительной диэлектрической проницаемостью 4,5 толщиной $0,075\lambda$ ослепление возникает уже при угле сканирования 18° при толщине подложки $0,1\lambda$ – при 10° при $0,125\lambda$ – при 1° , при $0,15\lambda$ – при 11°

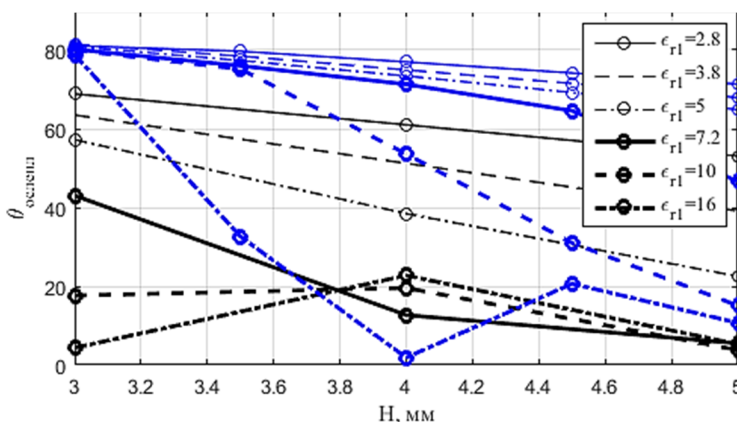


Рис. 1. Углы «ослепления» в зависимости от параметров диэлектрической подложки

Для улучшения широкоугольных свойств микрополосковых антенных решеток предлагается использовать метод перехода от однослойной диэлектрической подложки к двухслойной, что позволяет получить дополнительные степени свободы для оптимизации фазовых постоянных поверхностных волн.

На рис. 1 приведены графики углов «ослепления», ближайших к направлению, перпендикулярному поверхности решетки, для диэлектрических подложек из ФЛАН (фольгированный листовый арилокс наполненный) в зависимости от толщины подложки. Черными линия-

ми изображены углы «ослепления» для однослойных подложек, синими – для двухслойных подложек. По горизонтальной оси отмечена толщина слоя для однослойной подложки и суммарная толщина обоих слоев для двухслойной подложки. Для двухслойных подложек в качестве нижнего, прилегающего к экрану слоя, для примера была взята воздушная прослойка толщиной 2 мм, верхний слой выполнен из тех же материалов, что и для однослойных подложек. Частота была взята равной 8,2 ГГц, расстояние между излучающими элементами – полуволновое. Из рис. 1 видно, что в ряде случаев происходит улучшение широкоугольных свойств при переходе к двухслойной подложке по сравнению с однослойной подложкой той же толщины.

На рис. 2 приведены частотные зависимости углов «ослепления», ближайших к направлению, перпендикулярному поверхности решетки, для трех точек рис. 1. Рассматривалась полоса 10%, т. е. 8,2 ГГц $\pm$ 410 МГц. Обозначения кривых совпадают с обозначениями на рис. 1, т. е. черные кривые – однослойные подложки, синие – двухслойные.

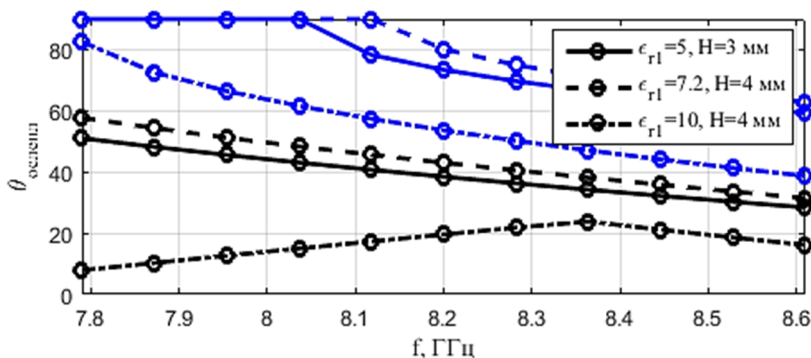


Рис. 2. Изменение углов «ослепления» при изменении частоты

На основе рис. 2 можно сделать вывод, что переход к двухслойным диэлектрическим подложкам не приводит к усилению частотной зависимости эффекта «ослепления» по сравнению с однослойной подложкой.

Таким образом, в работе предлагается метод улучшения широкоугольных свойств микрополосковых антенных решеток путем перехода от однослойной подложки к двухслойной. При соответствующем образом подобранных параметрах диэлектрических слоев это позволяет добиться расширения сектора сканирования без увеличения суммарной толщины подложки.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РУПОРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ РАСКРЫВА

*Нгуен Динь То, Фам Ван Винь,
А. И. Гиголо, С. Г. Кондратьева, П. А. Шмачилин,
МАИ (НИУ), г. Москва*

В современных системах непосредственного телевизионного вещания, включающих в себя как приемные антенны пользователей, так и прямо-передающие антенны специального телевидения с функцией ретрансляции, в настоящее время наметился переход от апертурных антенн к антенным решеткам.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к антеннам телевизионных систем, является их компактность. Это требование, как правило, реализуется технологией изготовления антенного полотна и распределительной системы. На сегодняшний день в России и за рубежом широкое распространение получили две технологии изготовления антенн: печатная (микрополосковая) и технология гальванопластики. Фотографии антенных решеток, применяемых в системах телевизионного вещания, показаны на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Микрополосковые приемные антенные решетки спутникового телевидения, работающие в диапазоне 10,70 – 12,75 ГГц

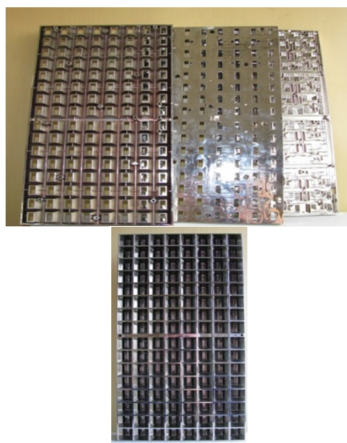


Рис. 2. Фотография антенного полотна и распределительной системы приемной антенной решетки, выполненной по технологии гальванопластики

В докладе рассматриваются три типа излучателей, обеспечивающих широкополосную двухдиапазонную работу, а также приведены зависимости КСВ от частоты для рупорных антенн с эллиптическим и крестообразным раскрывом. В плавном переходе от прямоугольного волновода к раскрыву эллиптической формы происходит изменение структуры поля, что приводит к появлению кросс-поляризационных составляющих в раскрыве. Наличие кросс-поляризационных составляющих уменьшает развязку между передающим и приемным каналами. Это уменьшение незначительное, поскольку кроссполяризационные составляющие появляются только на краях раскрыва рупора.

В докладе показаны аппроксимации рассматриваемых эллиптических раскрывов передающего и приемного каналов эллипсами с малым эксцентриситетом. Для расчета компонент поля использованы асимптотические выражения для функций Матье для аргумента, заключенного в интервале от минус 90 до плюс 90 градусов, что соответствует поставленной задаче.

Таким образом, разработаны модели рупорных излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва. Проведена параметрическая оптимизация излучателей. Определены оптимальные размеры элементов антенной решетки по критерию наилучшего согласования. Рассчитаны варианты элементов, заполненных диэлектриком. Такое заполнение позволяет не только уменьшить размеры элементов, но и учесть влияние защитного покрытия излучателей. Проведена параметрическая оптимизация излучателя в виде рупора с эллиптической формой.

Получены частотные характеристики и характеристики направленности излучателей в двух частотных диапазонах работы антенной системы спутникового телевидения.

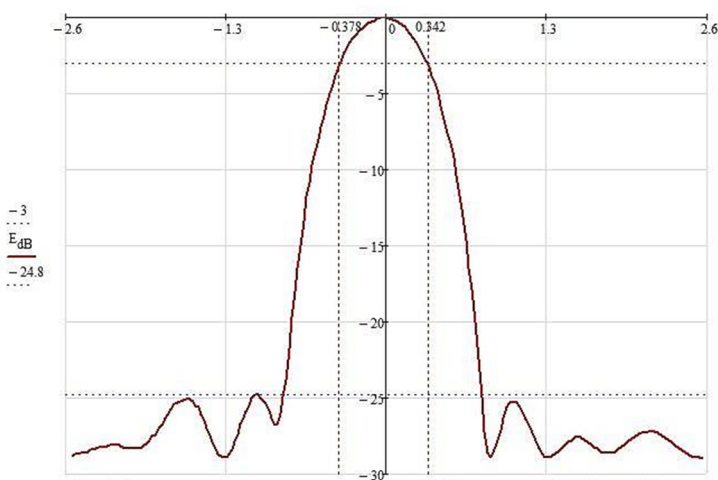
Разработана методика приближенного расчета характеристик направленности излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва, позволяющая определить характеристики направленности многоэлементных антенных систем.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ПРИЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ КА ДЗЗ В ПЕРИОД ВВОДА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

*А. К. Гончаров, С. В. Кучер, С. И. Мартынов,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

Коэффициент усиления антенны – важнейший параметр приемного комплекса, определяющий возможность использования данного ком-

плекса для приема информации с конкретного КА ДЗЗ. Этот параметр необходимо знать при планировании сеансов приема, а также при проектировании оснащения для вновь создаваемых приемных центров ЕТРИС. Измерения параметров антенн в период разработки и изготовления могут производиться на антенных полигонах или в безэховых камерах; и то, и другое – крайне дорогостоящие и трудоемкие операции. К тому же, при этом остается открытым вопрос сохранности параметров после монтажа на месте постоянной эксплуатации, а также их деградации в процессе эксплуатации.



**Запись сигнала, принимаемого антенной ПК-3,6
при пролете КА «Ресурс-П»**

Для контроля параметров антенны в период эксплуатации необходимы методы, не требующие демонтажа антенны и радиочастотного тракта приемного устройства. В настоящей работе предлагаются методы измерения диаграммы направленности приемной антенны с использованием в качестве источников опорного излучения действующих КА ДЗЗ, работающих в требуемом диапазоне частот, после чего по известным формулам определяется коэффициент усиления. Если используется излучение геостационарного КА (например, «Электро-Л»), то измерение диаграммы направленности сводится к измерению уровня принимаемого сигнала при отведении антенны на заданный угол по двум осям в картинной плоскости. Если используется излучение низ-

колящего КА, то антенна устанавливается в упрежденную точку, производится запись сигнала от пролетающего КА, после чего время пересчитывается в угол по баллистическим данным, при этом получается одно сечение диаграммы направленности. Для вычисления коэффициента усиления необходимы два сечения по ортогональным осям, для чего производится несколько измерений на восходящих и нисходящих витках.

Пример записи сигнала, принимаемого антенной приемного комплекса ПК-3,6 при пролете КА «Ресурс-П» приведен на рисунке. Масштаб по горизонтальной оси – в угловых градусах, по вертикальной – в децибелах, приведен к нулю в главном максимуме. Ширина диаграммы направленности по уровню – 3 дБ равна 0,72 град, уровень первого бокового лепестка – минус 24,8 дБ.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АФУ ТКС НА ПРИМЕРЕ КА СЕРИИ «КАНОПУС-В»

*А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов,
АО «НИИЭМ», г. Истра*

22 июля 2012 г. с космодрома Байконур состоялся успешный запуск малого космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Канопус-В» № 1 и Белорусского КА, спроектированных на базе платформы «Канопус-В». Основным достоинством данного КА является использование модульного принципа его построения (служебная платформа и полезная нагрузка).

Подтверждением этому является создание на базе данной служебной платформы еще нескольких КА: КА ДЗЗ для обнаружения мало-размерных очаговых пожаров «Канопус-В-ИК» (дата запуска 14.07.2017) и КА научного назначения «Ломоносов» («Михайло Ломоносов») (дата запуска 28.04.2016). 1 февраля 2018 г. состоялся запуск КА «Канопус-В» № 3 и № 4 с космодрома Восточный, а 27 декабря 2018 г. КА «Канопус-В» № 5 и № 6.

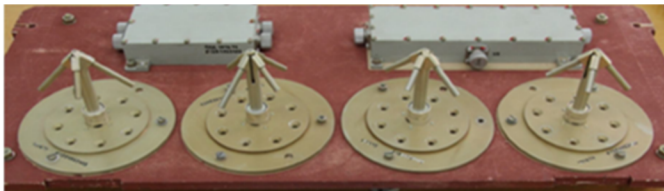
На борту приведенных выше КА применяется телекомандная система (ТКС) дециметрового диапазона.

С учетом особенностей бортовых антенно-фидерных устройств (АФУ) КА и конфигурации КА, спроектированных на базе платформы «Канопус-В», в АО «НИИЭМ» была разработана антенная система для ТКС, которая включает в себя:

- приемные антенны;
- передающие антенны;

- кабельную сеть;
- делители мощности.

Антенная система без кабельной сети представлена на рисунке.



**АФУ ТКС для КА, спроектированных на базе
космической платформы «Канопус-В»**

Разработанное АФУ ТКС обеспечивает:

- постоянное подключение двух штатно включенных приемников ТКС к обеим диаметрально расположенным на КА антеннам АФУ приемного канала;
- постоянное подключение основного и резервного передатчиков ТКС к обеим диаметрально расположенным на КА антеннам АФУ передающего канала, при штатном включении одного из них.

В ходе анализа полученных результатов летных испытаний и последующей эксплуатации АФУ ТКС были рассмотрены варианты усовершенствования АФУ ТКС, направленные на улучшение характеристик антенн, а, следовательно, и радиолинии. Но при этом необходимым условием является сохранение механической прочности и надежности АФУ при минимальной стоимости доработки АФУ.

ОЦЕНКА СОГЛАСОВАНИЯ ШТЫРЕВОЙ АНТЕННЫ С ПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

¹Е. В. Окунев, ²А. О. Жуков,

¹Ю. А. Полушковский, ¹В. О. Скрипачев,

¹Федеральное государственное бюджетное некоммерческое учреждение
«Экспертно-аналитический центр», г. Москва

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,
г. Москва

Для приёма и передачи информации между небольшими стационарными (персональные радиоэлектронные системы, частные дома, систем беспроводного доступа в Интернет) и мобильными объектами

(автомобилями, катерами, беспилотными летательными аппаратами) для построения сетей мобильной связи важными элементами системы являются различные антенны. Как правило, на мобильных объектах применяется вертикальная штыревая антенна, которая обладает наименьшими габаритами и весом.

Важным аспектом работы штыревой антенны является её согласование с линией питания, а при размещении антенны на проводящей поверхности (металлический корпус мобильного объекта) – согласование с проводящей поверхностью. Как согласование с линией питания, так и согласование с проводящей поверхностью вносит изменения и в характеристики антенны и в её конструкцию.

Поэтому применяют различные виды согласования. В данной работе применялось так называемое гамма – согласование. («hairpin» согласование). Оно позволило получить хорошее согласование на проводящей поверхности при этом, антенна имеет малые габаритные размеры.

В результате проектирования были получены следующие характеристики:

- КСВ не более 1,5 в полосе частот 770 – 880 МГц;
- расчётный коэффициент усиления (КУ) на частоте 810 МГц равен 3,5 дБ.

Сравнение характеристик изготовленного образца, с расчётными модели показало высокую сходимость.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ГРАФОВ ФУНКЦИИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА В РЕЖИМЕ ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ ДЛЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ АО «КОРПОРАЦИЯ «ВНИИЭМ»

*В. Д. Бабишин, В. В. Некрасов, К. А. Соседко,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Создание микроконтроллерной системы управления двигателем-маховиком для высокодинамичных космических аппаратов на российской элементно-компонентной базе позволило сформулировать постановку задачи по поиску функции управления в режиме заданной скорости вращения ротора двигателя-маховика.

В данной работе реализован один из возможных вариантов математического исследования поставленной задачи, а именно решение ее с помощью структурного анализа, базирующегося на теории графов.

В рамках решения поставленной задачи был построен граф отработки новой требуемой скорости, а для рассмотрения варианта стохастического случая построены характеризующие его матрицы инцидентности и смежности.

Поставленная задача была решена с помощью степенной матрицы, преобразующей множество смежных матриц графа допустимых маршрутов решения, найдена функция управления в реальном масштабе времени.

По итогам проделанной работы осуществлены натурные испытания созданной функции управления скоростью вращения ротора двигателя маховика, построена математическая модель функции управления в реальном масштабе времени и сделаны выводы о возможности внедрения результатов данного исследования.

НОВЫЙ СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАЛОСЕРИЙНЫХ ЭЛЕКТРО- И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

¹А. П. Сарычев, ²Ю. М. Иньков, ¹Ю. Н. Черкасов, ¹А. В. Рогоза,
¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,
²МИИТ, г. Москва

Существующая практика оценки состояния БА КА такова, что решение о пригодности прибора по назначению принимают по результатам одного единственного результата измерения его параметров и проверки функционирования. Если результаты измерения в допуске (норма), принимают решение о пригодности прибора по назначению. Показано, что результаты измерений содержат большое число погрешностей, среди которых наиболее «опасными» являются мультипликативные погрешности при измерении динамических параметров, изменяющиеся с изменением параметра линейно и нелинейно. Предложено для динамических параметров использовать оценки параметров. Показано, что результат измерения и оценка параметра совсем не одно и то же. Оценки динамических параметров предложено вычислять методом математической фильтрации по квадратичному крите-

рию. Для этого целесообразно использовать рекурсивный фильтр Калмана, позволяющий оперативно получить оценку вектора состояния динамической системы в данный момент и его прогноз по предыдущему состоянию системы и полученному измерению. Достоинство фильтра Калмана, прежде всего, в стабильности ошибки оценивания при увеличении интервала между измерениями и оперирует он не только оценками состояния, а еще и оценками неопределенности (плотности распределения) вектора состояния. Алгоритм работает в два тапа. На этапе прогнозирования фильтр Калмана экстраполирует значение переменных, а также их неопределенности. На втором этапе по данным измерения (полученного с погрешностью) результат экстраполяции уточняется. Благодаря пошаговой природе алгоритма, он отслеживает состояние системы в реальном времени, используя только текущие замеры и информацию о предыдущем состоянии и его неопределенности.

СПОСОБ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСТАНОВОЧНЫХ РАЗМЕРОВ РЕЛЕ

*А. П. Сарычев, Ю. Н. Черкасов, А. В. Розога,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Реле является одним из традиционных видов продукции АО «Корпорация «ВНИИЭМ», поставляется по договорам в очень многие фирмы, а также находится в открытой продаже. Такая популярность этих реле объясняется их уникальными удельными характеристиками, которые находятся на уровне лучших мировых образцов аналогичного назначения. Следовательно, от качества реле зависит научно-технический авторитет ВНИИЭМ. Для подтверждения конкурентоспособности реле их ежегодно проверяют путем проведения так называемых периодических испытаний.

Среди этих испытаний есть проверка габаритных и установочных размеров реле. К сожалению, в нормативно-технической документации не указана технология измерения этих размеров. Измерить же установочные размеры, т. е. расстояние между центрами шпилек по длине и ширине напрямую физически невозможно, поскольку они расположены под углом к граням кожуха. Поэтому приходится измерять их косвенно.

В статье проведен сравнительный анализ возможных способов измерения установочных размеров реле и предложен способ базы. Раз-

работана технология измерения установочных размеров реле по способу базы, которая внедрена и используется при периодических испытаниях реле.

Тем самым восполнен пробел нормативно-технической документации. По этой технологии уже проводились измерения размеров реле. Она показала практичность, удобство, простоту использования и исключает ошибки испытателя.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

*А. И. Груздев,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Первые образцы ракетно-космической техники использовали Ag-Zn аккумуляторные батареи (АБ). Из-за низкого ресурса при циклической работе они были практически полностью вытеснены Ni-Cd и Ni-H₂ АБ, которые и сегодня, несмотря на низкую удельную энергоемкость, находят применение в системах электроснабжения (СЭС) космических аппаратов (КА). Дальнейшее развитие СЭС ракетно-космической техники связано с использованием литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ).

Впервые в космосе ЛИАБ были применены США в 1999 г. в скафандре, использовавшемся при работах на международной космической станции (МКС). В 2001 г. такая АБ была установлена на околоземном КА европейского космического агентства Proba-1. Она была изготовлена на базе литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) габарита 18650 в конфигурации 6S6P емкостью 9 А·ч. Сегодня ЛИАБ используются не только на автоматических, но и на пилотируемых КА и МКС (например, на МКС они планово заменяют находящиеся в эксплуатации Ni-H₂ АБ). Безопасность работы ЛИАБ обеспечивается многоуровневой системой защиты: КА, АБ, аккумуляторный модуль, ЛИА.

Межпланетные космические аппараты, посадочные модули и планетоходы также оснащены ЛИАБ, которые рассчитаны на эксплуатацию в экстремальных условиях. В настоящее время в СЭС всех новых околоземных КА также используются одна или несколько ЛИАБ. Хотя их работа протекает в достаточно комфортных токовых режимах и

умеренных внешних воздействиях, к ним предъявляются высочайшие требования по надежности, отказоустойчивости и сроку службы, который достигает 12 лет для низкоорбитальных применений и 18 и более лет для работы в составе геостационарных КА. При этом ЛИАБ низкоорбитальных КА должны обеспечить ресурс более 30 – 40 тысяч циклов заряда/разряда.

Двадцатилетний опыт эксплуатации ЛИАБ в космосе показал высокую эффективность и практическую безальтернативность их применения в СЭС всех типов автоматических и пилотируемых КА. Единственной реальной перспективой дальнейшего повышения энергетических и эксплуатационных параметров электрических накопителей для КА сегодня является совершенствование ЛИА и батарей на их основе, так как другие типы литиевых аккумуляторов пока не пригодны для практического использования.

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» на базе ЛИА габарита 18650 для низкоорбитальных КА разработаны батареи по своим технико-эксплуатационным параметрам конкурентоспособные с лучшими отечественными и зарубежными аналогами.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А. И. Груздев, М. С. Шевцов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Сегодня все более широкое применение в России и за рубежом получают космические системы дистанционного зондирования Земли на основе малых космических аппаратов (МКА). Система электроснабжения (СЭС) МКА является одной из важнейших обеспечивающих бортовых систем, во многом определяющая его срок активного существования (САС).

Для низкоорбитальных малых космических аппаратов из-за специфики выполняемых ими задач накладываются определенные требования к СЭС: реализация переменной циклограммы нагрузки, большого количества циклов заряда и разряда АБ, работа при отсутствии освещенности панелей БС в тени Земли, обеспечение повышенного уровня надежности и отказоустойчивости. Это обуславливает необходимость

определения оптимального варианта построения СЭС и заставляет разработчиков искать оригинальные технические решения, позволяющие повышать эффективность генерирования и преобразования энергии, надежность и ресурс СЭС.

Существующие варианты построения СЭС КА можно систематизировать по нескольким признакам:

- наличие преобразовательных устройств между солнечной батареей и аккумуляторной батареей;
- централизованная или распределенная система контроля и управления аппаратурой СЭС;
- нерегулируемое или регулируемое напряжение на шине питания;
- наличие режима и способ обеспечения работы солнечной батареи в точки максимальной мощности на вольтамперной характеристике.

Несомненно, что оптимизация традиционных архитектурных, схемотехнических и конструкторских вариантов проектирования СЭС, прежде всего, зависит от улучшения характеристик бортовых источников энергии, а именно фотоэлектрических преобразователей солнечного излучения в электричество и накопителей электрической энергии, составляющих 70 – 80 % ее массы. Однако, даже при самых совершенных источниках генерирования и накопления энергии СЭС может иметь неоптимальные характеристики из-за нерационального использования их возможностей. Поэтому во главе угла стоит задача выбора структуры построения СЭС, учитывающей наряду с характеристиками ее составных частей специфические требования и особенности конструкции и условия эксплуатации КА на орбите.

Целью настоящего доклада является анализ, систематизация и обоснование целесообразности использования определенных структурных схем построения СЭС, позволяющих обеспечить высокий уровень эффективности генерирования энергии на объектах, в зависимости от выполнения ими целевых задач и условий эксплуатации.

В докладе приводятся и обсуждаются проектные решения, позволяющие оптимизировать и увязать систему электроснабжения в единый энергетический модуль, с одновременным выполнением требований по надежности, отказоустойчивости и энергетической эффективности.

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В КОНТРОЛЕ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*А. П. Сарычев, Ю. Н. Черкасов, А. В. Рогоза,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Бортовую аппаратуру космических аппаратов при наземных испытаниях обязательно испытывают в камерах тепла и холода. Поддержание температурных режимов в камерах очень важно. Камеры, как правило, расположены в разных помещениях или даже в разных зданиях. Штатный способ контроля температуры в камерах заключается в обходе человеком всех камер, т. е. является сугубо автономным, точечным, выборочным, эпизодическим, вследствие чего имеют место неконтролируемые интервалы испытаний, что чревато крайне нежелательными последствиями, так как испытываемые изделия можно перегреть (даже сжечь) или переохладить (даже заморозить). Разработан и реализован новый способ контроля пространственно рассредоточенных камер тепла и холода – автоматический дистанционный стратифицированный телемониторинг на основе современных компьютерных технологий. Кратко описана впервые разработанная и реализованная в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» в промышленном варианте многоуровневая стратифицированная система телемониторинга для дистанционного контроля температуры в пространственно рассредоточенных камерах тепла и холода с одного рабочего места испытателя в реальном времени при тепловых испытаниях электротехнических изделий. В результате внедрения многоуровневой стратифицированной системы телемониторинга для контроля и регулирования температуры в пространственно рассредоточенных климатических камерах при испытании электротехнических изделий полностью исключены неконтролируемые интервалы испытаний, вследствие чего получен существенный экономический эффект.

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ИМИТАТОРЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

*Н. А. Белокурова, К. С. Осикова, А. Б. Захаренко,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Для разработки синхронных электрических машин с постоянными магнитами важны точные данные о значениях магнитной индукции на

поверхности постоянных магнитов. Известно, что распределение магнитной индукции постоянного магнита, расположенного вне магнитной системы (рис. 1), сильно отличается от распределения индукции магнита, размещенного внутри магнитной системы магнитоэлектрической машины. Также сильно отличается характер и величина магнитного поля.

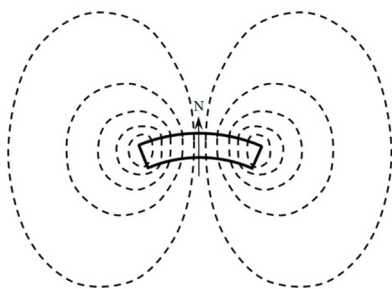


Рис. 1. Силовые линии постоянного магнита вне магнитной системы

Наиболее точным способом измерения распределения магнитной индукции постоянного магнита является измерение при его размещении в магнитной системе реальной магнитоэлектрической машины. Иногда это сделать невозможно по следующим причинам:

- 1) малая величина зазора между статором и ротором магнитоэлектрической машины часто не позволяет ввести в него щуп тесламетра;
- 2) на этапе входного контроля постоянных магнитов магнитная система магнитоэлектрической машины еще не укомплектована в связи с отсутствием необходимых компонентов;
- 3) размещение (и последующее снятие не прошедших входной контроль) постоянных магнитов на роторе магнитоэлектрической машины связано с необходимостью переработки подшипниковых узлов.

Решением данной проблемы может являться измерение магнитной индукции постоянных магнитов с использованием имитатора магнитной системы магнитоэлектрической машины и датчика магнитного поля (датчика Холла, помещенного в щуп тесламетра) без использования магнитной системы магнитоэлектрической машины (рис. 2). Имитатор магнитной системы состоит из внешнего 5 и внутреннего 4 магнитопровода с размещенными на нем постоянными магнитами 1 и 2, зазор $\delta_{\text{имитатор}}$ между двумя ферромагнитными магнитопроводами и имеет величину, позволяющую ввести в него щуп тесламетра 3 и провести измерение магнитной индукции на поверхности постоянных магнитов 1 и 2.

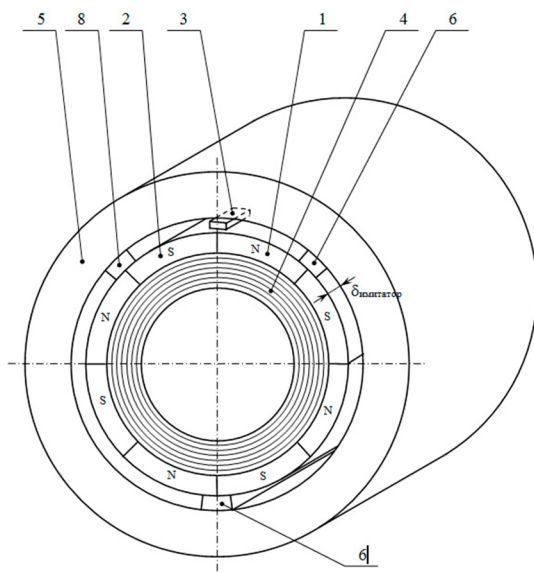


Рис. 2. Имитатор магнитной системы: 1, 2 – постоянные магниты; 3 – щуп тесламетра; 4, 5 – ферромагнитные магнитопроводы; 6 – немагнитные клинья

При этом характер распределения магнитной индукции в зазоре имитатора будет соответствовать характеру распределения магнитной индукции в зазоре реальной магнитоэлектрической машины, а амплитуда магнитной индукции в реальной машине будет определяться формулой:

$$B_{\text{реал}} \approx \frac{B_{\text{имитатор}} \delta_{\text{имитатор}}}{\delta_{\text{реал}}},$$

где $\delta_{\text{имитатор}}$, $B_{\text{имитатор}}$ – величины воздушного зазора и магнитной индукции в зазоре в имитаторе магнитной системы магнитоэлектрической машины, $\delta_{\text{реал}}$, $B_{\text{реал}}$ – величины воздушного зазора и магнитной индукции в зазоре в магнитной системе реальной магнитоэлектрической машины.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	3
----------------------------------	---

СЕКЦИЯ 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ, ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ	12
---	----

СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ И СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	29
---	----

СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ	53
--	----

СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ СЕКЦИЯ.....	82
---	----

СЕКЦИЯ 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА	101
--	-----

СЕКЦИЯ 6. АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОДА	128
---	-----

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Седьмой международной научно-технической конференции
«Актуальные проблемы создания космических систем
дистанционного зондирования Земли»

Подписано в печать 29.04.2019.
Тираж 150 экз.