

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



ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ. ТРУДЫ ВНИИЭМ

**Главный редактор:**

заместитель генерального директора –  
генеральный конструктор, доктор техн. наук

**Л. А. Макриденко**

**Редакционная коллегия:**

доктор техн. наук **В. Я. Геча**  
(зам. главного редактора),  
кандидат техн. наук **А. В. Горбунов**,  
кандидат техн. наук **Э. В. Гаджиев**,  
доктор физ.-мат. наук **Т. Б. Дуйшеналиев**  
(Киргизская Республика),  
доктор техн. наук **А. Б. Захаренко**,  
кандидат техн. наук **С. А. Золотой**  
(Республика Беларусь),  
доктор техн. наук **А. С. Исхаков**,  
доктор техн. наук **С. Г. Казанцев**,  
доктор техн. наук **Н. Д. Карачун**,  
доктор воен. наук,  
кандидат техн. наук **Н. О. Кобельков**,  
доктор техн. наук **И. В. Минаев**,  
доктор техн. наук **М. Р. Нургужин**  
(Республика Казахстан),  
кандидат воен. наук **А. В. Пинчук**,  
доктор техн. наук **А. П. Сарычев**,  
доктор техн. наук **Н. И. Сидняев**,  
доктор физ.-мат. наук,  
кандидат хим. наук **А. П. Тютнев**,  
доктор техн. наук **А. Ю. Федотов**,  
отв. секретарь редколлегии **О. А. Чунихина**

**Ответственный редактор:**

доктор техн. наук **В. Я. Геча**

МАТЕРИАЛЫ

двенадцатой международной  
научно-технической конференции

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ



МОСКВА 2024

## **ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО**

**И. Р. Халилюлин**  
*АО «Корпорация «ВНИИЭМ»*

### **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ**

**В. А. Мироничев**  
*(Госкорпорация «Роскосмос», г. Москва)*

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ АО «КОРПОРАЦИЯ «ВНИИЭМ»**

**И. Р. Халилюлин**  
*(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)*

### **РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС «МЕТЕОР САР» КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «МЕТЕОР-3М» С КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ «МЕТЕОР-М» № 2-4**

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

### **МИНИМАЛЬНО ДОСТАТОЧНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СПУТНИКОВАЯ ГРУППИРОВКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**В. В. Асмус, А. А. Максимов, С. В. Тасенко**  
*(ФГБУ «Научно-исследовательский центр  
космической гидрометеорологии «Планета», г. Москва)*

Космические системы наблюдения Земли играют первостепенную роль в обеспечении гидрометеорологической безопасности государства, включая

обнаружение и прогнозирование опасных быстроразвивающихся гидрометеорологических явлений, обеспечение работ по ликвидации последствий техногенных аварий и др.

Без спутниковых данных невозможно решение на современном уровне таких задач как: мониторинг и прогноз гидрометеорологической и геофизической обстановки; контроль опасных явлений и чрезвычайных ситуаций; мониторинг глобальных климатических изменений; мониторинг загрязнения окружающей среды.

Наращение проблем, связанных с глобальным потеплением так и негативные тенденции развития геополитической обстановки дополнительно повышают востребованность отечественных данных дистанционного зондирования Земли, делая эти данные по сути стратегическими.

На сегодняшний день санкционные ограничения создают угрозу информационной безопасности России в части получения данных для прогнозирования опасных природных явлений, метеобеспечения авиации, судоходства, иной хозяйственной деятельности, а также предоставления метеоинформации Минобороны России.

С учетом новых геополитических реалий и солидного задела ГК «Роскосмос» минимально необходимая спутниковая группировка, создаваемая в рамках Федеральной космической программы России на 2026 – 2035 гг., обеспечивающая информационную безопасность страны должна состоять:

- 4 полярно-орбитальных КА серии «Метеор», включая 1 океанографический (получение глобальной информации 8 раз в сутки);
- 4 геостационарных КА серии «Электро» в точках стояния 14,5° з. д., 76° в. д., 119° в. д, 166° в. д., обеспечивающих единовременное покрытие с периодичностью 15 минут территории России и сопредельных территорий от Атлантического до Тихого океана (всего  $\frac{3}{4}$  территории Земли в полосе  $\pm 60^\circ$ );
- 4 КА на высокоэллиптической орбите серии «Арктика» для обеспечения непрерывного мониторинга северного полярного региона выше 60° с. ш. с периодичностью 7,5 – 15 минут;
- 5 КА геофизического назначения включая 4 КА типа «Ионосфера» для мониторинга околоземного космического пространства и 1 КА типа «Зонд» для мониторинга Солнца и солнечной активности;
- 8 КА серии «Канопус» для мониторинга опасных гидрометеорологических явлений и чрезвычайных ситуаций, обеспечивающие съемку высокого разрешения в первые сутки ЧС и затем съемку данного района с периодичностью 2 – 3 раза в сутки;

- 3 КА типа «Обзор», укомплектованных радиолокаторами X-диапазона для всепогодного спутникового мониторинга с высоким пространственным разрешением;
- 12 КА типа «Геофизика-Просвет» для радиозатменного зондирования атмосферы и ионосферы. Данные радиопросвечивания являются ценнейшей информацией при прогнозировании состояния атмосферы и ионосферы и в нашей стране отсутствуют;
- 5 специализированных МКА типа «Климат» для мониторинга климатически активных газов в целях наблюдения за климатическими изменениями, ведения кадастра парниковых газов и других задач.

Задача сбора и ретрансляции данных с наблюдательной сети Росгидромета будет решаться с использованием КА серий «Электро», «Арктика-М», «Метеор» и телекоммуникационных КА серии «Луч-5».

Следует отметить, что создание жизненно важных для страны вышеуказанных космических группировок должно сопровождаться как созданием новых спутниковых приборов (скаттерометры, грозопеленгаторы, альтиметры, атмосферные зондировщики для геостационарных орбит и др.), так и модернизацией существующих.

Указанный состав национальной спутниковой группировки должен ФГБУ «НИЦ «Планета» и одобрен на секции «Наблюдения и исследования Земли из космоса» Совета РАН по космосу.

Приём, обработка, архивация, каталогизация и распространение информации указанных группировок КА гидрометеорологического, и гелиогеофизического, с целью технологической эффективности и экономии бюджетных средств, должны осуществляться на базе Государственной территориально-распределенной системы космического мониторинга окружающей среды Росгидромета в составе Европейского (гг. Москва – Обнинск – Долгопрудный), Сибирского (г. Новосибирск) и Дальневосточного (г. Хабаровск) спутниковых центров ФГБУ «НИЦ «Планета».

**ВОЗМОЖНОСТИ И ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕНТРА  
КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМАМИ  
АРХИВАЦИИ, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ  
СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ИКИ РАН ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧ ИЗУЧЕНИЯ И МОНИТОРИНГА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Е. А. Лупян, И. В. Балашов,  
М. А. Бурцев, А. А. Прошин**  
*(Институт космических исследований  
Российской академии наук, г. Москва)*

**АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИАГРАММЫ  
НАПРАВЛЕННОСТИ БОРТОВОЙ РАЗВЕРТЫВАЕМОЙ  
АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ  
ОРБИТАЛЬНОГО ПОЛЕТА**

**К. М. Занин**  
*(ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский  
институт радиосвязи», г. Ростов-на-Дону)*

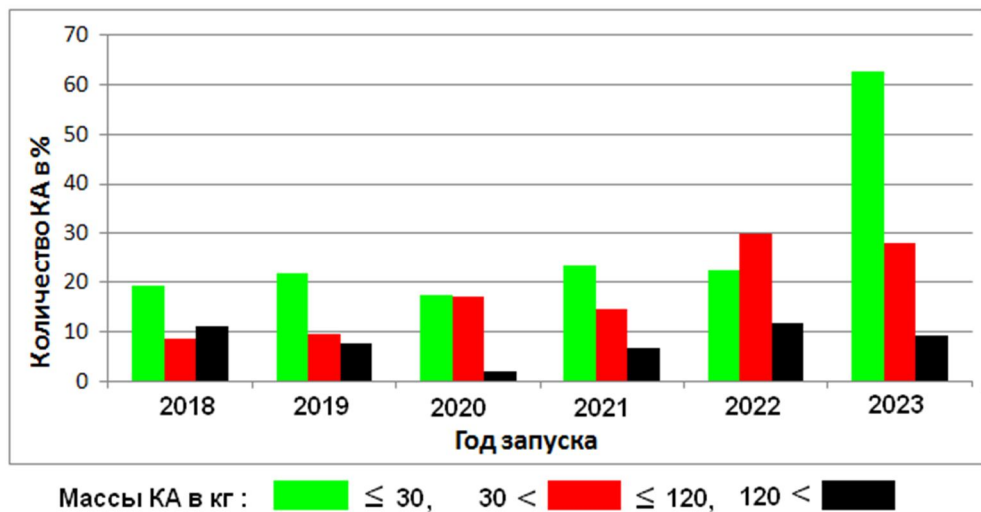
## ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. К. Гончаров, В. В. Ахлынин

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

В докладе представлен анализ зарубежного опыта создания малых космических аппаратов (МКА) для решения задач ДЗЗ.

Основной тенденцией развития космических систем дистанционного зондирования Земли в последние годы является формирование класса малых космических аппаратов (МКА). За последние 6 лет доли (процент) запущенных КА ДЗЗ с различными массами показаны на рис. 1. За 100 % принято количество КА ДЗЗ, запущенных в 2023 г.



**Рис. 1. Запуски КА ДЗЗ в 2018 – 2023 гг.**

Увеличение количества МКА ДЗЗ уменьшает время между повторными наблюдениями любого участка поверхности Земли. Применение МКА демон-

стрирует возможность значительного снижения массы космических аппаратов без снижения информационных характеристик целевой аппаратуры КА ДЗЗ. Для достижения этого результата проведены большие работы по формированию как платформ КА, так и целевой аппаратуры, устанавливаемой на КА. Введение МКА в жизнь преследует также задачу значительного снижения стоимости КА и, в конечном счете, стоимости информационных продуктов ДЗЗ. Первые успехи в создании МКА принадлежат США, и стартом послужило решение правительства допустить в космическую отрасль по созданию космических аппаратов ДЗЗ частные компании. Решение было принято в конце девяностых годов прошлого века. В КНР аналогичное решение по привлечению частных компаний по созданию КА ДЗЗ было принято в 2013г. Успехи КНР в области создания МКА ДЗЗ очень значительные. МКА ДЗЗ, находящиеся в эксплуатации, количественно значительно превосходят «большие» КА. Следовательно, МКА поставляют большую часть информационных продуктов ДЗЗ. Важными характеристиками КА ДЗЗ являются пространственное разрешение и ширина полосы захвата оптической системы. Зависимость пространственного разрешения от массы КА ДЗЗ показана на рис. 2. Показаны лучшие результаты.

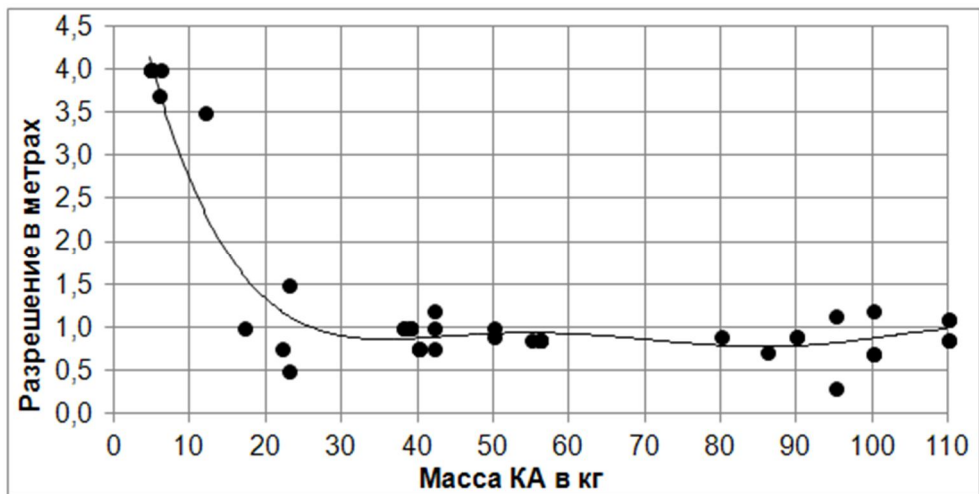


Рис. 2. Зависимость пространственного разрешения КА в панхроматическом диапазоне от массы КА

Разрешение у кубсатов с массой менее 15 кг порядка 3 – 5 м/пиксель и полоса захвата до 12 км. Относительно низкое разрешение ограничивает их ценность. Лучшие МКА с массами от 20 до 120 кг имеют разрешение от 0,3 м до 1,5 м на пиксель и ширину полосы захвата до 20 км. Использование МКА с целевой аппаратурой радиолокационного типа имеет значительно меньшие успехи. Тем не менее, подтверждается возможность при значительном снижении массы КА (до 100 кг) получать информационные характеристики сравнимые с характеристиками локаторов «больших» КА. В докладе рассмотрен ряд дополнительных характерных особенностей построения МКА, определяющих, в конечном счете, получение требуемых информационных характеристик. Вопрос формирования эффективной наземной инфраструктуры приема информации является неотъемлемой частью успешного решения задачи оперативного обеспечения потребителей информацией ДЗЗ. Возможность решения этой задачи в значительной степени будет определяться построением бортовой аппаратуры радиолинии, включая значение ЭИИМ, виды модуляции, количество каналов передачи данных, коэффициенты сжатия информации, методы помехозащитающего кодирования и др. Для повышения информационных возможностей МКА в КНР предусмотрено обязательное введение на борту КА модуля сжатия информации. Коэффициент сжатия от 2 до 10. Обслуживание большого количества МКА, требует и значительного набора средств приема. Продуманное построение бортовой аппаратуры радиолинии дает возможность обеспечивать прием информации на приемные комплексы с диаметром антенн 2,5 м. Прием ведется в основном в X-диапазоне. Страны предусматривают размещение по всему миру от 30 и более пунктов приема. Общее количество приемных комплексов ДЗЗ в каждой из ряда ведущих стран составляет от нескольких десятков (Франция, КНР, Индия) до 300 ПК (KSAT, Норвегия). КНР использует мобильные станции и специальные корабли, оснащенные приемными станциями. Отечественная программа решения задач ДЗЗ на базе формирования МКА имеет возможность в полной мере ориентироваться на лучшие результаты в этой области зарубежных стран.



## **АДАПТИВНЫЙ БОРТОВОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

<sup>1</sup> А. И. Канцеров, <sup>2</sup> М. И. Кислицкий, <sup>1</sup> А. А. Румянцев,  
<sup>3</sup> А. С. Турковский, <sup>1</sup> С. С. Щесняк

(<sup>1</sup>АО «Научный центр прикладной электродинамики»,

<sup>2</sup>Балтийский государственный технический университет

«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова,

<sup>3</sup>Михайловская Военно-артиллерийская академия, г. Санкт-Петербург)

Современные бортовые оптико-электронные комплексы (ОЭК) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обеспечивают решение задач широкого спектра потребителей. При этом наиболее информативные данные поставляют КА, имеющие на борту ОЭК со сверхвысоким разрешением (СВР). Такие комплексы являются сложными дорогостоящими устройствами с большой массой, что ограничивает периодичность ДЗЗ со сверхвысоким разрешением.

Использование известных традиционных технологий построения ОЭК СВР не позволяет решить противоречивую задачу: повышение информативности при снижении массогабаритных параметров. С целью решения указанной задачи нами предложен проект инновационного ОЭК СВР на основе использования технологии адаптивной оптики. Предлагаемая технология (по данным открытой печати) на практике применяется в космической технике только на уникальном крупногабаритном James Webb космическом телескопе (США) [1]. Мы предлагаем использовать технологию адаптивной оптики для ДЗЗ. При этом условия работы ОЭК при решении задач ДЗЗ являются более сложными чем у ОЭК КА астрофизического назначения.

Предлагается создать телескоп с сегментированным главным зеркалом (ГЗ), который будет разворачиваться на орбите. По результатам предварительных оценок, это позволит создать ОЭК СВР с массой, в 4-5 раз меньшей чем у существующих и разрабатываемых бортовых ОЭК традиционного типа с аналогичным уровнем разрешения, что явится прорывным результатом.

Кроме того, значительно сократятся габариты ОЭЖ в транспортировочном положении (т.е. при выведении на орбиту).

Предлагаемый ОЭЖ может быть построен по различным оптическим схемам, в частности по схеме Корша. Так при высоте орбиты КА равной 510 км и Ø ГЗ 1,225 м разрешающая способность на местности (РСМ) составит 0,3 м, масса ОЭЖ 110 кг, а при Ø ГЗ 3,5 м РСМ составит 0,15 м при массе ОЭЖ 350 кг. Отметим, что данным ОЭЖ съемка земной поверхности может производиться как в видимом, так и в инфракрасном (ИК) диапазонах электромагнитного излучения.

По предварительной оценке, первый вариант может быть реализован при общей массе КА до 500 кг. Второй вариант может быть реализован на более тяжелом КА, а также перспективен для использования в составе Российской орбитальной станции.

Проведенный анализ показал, что к числу основных научно-технических проблем, требующих своего решения при создании ОЭЖ на основе адаптивной оптики, относятся обеспечение высокой точности раскрытия зеркала телескопа в космосе и высокоточное управление формой зеркала в полете. Предварительные проработки показывают, что указанные проблемы могут быть решены на основе имеющегося опыта и научно-технического задела разработчиков – АО «НЦ ПЭ» и БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова с кооперацией.

Тем самым открывается возможность формирования орбитальных группировок (ОГ) КА ДЗЗ СВР без увеличения потребных затрат по сравнению с имеющимся уровнем. В результате будет обеспечено существенное повышение периодичности (частоты) обзора земной поверхности. Отметим, что еще одним достоинством предлагаемого ОЭЖ являются компактные габариты в транспортировочном положении, что позволяет выводить ОГ КА за один пуск ракетносителя с учетом ограниченных объемов головных обтекателей.

Таким образом, создание и использование адаптивных ОЭЖ способно существенно повысить показатель «выходной эффект / стоимость» космических систем ДЗЗ по сравнению с ныне достигнутым уровнем.

### **Литература**

1. D. S. Acton, P. Atcheson, M. Cermak, L. Kingsbury, F. Shi, D. C. Redding – James Webb Space Telescope Wavefront Sensing and Control Algorithms. – Proceedings of SPIE Vol. 5487. <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 06/22/2016.

# ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

**Е. Н. Хотенко, Д. А. Арутюнян, С. Д. Богодяж, Е. Д. Аникина**  
*(Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Институт прикладной геофизики им. академика Е. К. Федорова»,  
г. Москва)*

В настоящее время повышается интерес к активному развитию инструментов для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и мониторинга космической погоды с помощью малых космических аппаратов (МКА) типа кубсат. Развитие МКА представляет собой одну из наиболее динамичных и перспективных отраслей современной космонавтики. В последние годы мы наблюдаем значительный прогресс в технологиях, способствующих созданию и запуску МКА типа кубсат. В рамках программы «Универсат» Роскосмоса в интересах Росгидромета осуществляется сотрудничество с МГТУ им. Н. Э. Баумана и ООО «Орбитальные системы».

Научной аппаратуры на МКА должна решать задачи гелиогеофизики (ионосферный и магнитосферный мониторинг, контроль радиационной обстановки, наблюдения Солнца, тепло- и фотонаблюдения Земли). В частности, в настоящее время, актуальным направлением являются спутниковые магнитометрические наблюдения.

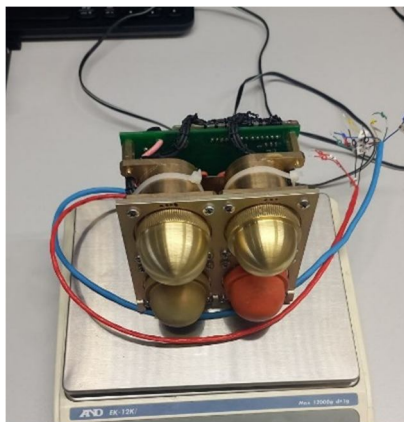
Кубсаты «Ярило» и «Хорс» были доставлены на целевые орбиты в качестве попутной нагрузки 27 июня 2023 года при запуске КА «Метеор-М» № 2-3 с космодрома «Восточный».

На серии спутников «Ярило» № 3 и № 4 установлен МКА с магнитометром «МАГНУМ» на борту. Магнитометрическая система расположена на выносной углепластиковой штанге длиной 2 м (оптимальная длина рассчитана теоретически) для исключения влияния магнитных шумов корпуса. Конструкция и система разворачивания штанги является разработкой студентов и сотрудников МГТУ им. Н.Э. Баумана. Разработчиком самого магнитометра является ИЗМИРАН. Магнитометрический датчик, установленный в прибор – Honeywell HMC100x.

Анализ данных с МКА «Ярило» № 3 показал, что измерения коррелируют с международной моделью *IGRF-13* и могут быть использованы для мониторинга и актуализации модели нормального магнитного поля Земли.

Сотрудниками ФГБУ «ИПГ» разработан и создан опытный образец трехкомпонентного феррозондового магнитометра широкого спектра применения. По результатам процедуры сличения при анализе коэффициента корреляции магнитометр может стать достойным конкурентом отечественным и зарубежным аналогам. Массово-габаритные характеристики аппаратуры позволяют использовать его на КА разного габарита и назначения.

В целях контроля радиационной обстановки ФГБУ «ИПГ» совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана и компанией «Орбитальные Системы» были проведены работы по созданию аппаратуры ГАМВЭКИ – спектрометра галактических и солнечных космических лучей. Данная аппаратура установлена на МКА «Хорс» № 1 и № 2, аналоги такой аппаратуры установлены на КА «Метеор-М», «Электро-Л», «Арктика-М». Также проводится работа с другими образовательными учреждениями (НГУ, ДВФУ) по установке прибора ГАМВЭКИ-ГМ на кубсатах, разрабатываемых в университетах (см. рис.).



**Детектор ГАМВЭКИ-ГМ**

Проводятся исследования по увеличению эффективности использования информации с федеральных КА («Электро-Л», «Метеор-М», «Арктика-М», «Ионосфера-М») и МКА гидрометеорологического и гелиогеофизического

назначения, а также автоматизации выявления опасных явлений космической погоды с применением алгоритмов машинного обучения.

Создание миниатюрных версий гелиогеофизических приборов расширит возможности мониторинга космической погоды на низких орбитах, а также предоставит возможность апробации некоторых приборов с целью рекомендации использования на федеральных КА гидрометеорологического (геофизического) назначения.

# МЕТОДИКА РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАФРАГМЫ-СЕКТОРА

А. Д. Базылева, Ф. А. Какшинский, А. А. Плащинский  
(ОАО «ПЕЛЕНГ», г. Минск, Республика Беларусь)

Мировая тенденция развития оптико-электронных систем (ОЭС) ДЗЗ демонстрирует постоянное улучшение разрешающей способности. Улучшение разрешения тесно связано с необходимостью увеличения входного зрачка объектива.

Для количественной оценки состояния и свойств природных объектов выполняется радиометрическая калибровка ОЭС в единицах спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ).

Для калибровки ОЭС по СПЭЯ используются фотометрические сферы (ФС). Необходимым условием проведения абсолютной радиометрической калибровки ОЭС является полное заполнение апертуры ОЭС излучением источника, поэтому при использовании объективов с достаточно большим входным зрачком появляется проблема отсутствия ФС подходящих размеров.

Специалистами ОАО «ПЕЛЕНГ» совместно с НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ была разработана и протестирована методика абсолютной радиометрической калибровки ОЭС с сегментированным экранированием при помощи уже имеющейся ФС.

Данная методика была реализована для диафрагмы-сектора в виде открытой  $\frac{1}{4}$  части круга. Поворотом диафрагмы на  $90^\circ$  выполняется четыре измерения, которые позволяют добиться полного освещения ОЭС. Открытый сектор диафрагмы должен полностью вписываться в выходной зрачок ФС и при всех измерениях положение вершины сектора диафрагмы-сектора должно быть совмещено с оптической осью ОЭС.

Суммирование данных 4-х измерений позволяет создать уровень сигнала, который соответствует полностью открытому объективу.

$$N_{ij} = N_{ij}^1 + N_{ij}^2 + N_{ij}^3 + N_{ij}^4$$

где  $i, j$  – индексы площадок матричного фотоприёмника калибруемой ОЭС;  $N_{ij}^1, N_{ij}^2, N_{ij}^3, N_{ij}^4$  – значения сигнала на площадках фотоприемника с индексами  $i, j$  при положениях диафрагмы в 1 – 4 четвертях соответственно.

Проверка данной методики осуществлялась в двух направлениях:

- теоретическое моделирование потоков излучения, приходящих в фокальную плоскость ОЭС;
- экспериментальная проверка методики с использованием имеющегося оборудования: ФС, диаметром выходного зрачка 1000мм, ОЭС с диаметром входного зрачка 600мм и изготовленной диафрагмы диаметром 1500мм с углом открытого сектора  $90^\circ$ .

**Теоретический расчёт** освещённости исследуемой области в модели был проведён без диафрагмы и с диафрагмой-сектором. Для сравнения результатов моделирования исследуемая область была разбита на 100 равных частей вдоль оси  $X$  для получения значений освещённости горизонтальных полос, аналогично разбита ось  $Y$  на 100 равных частей для получения значений освещённости вертикальных полос.

Теоретический расчёт показал, что суммарное значение сигнала, рассчитанное по формуле (1), соответствует полностью открытому объективу. СКО разности данных, полученных при использовании диафрагмы-сектора и без неё, нормированной на  $\sqrt{2}$ , и СКО шума, определённых для распределения Пуассона, практически равны. Что позволяет сделать вывод о том, что погрешности разностей сигналов обусловлены только ограниченностью статистики расчёта при моделировании, а не методикой калибровки.

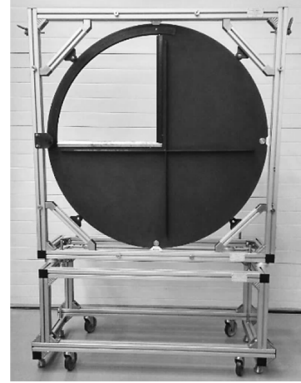
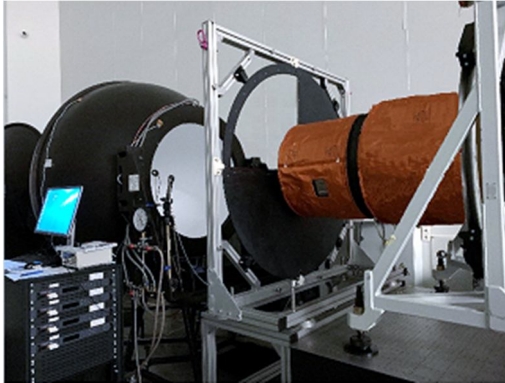
Для проведения **эксперимента** была собрана оптическая система, включающая ФС, ОЭС с объективом, построенным по схеме Корша, диафрагму-сектор, контрольно-проверочную аппаратуру (см. рис. ). В фокальной плоскости ОЭС установлена интегральная сборка из 12-ти фотоприемников ПЗС, работающих в режиме временной задержки и накопления (ВЗН).

Измерения проводились при двух уровнях яркости ФС. На каждом из уровней яркости проводились измерения при четырёх положениях диафрагмы-сектора и при полностью открытом объективе. Цикл измерений для каждой яркости повторялся по три раза. При каждом измерении съёмка выполнялась при нескольких значениях времени накопления фотоприемников.

Обработка результатов измерений выполнялась по формуле (1). При сравнении данных, полученных с диафрагмой-сектором и с полностью открытым объективом рассчитывалась попиксельная разность между изображениями, полученными разными методами.

Результат практического эксперимента показал, что погрешность измерений с использованием диафрагмы-сектора относительно общепринятой методики калибровки обусловлена только ограниченностью статистики расчёта

при моделировании схожей с амплитудой фотонного шума, а не методической погрешностью. Погрешность изготовления диафрагмы, погрешность разворота диафрагмы, погрешность положения оси вращения сектора приводит к дополнительной среднеквадратической ошибке диафрагмы-сектора по сравнению с калибровкой с полностью открытым объективом в 0,5 %, что при погрешностях обычной радиометрической калибровки ОЭС (3...5 %) вполне допустимо.



### **Модель для проведения экспериментальной проверки методики**

Представленная методика прошла метрологическую экспертизу в Белорусском государственном институте метрологии.



# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СФЕР ДЛЯ СИСТЕМ БОРТОВОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ

**М. В. Николаева, С. М. Зорин, Н. А. Николаев**  
(АО «РКС», г. Москва)

Одной из задач оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является определение эффективной энергетической яркости (СПЭЯ) или радиационной температуры подстилающей поверхности Земли и атмосферы, то есть ОЭА ДЗЗ представляет собой радиометр с измерительными функциями. Для получения возможности использования ОЭА ДЗЗ в качестве радиометра проводится предполетная радиометрическая калибровка, то есть формирование характеристики преобразования, как зависимости выходного сигнала аппаратуры от эффективной энергетической яркости на ее входном зрачке [1].

В процессе штатной эксплуатации ОЭА ДЗЗ в условиях космического пространства наблюдается деградация элементов ОЭА: изменение чувствительности приемников излучения, характеристик электронного тракта, а также деградация элементов оптической системы. По этой причине для коррекции изменений сигнала, связанных с деградацией при длительной эксплуатации, возникает необходимость проведения бортовой радиометрической калибровки ОЭА и создания соответствующей системы бортовой калибровки с использованием алгоритма двухточечной коррекции [1].

Для проведения радиометрической калибровки в полете могут использоваться, например, внутренние источники излучения (ВИИ). При этом считается, что ВИИ деградируют медленнее, чем часть ОЭА, предназначенная для целевого использования, так как время их эксплуатации меньше времени эксплуатации целевой части ОЭА.

В качестве ВИИ в рамках данной работы используются интегрирующие сферы для каналов ОЭА в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне (от 0,4 до 2,5 мкм) и модели черных тел для каналов ОЭА в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне (от 2,5 до 14,0 мкм).

Выбор покрытия ВИИ является одной из ключевых задач при проектировании блока радиометрической калибровки ОЭА в полете. Конструкция ВИИ и оптико-физические свойства покрытий влияют на стабильность и точность

радиометрической калибровки в полете и деградацию характеристик самих ВИИ, таких как СПЭЯ, интегральный энергетический поток, наличие паразитных фоновых излучений.

В докладе затронуты проблемы выбора материала покрытия интегрирующих сфер для системы бортовой калибровки. Данные покрытия должны обладать следующими свойствами:

- радиационная стойкость, что особенно актуально в настоящее время в связи с требованиями увеличения срока службы целевой аппаратуры (10 лет и более);

- расширенный диапазон перепада давлений и температур;

- технология нанесения должна исключать возможность отслоения и осыпания материала при воздействии механических нагрузок;

- индикатриса отраженного излучения должна соответствовать диффузному ламбертовскому отражению, то есть покрытие должно рассеивать излучение одинаково во всех направлениях, что обеспечивает равномерный энергетический поток в выходном окне сферы [2];

- покрытие должно обладать линейностью по отношению к интенсивности входящего излучения, то есть коэффициент отражения не должен зависеть от интенсивности падающего излучения [2];

- желательно отсутствие зависимости коэффициента отражения от длины волны излучения [2];

- коэффициент отражения должен стремиться к 1 в заданном спектральном диапазоне, что позволяет снизить требования к источнику излучения для освещения сферы, например, лампы накаливания.

В докладе приведен сравнительный анализ оптических характеристик материалов покрытий в виде эмалей ЭКОМ-1 (белый) и ЭКОМ-ЖС-2 (белый) [3], а также влияния на коэффициент отражения покрытий под эмалью (Хим.окс.э. и Ан.Окс.ч). Особое внимание было уделено отработке методики сравнительной оценки спектрального коэффициента отражения и интегрального выходного потока. Для этого были изготовлены интегрирующие сферы с соответствующими покрытиями, в габаритах, пригодных для использования в системе бортовой калибровки в полете. Были проведены измерения оптических характеристик их выходного излучения с использованием монохроматического осветителя.

Анализ показал, что покрытие эмалью ЭКОМ-ЖС-2 обеспечивает значительно больший коэффициент диффузного отражения по сравнению с ЭКОМ-1 в диапазоне длин волн от 0,5 до 1,1 мкм, что имеет важное значение

при задании яркости излучателя при бортовой калибровке. Выбор подслоя влияет на адгезию отражающего покрытия, что нужно учитывать при обработке технологии нанесения.

### **Литература**

1. Гектин Ю. М., Зорин С. М., Аскерко М. В., Трофимов Д. О., Температура и методы ее определения с помощью оптико-электронной аппаратуры космических систем ДЗЗ // Журнал Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2024, том 11, выпуск 2, с. 11 – 21
2. Раббани, Р. Сравнение различных материалов покрытия для интегрирующих сфер высокоточного спектрорадиометра // LISUN GROUP [сайт]. – 2023. – URL: <https://ru.lisungroup.com/новости/новости-технологии/сравнение-различных-материалов-покрытия-для-интегрирующих-сфер-высокоточного-спектрорадиометра.html> (дата обращения: 31.07.2024).
3. Токарь, С. В. Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и слож-нооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель»: дис., канд. тех. наук: 05.17.11 / Токарь Сергей Вячеславович; науч. рук. О.П. Барина; «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» Акционерное общество «Композит». – Москва, 2019. – 163 с.

## **ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ ДЗЗ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

**А. Д. Базылева**

*(ОАО «ПЕЛЕНГ», г. Минск, Республика Беларусь)*

Основной задачей оптико-электронных аппаратов дистанционного зондирования земли высокого разрешения – это получение снимков подстилающей поверхности Земли. Высокое качество снимков обеспечивают различные системы, в том числе система термостабилизации.

Основными принципами проектирования систем термостабилизации являются автономность и баланс энергии. Автономность – это способность системы поддерживать термостабильность оптической системы при съёмке на любом участке вика. Баланс энергий включает в себя минимизацию потребляемой мощности, подбор оптимальной конструкции и минимизация массы. Баланс энергий позволяет сохранять конкурентоспособность изготавливаемой аппаратуры на рынке.

Наземная экспериментальная отработка и лётные испытания подтверждают правильность построенной системы.

В докладе представлен пример создания системы термостабилизации и оборудование, применяемое во время наземной термовакуумной отработки оптико-электронных систем, размещаемых внутри и снаружи платформы.

# ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЗС-СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С МАЛЫМИ РАЗМЕРАМИ ЭЛЕМЕНТОВ

**К. В. Алаторцев**

(ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт»,  
г. Москва)

Одним из способов повышения разрешения оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) КА ДЗЗ является уменьшение размеров чувствительных элементов ПЗС фотоприемника вплоть до микронных размеров. Для реализации конструкторских решений в этом направлении необходимы результаты моделирования распределений электрофизических характеристик ПЗС-ячеек ОЭА: накапливаемого заряда под затворами в полупроводниковой подложке, потенциала электрического поля и ряда других характеристик ПЗС-элементов [1].

Цель настоящей работы состоит в апробации предлагаемого вычислительного метода расчета двумерного распределения потенциала в элементарной ПЗС-ячейке фотоприемника при наличии сигнального накапливаемого заряда.

Для нахождения распределения потенциала электрического поля в полупроводниковой подложке ПЗС-фотоприемника необходимо найти совместное решение 2х-мерной системы дифференциальных уравнений в каждой из областей ПЗС-элементов [2].

Задача по определению распределения потенциала  $V(x, y)$  сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений вида:  $\bar{G}(\bar{V}) = 0$ , для решения которой удобно применить итерационные процедуры [3 – 4]:

$$V_1^{n+1} = V_1^n - \omega_1 \cdot \left[ G_1(V_1^n, \dots, V_{N-1}^n, V_N^n) \right] / \left[ \frac{\partial G_1(V_1^n, \dots, V_{N-1}^n, V_N^n)}{\partial V_1} \right]$$

где  $N$ -число точек дискретизации ПЗС-пространства,  $n$ -номер итерации,  $\omega_j$  - параметр, регулирующий сходимость итерационной процедуры ( $0 \leq \omega_j \leq 2$ ).

Результаты двумерного моделирования распределения потенциала в ПЗС-ячейках для различных размеров элементов представлены на рис. 1.

Изменение глубины (емкости) потенциальной ямы под затворами ПЗС-элементов представлено на рис. 2.

Итерационная процедура вычисления двумерного распределения потенциала в элементарной ПЗС-ячейке запишется в виде ([3], [4]):

– для области диэлектрика (двумерное уравнение Лапласа):

$$V_{i,j}^{n+1} = V_{i,j}^n - \omega_{i,j} \cdot \frac{\left[ (V_{i+1,j}^n + V_{i-1,j}^{n+1} - 2 \cdot V_{i,j}^n) / h_{dx}^2 \right] + \left[ (V_{i,j+1}^n + V_{i,j-1}^{n+1} - 2 \cdot V_{i,j}^n) / h_{dy}^2 \right]}{\left[ (-2) / h_{dx}^2 \right] + \left[ (-2) / h_{dy}^2 \right]}$$

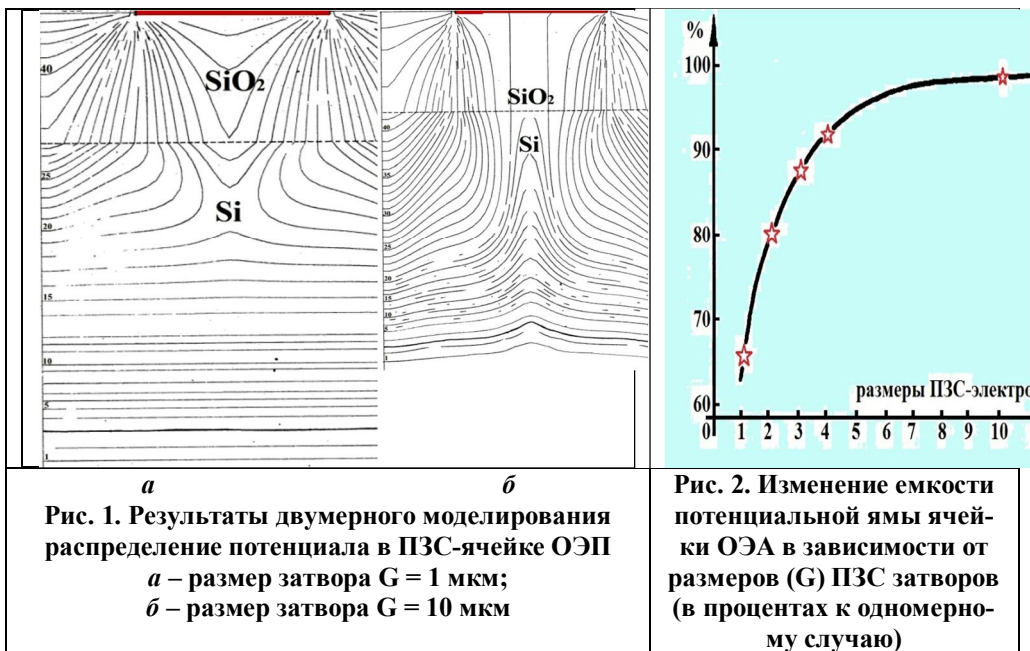
– на границе диэлектрик-полупроводник:

$$V_{i,j}^{n+1} = \frac{\varepsilon_d \cdot \left[ V_{i-1,j}^{n+1} / h_{dx} \right] + \varepsilon_s \cdot \left[ V_{i+1,j}^n / h_{sx} \right]}{\varepsilon_d \cdot \left[ 1 / h_{dx} \right] + \varepsilon_s \cdot \left[ 1 / h_{sx} \right]}$$

-для полупроводниковой подложки (двумерное уравнение Пуассона):

$$V_{i,j}^{n+1} = V_{i,j}^n - \omega_{i,j} \cdot \frac{\left[ (V_{i+1,j}^n + V_{i-1,j}^{n+1} - 2 \cdot V_{i,j}^n) / h_{sx}^2 \right] + \left[ (V_{i,j+1}^n + V_{i,j-1}^{n+1} - 2 \cdot V_{i,j}^n) / h_{sy}^2 \right]}{\left[ (-2) / h_{sx}^2 \right] + \left[ (-2) / h_{sy}^2 \right]} - \frac{\left[ (V_{i,j+1}^n + V_{i,j-1}^{n+1} - 2 \cdot V_{i,j}^n) / h_{sy}^2 \right] - \frac{4 \cdot \pi \cdot e}{\varepsilon_s} \cdot N_0 \cdot \left[ 1 - \exp(-e \cdot V_{i,j}^n / (k \cdot T)) \right]}{-\frac{4 \cdot \pi \cdot e}{\varepsilon_s} \cdot N_0 \cdot (-e \cdot V_{i,j}^n / (k \cdot T)) \cdot \left[ \exp(-e \cdot V_{i,j}^n / (k \cdot T)) \right]}$$

Полученные результаты позволяют получить представление о характере изменений и численно оценить величины уменьшения емкостных характеристик потенциальной ямы ПЗС-ячеек фотоприемников, что при получении соответствующих технологических реализаций конструирования оптоэлектронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли из космоса и в других областях микроэлектроники безусловно окажется полезным. Несколько сокращенным выглядит изложение материала из-за ограниченности объема статьи в тезисном сборнике.



### Литература

1. Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли. Материалы XVIII научно-технической конференции. Москва, Зеленоград, 2022 – 284 с. – ISBN 978-5-94627-081-6.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. – 4-е изд. стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2004. – ISBN 5-9221-0228-01.
3. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа (в двух томах): Учебник для студентов университетов и вузов. М.: «Высшая школа», 1981, т. II:– 584 с., ил. . – ISBN 5-9221-0308-3.
4. Беклемишев Д. В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: Учебник. – 13-е изд., испр. – С-Пб.: Издательство «Лань», 2015. – 448 с. ил. – (Учебник для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1844-2.

# ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОЭА КА ДЗЗ

**К. В. Алаторцев**

(ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт», г. Москва)

Одним из базовых физических явлений, используемых при работе ОЭА, является интерференция, что проявляется при конструировании ПЗС фотоприемников в ряде случаев: при просветлении объектива, конструировании светофильтров и в многослойной структуре самой ПЗС-ячейки.

При использовании комплексных амплитуд для электрического поля световых волн получаются волновое и уравнение Гельмгольца:  $\nabla^2 f + k^2 f = 0$ .

В качестве примеров решения уравнения Гельмгольца и самого волнового уравнения являются:

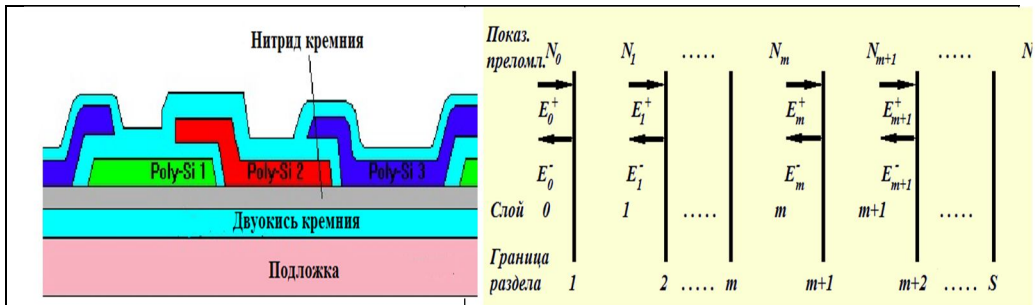
Сферическая волна:

$$E(r) = [A(r) / r] \cdot \exp(i \cdot \omega \cdot t - i \cdot k \cdot r)$$

Плоская волна:

$$E(r) = E_0 \cdot \exp(i \cdot \omega \cdot t - i \cdot k \cdot r)$$

На практике элементарные ПЗС-ячейки закрыты большим количеством технологических слоев (см. рис. 1), что делает необходимым для анализа прохождения излучения привлечение вычислительных моделей.



**Рис. 1. Многослойное покрытие элементарной ПЗС-ячейки ОЭА КА ДЗЗ.**



В модели прохождения излучения через подобную многослойную структуру каждый из слоев описывается толщиной  $d_m$  и комплексными коэффициентами преломления  $N_m$  (см. рис. 1),  $N_m = n_m - i \cdot k_m$ ,

где  $k_m = \lambda \times \alpha_m / (4 \cdot \pi)$

В результате для описания распределения амплитуд электрического поля используются соотношения:

– из условий непрерывности электрического и магнитного полей:

$$E_m^+ + E_m^- = E_m^+ \cdot \exp(i \cdot \delta_{m+1}) + E_m^- \cdot \exp(-i \cdot \delta_{m+1})$$

$$N_m \cdot [E_m^+ + E_m^-] = N_{m+1} \cdot [E_{m+1}^+ \cdot \exp(i \cdot \delta_{m+1}) - E_{m+1}^- \cdot \exp(-i \cdot \delta_{m+1})]$$

где  $\delta_{m+1} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda}\right) \cdot N_{m+1} \cdot d_{m+1} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda}\right) \cdot (n_m - i \cdot k_m) \cdot d_{m+1}$ .

Для последнего слоя в отсутствии отраженной волны, условия непрерывности электромагнитных световых полей приобретают вид:

$$E_s^+ + E_s^- = E_{s+1}^+, \quad N_s \cdot [E_s^+ + E_s^-] = N_{s+1} \cdot E_{s+1}^+.$$

Локальные (амплитудные) коэффициенты пропускания  $t_{m+1}$  и отражения  $r_{m+1}$  определяются как:

$$r_{m+1} = (N_m - N_{m+1}) / (N_m + N_{m+1}), \quad t_{m+1} = (2 \cdot N_m) / (N_m + N_{m+1})$$

и в матричной записи метода Абея вся вычислительная процедура, прохождения излучения через многослойное покрытие, принимает вид:

– для внутренних слоев:

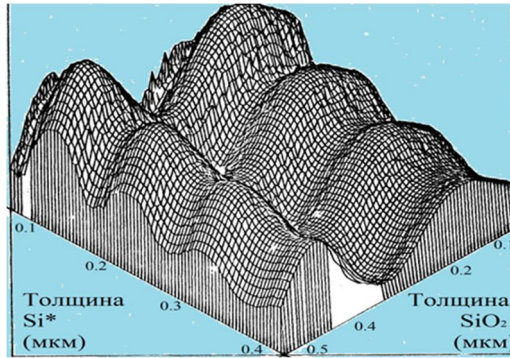
$$\begin{pmatrix} E_m^+ \\ E_m^- \end{pmatrix} = \|M_{m+1}\| \cdot \begin{pmatrix} E_{m+1}^+ \\ E_{m+1}^- \end{pmatrix} / t_{m+1}, \quad \|M_{m+1}\| = \begin{pmatrix} \exp(+i \cdot \delta_{m+1}) & r_{m+1} \cdot \exp(-i \cdot \delta_{m+1}) \\ r_{m+1} \cdot \exp(+i \cdot \delta_{m+1}) & \exp(-i \cdot \delta_{m+1}) \end{pmatrix}$$

– для крайнего слоя (полупроводниковой подложки):

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} E_s^+ \\ E_s^- \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 1 & r_{s+1} \\ r_{s+1} & 1 \end{vmatrix} / t_{s+1} \cdot \begin{vmatrix} E_{s+1}^+ \\ 0 \end{vmatrix}, \\ \begin{vmatrix} E_s^+ \\ E_s^- \end{vmatrix} &= \left[ \prod_{j=1}^{s+1} t_j \right]^{-1} \cdot \left[ \prod_{j=1}^{s+1} M_j \right] \cdot \begin{vmatrix} 1 & r_{s+1} \\ r_{s+1} & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} E_{s+1}^+ \\ 0 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

– и окончательно для мощности прошедшего и падающего излучения (пропускания  $T$ ) и отраженной мощности падающего излучения (отражения  $R$ ):

$$T_{s+1} = \left( n_{s+1} / n_0 \right) \cdot \left| E_{s+1}^+ / E_0^+ \right|^2, \quad R_1 = \left| E_0^- / E_0^+ \right|^2$$



**Рис. 2.** Моделирование коэффициента пропускания многослойного покрытия ОЭАв (%) в зависимости от толщин его слоёв (мкм) в том числе и для однослойного просветляющего покрытия толщиной  $d^l$ .

Результирующие распределения для коэффициентов пропускания многослойного покрытия представлены на рис. 2. Неправильно подобранные толщины слоев многослойных покрытий в ПЗС-ячейках оптико-электронной аппаратуры а могут уменьшать общий поток поглощенного в подложке излучения до 25 – 30%, что приводит к ухудшению качества принимаемого изображения в целом. На практике очень сложно добиться равномерной чувствительности элементарных фоточувствительных ячеек по всей площади ОЭА КА ДЗЗ. Незначительные отклонения толщины слоя окисла или поликремния

могут вызвать существенный разброс чувствительности от элемента к элементу.

В отдельных случаях это серьезно отражается на проценте выхода годных. Единственными методами борьбы с подобным явлением служат тщательный технологический контроль и применение противоотражающих покрытий. Полученные результаты использованы при общей оптимизации изделий ОЭА для КА дистанционного зондирования Земли.

## ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА АФАР РЛС X-ДИАПАЗОНА

**Е. В. Овчинникова, А. Н. Рогов**

*(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва)*

В настоящее время, когда импорт западной СВЧ электроники (США, Европа) ограничен, следует обратить внимание на восточных поставщиков (Китай) и собственные производства. В докладе будет представлен обзор и сравнение представленных на рынке составных частей приемо-передающих модулей (ППМ) для активных антенных решеток (АФАР). Также будут рассмотрены готовые технические решения, применяемые в системах контроля и калибровки антенных решеток. Обзор необходим для оценки возможности реализации ППМ, обеспечивающих требуемые функциональные возможности АФАР.

Перспективным направлением развития АФАР является модернизация ППМ и изготовление их на отечественной элементной базе. В работе [1] описан ППМ X-диапазона с системой контроля мощности, основанной на положительной обратной связи. Компания «Микран» использует 3D-технологии для повышения технологичности модулей. Использование цифровых устройств обработки сигналов в X-диапазоне вместо элементов фидерного тракта позволяет снизить потери. Современные АЦП имеют частоту дискретизации до 26 GSPS [2], что позволяет использовать их при разработке ЦАР, работающих на частотах до 13 ГГц. При охлаждении сигнальных процессоров жидким гелием, достигают рабочую частоту в 9 ГГц [3]. Немаловажной задачей является калибровка АФАР. Для решения этой задачи также могут использоваться ППМ. Поэтому применение современной элементной базы позволяет расширить функциональные возможности модулей и обеспечить своевременную диагностику АФАР.

Следующая немаловажная задача связана с повышением энергетического потенциала антенных систем. АФАР и ЦАФАР позволяют существенно повысить энергетический потенциал по сравнению с ФАР за счет увеличения излучаемой мощности. ППМ «Аббат-И»[4] с выходной мощностью 5,5 Вт, ППМ SMTRM [5] 5,6 Вт, NCSIST [6] 12 Вт, ППМ Микран [7] 5,5 Вт.

В докладе приведена элементная база и готовые ППМ отечественного и зарубежного производства. Рассмотрены различные схемы построения модулей с использованием современной элементной базы. Приведены АФАР

X-диапазона и дано сравнение их технических характеристик. Разработана модель ЦАФАР РЛС X-диапазона. Показана необходимость совершенствования ППМ для измерения и калибровки АФАР.

### Литература

1. Карасев М .С. Оперативный контроль электрических параметров приемо-передающих модулей X-диапазона частот // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2021. – Вып. 3(550).
2. HMCAD5831LP9BE // Analog Devices URL:<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/hmcad5831.p> (дата обращения: 29.12.2023).
3. Частота ЦП // HWBOT URL: [https://hwbot.org/benchmark/cpu\\_frequency/halloffame](https://hwbot.org/benchmark/cpu_frequency/halloffame) (дата обращения: 22.07.2024).
4. Карасев М.С. Перспективный многофункциональный приемо-передающий модуль АФАР Xдиапазона // Научно-технический сборник «Электронная техника» Серия 1 «СВЧ-техника», Выпуск 1(532) – 2017г.
5. R. Rieger, P. Schuh and M. Oppermann, «SMTR® module – Evolution towards airborne applications», 2014 International Radar Conference, Lille, France, 2014.
6. AESA T/R module // NCSIST URL: [https://www.ncsist.org.tw/eng/csisdup/products/product.aspx?product\\_id=279&catalog=41](https://www.ncsist.org.tw/eng/csisdup/products/product.aspx?product_id=279&catalog=41) (дата обращения: 22.07.2024).
7. СВЧ ЭЛЕКТРОНИКА И МОДУЛИ // Микран URL: [https://www.micran.ru/upload/uf/b63/C\\_%D0%A1%D0%92%D0%A7-%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0\\_RU\\_3.20.pdf](https://www.micran.ru/upload/uf/b63/C_%D0%A1%D0%92%D0%A7-%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_RU_3.20.pdf) (дата обращения: 22.07.2024).

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТРЕБНОСТИ В МАСШТАБИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА УЗКОНОМЕНКЛАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОПК

<sup>1,2</sup>С. Е. Мальцев, <sup>3,4</sup>Е. С. Кузнецова

(<sup>1</sup> АО «УМЗ», г. Ульяновск,

<sup>2</sup> Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей» им. академика В. П. Ефремова», г. Москва,

<sup>3</sup>АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва,

<sup>4</sup> Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, г. Зеленоград)

*В статье представлена методика математического моделирования для оценки потребности в масштабировании производства узкономенклатурных электронных модулей на предприятиях оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Методика основана на применении уравнения Лагранжа для определения текущего состояния производства и выявления критических точек, в которых необходимо принимать решение о наращивании производственных мощностей. Предлагаемый подход позволяет на ранних этапах оценивать потребность в масштабировании с учетом динамики спроса и производственных возможностей, определять оптимальное время для увеличения мощностей и снижать риски дефицита продукции. Результаты внедрения методики на примере конкретного предприятия ОПК продемонстрировали ее высокую эффективность в оптимизации производственного планирования и принятии управленческих решений.*

**Ключевые слова:** оборонно-промышленный комплекс, узкономенклатурная продукция, масштабирование производства, математическое моделирование, уравнение Лагранжа.

Современные предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК) сталкиваются с вызовами, связанными с необходимостью повышения эффективности производства узкономенклатурных электронных модулей. С одной стороны, требуется обеспечить устойчивую производственную систему для выполнения государственного оборонного заказа с учетом динамически меняющихся требований. С другой стороны, ограниченные ресурсы и необходимость минимизировать затраты ставят перед предприятиями сложную задачу оптимизации производственных процессов.

Особую актуальность приобретает способность своевременно определять потребность в масштабировании производства, чтобы избежать рисков нехватки мощностей и сбоев в выполнении заказов. Традиционные методы оценки часто оказываются недостаточно эффективными и не учитывают динамику производственных процессов[1].

Для оценки потребности в масштабировании производства узкономенклатурных электронных модулей на предприятиях ОПК предлагается новая методика, основанная на применении уравнения Лагранжа.

Методика позволяет определить текущее состояние производства, оценить необходимость масштабирования и определить «запас устойчивости», аналогичный запасу устойчивости в системах автоматического управления.

Если представить поставленную задачу в виде:

$$z = f(x) \rightarrow \min(\max)$$

$$\begin{cases} \varphi_i(x) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \\ x = (x_1, \dots, x_n) \\ x_i \geq 0 \end{cases},$$

где  $f(x)$  – целевая функция,

$\varphi_i(x)$  – функции, определяющие ограничения задачи,

то функцию переменных  $x, \lambda_1, \dots, \lambda_n$  определим как функцию Лагранжа, которая представляет собой линейную комбинацию  $f(x)$  и  $\varphi_i(x)$ .

Используемая функция Лангранжа приведена ниже

$$(x, \lambda_0, \dots, \lambda_m) = f(x) + \sum_{i=1}^m \varphi_i(x) \lambda_i, \text{ где } \lambda_i \text{ – множители Лагранжа.}$$

Уравнение Лагранжа используется для определения динамики производства и выявления тенденций в изменении загруженности производственных мощностей. Вводится понятие «запаса устойчивости», которое показывает, насколько производственная система способна выдерживать изменения в заказах или требованиях без необходимости масштабирования. На основе данных о текущем состоянии и запасе устойчивости строится математическая модель динамики производства. Модель позволяет прогнозировать будущую загружен-

ность производственных мощностей и определять критические точки, в которых необходимо будет провести масштабирование производства [2].

Преимуществами методики являются: раннее выявление потребности в масштабировании, оптимизация временных затрат, увеличение эффективности использования ресурсов [3].

Раннее выявление потребности позволяет заблаговременно планировать необходимые меры и минимизировать риски перебоев в производстве. Своевременное начало процесса расширения производственных мощностей снижает временные затраты и избавляет от необходимости срочных и дорогостоящих мер. Методика помогает оптимизировать использование ресурсов и затрат, позволяя избежать излишнего масштабирования и не инвестировать в лишние производственные мощности.

Анализ полученных данных на предприятии продемонстрировал, что при текущих производственных мощностях и прогнозируемой динамике спроса, предприятию потребуется увеличить объемы производства на 25 % в течение ближайших 18 месяцев. Это позволит избежать дефицита продукции и обеспечить бесперебойные поставки заказчикам.

Результаты применения методики на примере конкретного предприятия ОПК подтвердили ее эффективность в оценке потребности в масштабировании производства узкономенклатурных электронных модулей. Проведенное имитационное моделирование позволило определить критические точки, в которых возникает необходимость в масштабировании производства для удовлетворения растущего спроса. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации производственного планирования и принятия обоснованных управленческих решений.

### **Литература**

1. Борискин О. И., Ларин С. Н., Нуждин Г. А., Нуждин М. Г. Управление и обработка информации об изделии машиностроения. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 9. С. 290 – 295.
2. Нуждин Г. А., Самошкин Ю. А., Ляпина Г. И. Процессный подход к менеджменту качества: стратегическое планирование. // Справочник. Инженерный журнал. 2005. №6. С. 26 – 29.
3. Седаков Д.В., Милов В. Р., Егоров Ю. С. Информационная поддержка процессов управления полным жизненным циклом изделий. // В сборнике: КОГРАФ-2018. Сборник материалов 28-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам. 2018. С. 139 – 144.



# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДОПУСТИМЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КА ДЗЗ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**М. С. Бородин**

*(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)*

Ключевым фактором, определяющим пространственно-частотные и радиометрические показатели качества данных ДЗЗ, получаемых с космических аппаратов оптико-электронного наблюдения (КА ОЭН), являются точность поддержания заданной скорости движения изображения (СДИ) на матричных фоточувствительных приборах с переносом заряда (ФППЗ) или точность вычисления СДИ для передачи в оптико-электронную систему (ОЭС) в целях синхронизации переноса заряда.

Для выполнения съемки необходимо прогнозировать СДИ с требуемой точностью, задаваемой либо исходя из допустимого снижения функции передачи модуляции звена регистрации изображения сквозного информационного тракта (СИТ), либо исходя из требуемой радиометрической точности.

Допустимая погрешность СДИ для современных КА лежит в пределах от 0,02 до 0,2 мм/с в зависимости от режима съемки, параметров орбиты и ОЭС.

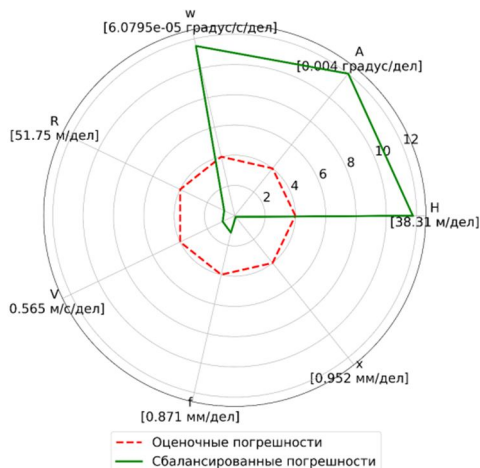
Погрешность СДИ может быть вычислена по методике стандартных рекомендаций оценивания косвенных измерений [2] применительно к формулам расчета СДИ [1]. При этом необходимо знать частные производные функции СДИ по всем параметрам КА и съемки, и знать погрешности этих параметров.

В нашем случае ставится обратная задача – по заданной допустимой погрешности СДИ выполнить оценку допустимых погрешностей вычисления вектора состояния, ориентации и стабилизации, параметров ОЭС (фокусное расстояние и точность установки ФППЗ), знания высоты рельефа. Кроме того, установление количественной взаимосвязи погрешностей параметров через допустимую погрешность СДИ позволит изменять баланс погрешностей параметров с целью снижения требований по точности для ряда параметров, и, следовательно, упростить их технические реализации.

Основная проблема в решении данной задачи состояла в вычислении частных производных функции СДИ. С помощью символьных преобразований языка Python удалось сформировать программный код для вычислений частных производных. Размер каждого программного модуля составил не более 130 строк. Правильность кода была проверена путем сравнения результатов со значениями частных производных, полученных методом разделенных разностей.

В уравнении связи допустимых погрешностей должны использоваться максимальные частные производные (максимальные коэффициенты чувствительности), нахождение которых было произведено на множестве вариантов, полученных перебором углов крена, тангажа и рысканья с некоторым шагом в пределах заданного диапазона для характерных точек орбиты.

На рисунке показан пример применения методики. Пунктирная линия – граница равноточных допустимых погрешностей (для наглядности показаны по одной компоненте векторов). Сплошная линия – граница сбалансированных погрешностей параметров  $A$ ,  $w$ ,  $H$ . Таким образом, демонстрируется возможность увеличения допустимой погрешности ориентации и стабилизации.



Допустимые погрешности ( $R$  – координата КА,  $V$  – компонента скорости КА,  $H$  – высота рельефа,  $A$  – угол ориентации,  $w$  – компонента угловой скорости,  $f$  – фокусное расстояние,  $x$  – координата ФПЗ в фокальной плоскости)

### **Литература**

1. Батраков А.С. Прогнозирование скорости сдвига оптического изображения при съемке земной поверхности. – Исследование Земли из космоса, № 1, 1984, с.79 – 85.
2. МИ 2083-90. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

## ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСПУТНИКОВЫМИ ОРБИТАЛЬНЫМИ ГРУППИРОВКАМИ

А. И. Жодзишский, Н. В. Рябогин, Р. В. Тишкин  
(АО «Российские космические системы» г. Москва)

Достоинства низкоорбитальных многоспутниковых группировок (МОГ) КА наблюдения (дистанционного зондирования Земли) привели к широкому использованию их за рубежом. В России создание аналогичных МОГ предусматривается федеральной программой «Сфера», в рамках которой выполняются ряд НИОКР.

Автоматические системы управления (АСУ) КА состоят из бортового (БКУ) и наземного (НКУ) комплексов управления, объединенных радиолиниями командно-измерительной системы (КИС).

Технология управления отечественными низкоорбитальными КА ДЗЗ хорошо отработана. Однако, распространение ее на КА МОГ, содержащие сотни КА, приводит к пропорциональному росту числа сеансов управления, ЗС КИС и затрат на создание и эксплуатацию НКУ МОГ. Необходима разработка новой технологии.

Технология управления КА многоспутниковых низкоорбитальных группировок ДЗЗ должна предусматривать:

- определение на борту текущих координат КА с помощью аппаратуры потребителя ГЛОНАСС с передачей их на землю в составе ТМИ;
- анализ ТМИ на борту КА с парированием НШС и уведомлением ЦУП;
- формирование сигналов оповещения («Вызов НКУ», «Я в ЗРВ», и других), передаваемых по целевой радиолинии, либо по специализированной линии;
- использование ретрансляционного управления как через геостационарные спутники, так и через МОГ передачи данных на более низких орбитах;
- применение имитационной модели («Цифровой двойник») орбитальной группировки, отдельных КА и средств НКУ с возможностью обращения к информации о предыдущих состояниях;
- прогнозирование состояния КА и НКУ по результатам предшествующих телеметрических измерений с использованием искусственного интеллекта.

Первоочередной проблемой при проектировании любых радиолиний (в том числе КИС) является выбор и оформление разрешения на полосы используемых частот.

Кроме того, при создании перспективных ЗС КИС необходимо обеспечить возможность управления как новыми, так и уже существующими КА. Для этого в АО «Российские космические системы» для перспективных ЗС КИС разработан модуль цифровой обработки сигналов, позволяющий программным способом оперативно формировать любые сигнально-кодовые конструкции, применяемые в БА КИС.

Другой проблемой управления МОГ является оптимизация планирования проводимых сеансов управления между ЗС КИС. Указанная проблема решается с помощью «Цифрового двойника» ОГ МОГ.

## **МИКРОВОЛНОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ НА БАЗЕ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, МИКРО- И НАНОСПУТНИКОВ**

**И. А. Барсуков, В. В. Болдырев, М. И. Гаврилов, В. П. Григорьев,  
С.А. Гришунин, Г. Е. Евсеев, В. Ю. Панцов,  
М. С. Стрельцов, В. В. Яковлев**

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

## **ВОПРОСЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОДИФИКАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ**

**В. А. Ламзин, В. В. Ламзин**

*(Московский авиационный институт*

*(национальный исследовательский университет), г. Москва)*

Анализ развития техники и технологий показывает, что модернизация космической системы (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) связана с заменой подсистем или добавлением новых подсистем в базовую систему с целью повышения ее технико-экономической эффективности при новых условиях использования. Реализация проекта модернизации КС ДЗЗ включает формирование альтернативных решений, исследование характеристик модификаций космических аппаратов (КА) в составе КС ДЗЗ с целью повышения эффективности системы при ограниченных затратах, а также с целью расширения функциональных возможностей и продления сроков эффективного применения. Анализ перспектив развития КА ДЗЗ на ближайшие десятилетия показывает, что, с целью повышения их эффективности при ограниченных затратах, широкое применение найдут модификации аппаратов, созданные с учетом критических технологий, эффективных проектно-конструкторских решений (ПКР), замены подсистем, а также при реализации принципов унификации базовых элементов [1 – 4].

В докладе рассматриваются вопросы прогнозирования характеристик перспективных модификаций КА в составе КС ДЗЗ с учетом динамики функциональных связей, проводится исследование влияния фактора времени на характеристики КА в прогнозируемый период. Приведена постановка задачи оценки рациональных характеристик модификации КА, метод и алгоритм ее решения. Задача является многокритериальной. При записи задачи используется метод ограничений. Критерием являются затраты на разработку, выведение на орбиту функционирования и эксплуатацию модификации КА в прогнозируемый период. На другие показатели эффективности наложены ограничения типа неравенств. Предполагается, что параметры базового объекта известны. При оценке характеристик перспективных модификаций КА в составе КС

учитывается фактор времени, проводится прогнозирование динамики связей и значений определяющих параметров к моменту времени прогноза.

При решении задачи используется многоуровневая модель управления разработкой модификации КА и метод многоуровневой согласованной оптимизации при статистическом учете функциональных связей [1, 2]. На верхнем уровне управления разработкой проводится проектный анализ модификации КА как объекта в целом. На нижних уровнях – детальный проектный анализ модуля целевой аппаратуры с учетом особенностей ПКР заменяемых подсистем. При этом последовательно решаются задачи оценки характеристик модификации КА и характеристик подсистем аппарата при заданных функциональных и параметрических связях, адаптации проектной модели модификации аппарата и уточнение функциональных и параметрических связей, согласованной оптимизации характеристик аппарата и его подсистем.

Проектная модель учитывает динамику функциональных связей (изменение целевой нагрузки, возможность замены базовых ПКР на перспективные), особенности заменяемых подсистем без расширения своего состава. Реализация такого подхода дает возможность организовать многовариантные исследования и обеспечить определение рациональных характеристик за счет расширения области возможных решений.

При оценке затрат на проект модификации КА используется опыт реализации аналогичных проектов, динамические статистические модели и статистические данные по образцам-прототипам. Показано, что на затраты влияют не только фактор времени (сроки реализации проекта, время прогнозирования, длительность периодов разработки и эксплуатации аппарата), но и динамика функциональных связей (темпы научно-технического прогресса и др.) в прогнозируемый период.

На модельном примере в период до 2040 года приведены оценки рациональных характеристик варианта модификации КА при замене базовых ПКР и применяемых материалов на перспективные варианты. Показано, например, что по сравнению с существующими КА масса целевой аппаратуры перспективного варианта модификации аппарата может быть снижена почти вдвое, информационная производительность увеличена втрое. Полученные на модельном примере оценки характеристик модификаций КА могут быть использованы для детального анализа эффективности КС ДЗЗ с целью прогнозирования их развития, расширения области применения и продления сроков использования.

## Литература

1. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Методы прогнозирования характеристик космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. – М.: Изд-во МАИ, 2019. – 160 с.: ил.
2. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., В.В. Ламзин В.В. Основы проектирования модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. – М.: Изд-во МАИ, 2015. – 176 с.: ил.
3. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Метод прогнозных исследований эффективности модификаций КА при комплексной замене подсистем // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 4. – С. 53–59.
4. Ламзин В.А. Алгоритмы межпроектной унификации бортовых систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2021. Т. 181. №2. – С. 18 – 23.



## КОНСТРУКЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Ю. В. Сычиков, Э. В. Гаджиев, Ю. А. Куксин, А. В. Заграева  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

***Аннотация:** в данной работе представлен обзор конструкций малых космических аппаратов, разработанных предприятием АО «Корпорация «ВНИИЭМ». Показаны как совместные проекты, так и собственные. Подробно представлены конструкции разработанных и введённых в эксплуатацию таких малых космических аппаратов, как «Университетский-Татьяна-2», «Канопус–В», «Ломоносов» и «Канопус-В»-ИК. Представлен анализ состояния и перспектив развития в части построения конструкции перспективного малого космического аппарата.*

***Ключевые слова:** космический аппарат, космическая платформа, космический комплекс, дистанционное зондирование Земли, служебная платформа, целевая аппаратура, конструкция, батарея солнечная*

### Введение

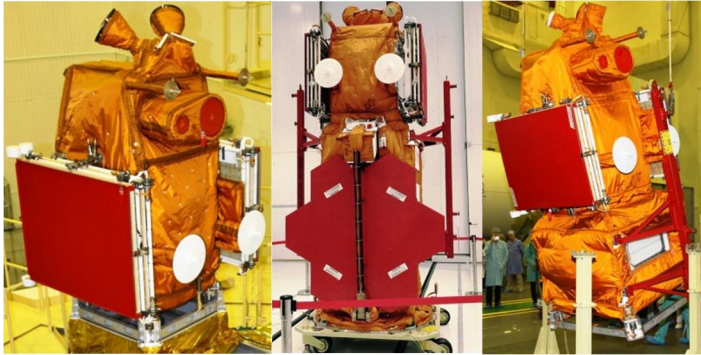
В настоящее время большее внедрение находят космические аппараты (КА) так называемого малого класса, обладающие массой менее 1 т.

Малые КА, как правило, обладают негерметичным корпусом, на них используются компактные (стационарные), не раскрываемые батареи солнечные (БС) или БС, оснащённые механизмами раскрытия (возможно комбинирование этих типов БС), а также многофункциональной целевой аппаратурой и минимальным количеством резервирующих элементов. Для их производства применяются инновационные материалы и достижения микроэлектроники. Благодаря всему выше перечисленному такие аппараты имеют небольшие размеры и массу. Применение малых КА позволяет оперативно развёртывать на орбите космических комплексов (КК).

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» г. Москва обладает положительным опытом разработки, производства и эксплуатации малых КА [1–3].

Цель данной работы заключается в проведении анализа разработанных и разрабатываемых на предприятии малых КА и определения дальнейших перспективных направлений развития в части конструкции перспективного малого КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

## Основная часть



*а*

*б*

*в*



*г*



**Рис. 1. Фото малых КА:  
*а* – КА «Канопус-В»; *б* – КА «Ломоносов»; *в* – КА «Канопус-В»-ИК;  
*г* – КА «Университетский-Татьяна-2»**

На рис. 1 представлены спроектированные предприятием АО «Корпорация «ВНИИЭМ» малые КА, в том числе на базе космической платформы (КП) «Канопус-В» [4, 5].

В работе проведён анализ конструкций малых КА в части таких параметров как [6, 7]:

- несущая конструкция (геометрическая форма);
- тип корпуса;
- тип БС и др.

В настоящее время наблюдается тенденция в создании КА ДЗЗ с оптико-электронной аппаратурой (ОЭА) высокого пространственного разрешения [8].

Для решения такой задачи необходимо реализовать следующую концепцию проектирования конструкции КА как «КА–ОЭА», т.е. необходимо пересмотреть принцип проектирования конструкции всего КА с целью обеспечения размещения ОЭА высокого пространственного разрешения.

### **Заключение**

Сравнительный анализ, проведённый в данной работе, показал, что применение малых КА, спроектированных на базе КП, приводит:

- к повышению технологичности самого аппарата;
- к возможности серийного выпуска;
- к уменьшению сроков проектирования;
- к сокращению сроков изготовления;
- к сокращению сроков проведения испытаний;
- к уменьшению себестоимости аппарата.

Показана целесообразность применения концепции «КА–ОЭА» при проектировании конструкции перспективного малого КА ДЗЗ с высоким пространственным разрешением.

### **Литература**

1. Макриденко Л. А., Боярчук К. А. Микроспутники. Тенденция развития. Особенности рынка и социальное значение // «Вопросы электромеханики». Труды ВНИИЭМ. 2005. Т. 102. С. 12 – 27.
2. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, В.П. Ходненко [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2010. – Т. 114. – № 1. – С. 15 – 26.

3. Перспективные спутники ВНИИЭМ – новая ступень в развитии орбитальной космической техники / Л. А. Макриденко, Б. М. Шустов // Российский космос. – М., 2011. – № 2 (62). – С. 20 – 25.
4. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Горбунов А. В., Салихов Р. С., Ходненко В. П. КА «Канопус-В» № 1 – первый российский малый космический аппарат высокодетального дистанционного зондирования Земли нового поколения. Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2017. Т. 156. С. 10 – 20.
5. Макриденко Л. А., Волков С.Н., Горбунов А. В., Салихов Р. С., Ходненко В. П. Научный космический аппарат «Ломоносов». Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2017. Т. 161. С. 28 – 44.
6. Сычиков Ю. В., Зайцев Н. Г., Васильев И. В., Заграева А. В., Гаджиев Э. В. Обзор конструкций малых космических аппаратов. Материалы Девятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ». 2021. С. 58 – 61.
7. Гаджиев Э. В., Заграева А. В. Конструкция малых космических аппаратов. Международная конференция «Космические системы». Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2021. С. 32 – 33. Электронный ресурс <https://space.mai.ru/files/abstracts2021.pdf>
8. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Геча В.Я., Жиленёв М. Ю., Казанцев С. Г. Космические аппараты дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения. Аналитический обзор по зарубежным источникам. Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2017. Т. 157. С. 12 – 31.

## СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**Ю. В.Сычиков, А.В. Чобитько, Э.В. Гаджиев, Ю. А. Куксин**  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

*В данной работе рассмотрен вопрос обеспечения теплового режима бортовой аппаратуры космического аппарата. Приведён состав средств обеспечения теплового режима космического аппарата. Определены перспективные направления дальнейшего развития средств обеспечения теплового режима космических аппаратов.*

**Ключевые слова:** космический аппарат, средства обеспечения теплового режима, элементы конструкции, бортовая аппаратура

### Введение

Как известно [1], одной из задач при проектировании космических аппаратов (КА) любого класса и целевого назначения является обеспечение теплового режима.

В космическом пространстве при малой плотности частиц вещества передача тепла от тел происходит посредством излучения. Тела, которые соприкасаются друг с другом, передают тепло с помощью механизма теплопроводности. С развитием космонавтики большое внимание уделяется лучистому внешнему теплообмену, теплообмену между наружными поверхностями и воздействию солнечных потоков.

Внутри КА возможен лучистый теплообмен и теплообмен теплопроводностью в негерметичных отсеках, а при наличии гравитационного поля или применении специальных циркуляционных систем в герметичных отсеках КА – конвективный теплообмен. Поэтому влияние внешнего теплообмена приобрело особое значение в развитии современной космической техники [2].

Средства обеспечения теплового режима (СОТР) КА предназначены для поддержания температуры элементов конструкции и бортовой аппаратуры (БА) в требуемых температурных интервалах [3].

Работа БА КА неизбежно сопровождается выделением теплоты, при этом её распространение требуется регулировать в зависимости от режима работы всего комплекса БА. Причём режим работы одних приборов в некоторых случаях существенно влияет на тепловой режим других приборов.

Целью данной работы является определение состояния и перспектив дальнейшего развития СОТР КА.

### **Основная часть**

Так как задача СОТР решается с помощью регулирования внешнего теплообмена и организации тепловых потоков внутри корпуса КА, то важную роль при проектировании СОТР играет компоновочная схема КА, т.е. СОТР является частью конструкции КА [4].

В состав СОТР входят [5]:

- чувствительные элементы;
- управляющие системы;
- исполнительные органы.

В настоящее время в связи с потребностью в создании КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с оптико–электронной аппаратурой (ОЭА) высокого пространственного разрешения требуется развитие более современных подходов к исследованию, проектированию и испытанию СОТР [6].

### **Заключение**

В данной работе рассмотрены и представлены СОТР КА. Показана актуальность разработки СОТР для КА ДЗЗ с ОЭА высокого пространственного разрешения. Отмечены возможные пути построения такой СОТР КА.

### **Литература**

1. Никольский В. В. Проектирование сверхмалых космических аппаратов: учебное пособие / В. В. Никольский; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2012. – 59 с.
2. Теплообмен в космосе: учеб. пособие / С.В. Цаплин, С.А. Большев, А. Е. Романов. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2018. – 92 с.
3. Малоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.
4. Сычиков Ю. В., Зайцев Н. Г., Васильев И. В., Заграева А. В., Гаджиев Э.В. Обзор конструкций малых космических аппаратов. Материалы Девятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ». 2021. С. 58 – 61.
5. Сычиков Ю. В., Чобитько А. В, Куксин Ю. А., Гаджиев Э. В. Обзор средств обеспечения теплового режима космических аппаратов. Материалы Девятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». 2021. С. 70 – 71

6. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Геча В. Я., Жиленёв М. Ю., Казанцев С. Г. Космические аппараты дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения. Аналитический обзор по зарубежным источникам. Вопросы электро-механики. Труды ВНИИЭМ. 2017. Т. 157. С. 12 – 31.

# МЕТОДЫ АСТРОКАЛИБРОВКИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗБЫТОЧНОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕКТОРА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В ПОЛЕТЕ

А. С. Пивоваров, И. В. Соловьев  
(МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА», г. Москва)

## Введение

Систематические погрешности гироскопического прибора определяются и паспортизируются в результате заводской калибровки прибора. Однако под действием возмущающих факторов, действующих на космическом аппарате (КА) в процессе выведения на орбиту, значения систематических погрешностей гироскопического измерителя вектора угловой скорости (ГИВУС) после выведения, как правило, существенно отклоняются от паспортных. Возникает задача повторной калибровки прибора с использованием телеметрической информации, полученной в полете. Эта задача решается путем наземной комплексной постобработки информации измерительных каналов (ИК) ГИВУС и астродатчиков. Полученные значения калибровочных параметров передаются на борт КА.

В предлагаемом докладе излагается методика полетной астрокалибровки информационно-избыточного ГИВУС и результаты ее использования в летных испытаниях космического аппарата.

## Полетная калибровка гироскопического измерителя вектора угловой скорости

### *Постановка задачи*

Калибровочная модель ГИВУС содержит 16 параметров: 4 смещения нулевых сигналов («дрейфов») ИК, 4 масштабных коэффициента ИК, 8 углов перекосов осей чувствительности ИК относительно номинальных положений. В режиме астрокалибровки производились калибровочные маневры КА, состоящие из последовательных поворотов на  $+90^\circ$ ,  $-180^\circ$ ,  $+90^\circ$  вокруг каждой из трех осей связанной системы координат (ССК) КА. При этом в составе телеметрической информации с частотой 5 Гц на Землю передавались «сырые» измерения ИК и кватернионы ориентации ССК КА относительно инерциальной системы координат, выдаваемые двумя астродатчиками. Требовалось на основании полученных данных оценить значения калибровочных параметров прибора.



С целью проверки результатов и подтверждения их повторяемости поставленная задача решалась тремя независимыми методами.

#### ***Первый метод оценки калибровочных параметров с помощью фильтра Калмана***

В первом методе производится разбиение четырех ИК на три тройки, содержащие ИК с номерами 1-2-3, 1-2-4, 1-3-4. Для каждой из троек с помощью фильтра Калмана оцениваются поправки к паспортным значениям калибровочных параметров. В качестве измерений используются кватернионы астродатчиков.

Фильтр Калмана запускается последовательно несколько раз. В каждой итерации фильтра вычисляются поправки к уточненным на предыдущей итерации паспортным значениям калибровочных параметров. Условием завершения итерационного процесса является малость вариаций оценок между итерациями.

#### ***Второй метод оценки калибровочных параметров с помощью фильтра Калмана***

Во втором методе также используется разбиение осей чувствительности на тройки. При этом предполагается, что ось чувствительности первого ИК направлена идеально, и оцениваются отклонения направлений оси второго ИК относительно направления оси первого ИК и оси третьего ИК относительно направлений осей первого и второго ИК. Отличие второго метода от первого состоит также в том, что используются несколько иные модели задач оценивания.

#### ***Метод оценки калибровочных параметров с помощью метода наименьших квадратов***

В этом методе [1] калибровочные параметры оцениваются с помощью статического метода наименьших квадратов, в котором минимизируется сумма квадратов невязок между угловыми скоростями ГИВУС и угловыми скоростями, формируемыми на основе показаний астродатчиков.

### **Заключение**

Решена задача калибровки информационно-избыточного гиросприбора космического аппарата по результатам наземной обработки полетной телеметрической информации, содержащей измерительную информацию гирос-

прибора и астродатчиков. С целью проверки результатов и подтверждения их повторяемости задача решена тремя независимыми способами. Полученные результаты показывают, что под воздействием вибрационных возмущающих факторов, действующих на КА в процессе выведения на орбиту, перекосы осей чувствительности измерительных каналов после выведения существенно (до полуградуса) отклоняются от паспортных значений, что выражается в значительных (до нескольких градусов в час) дополнительных дрейфах измерительных каналов. Коррекция паспортных параметров гиросприбора по результатам полетной калибровки позволила уменьшить оценки дрейфов примерно на порядок и привести их в соответствие со значениями, содержащимися в технической документации на прибор.

### **Литература**

1. И. В. Соловьев, Н. В. Рябогин Метод полетной калибровки резервированного гироскопического измерителя вектора угловой скорости космического аппарата. Авиакосмическое приборостроение, № 3, 2016.

## СПУТНИКОВАЯ АКСЕЛЕРОМЕТРИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**В. Б. Дубовской, В. И. Леонтьев, В. Г. Жильников**  
*(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки им.  
О. Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва)*

Создание акселерометрической аппаратуры с разрешением  $10^{-10}$  –  $10^{-13}$  g находится на грани технических возможностей приборостроения и требует использования современного научно-технического потенциала в области материаловедения, электроники, конструкторских решений, систем стабилизации физических параметров приборов, программного обеспечения, метрологии и т.д.

Серийно выпускаемые акселерометры, выполненные по МЭМС технологии (Q-flex и Si-flex) (микроэлектронная механическая система), имеют чувствительность на четыре-пять порядков ниже требуемой.

Лучшие зарубежные разработки спутниковых акселерометров построены по схеме левитационного электростатического подвеса пробной массы.

Нами был выбран альтернативный подход к построению высокочувствительных акселерометров, требующий существенно меньших затрат, с использованием торсионного подвеса пробного тела (инерционной массы) датчика ускорений и магнитоэлектрической обратной связи. Такой подход применялся в спутниковых акселерометрах типа ИМУ (измеритель микроускорений, совместная разработка ИФЗ РАН и ЦНИИМаш), используемых на орбитальных станциях «Салют», «Мир», МКС, и в наземных приборах: гравиметрах ГАГ-3М, наклономерах, микронивелирах, скважинных инклинометрах.

Торсионный подвес пробного тела имеет предельно малую упругость на изгиб и фактически является виртуальным. В то же время он обеспечивает строгое задание осей чувствительности прибора и возможность полноценных наземных испытаний (в отличие от левитационных приборов). Специальные ограничители движения маятника, позволяют сохранять работоспособность прибора после действия больших перегрузок во время выведения на орбиту. Как показали проведенные наземные испытания, прибор выдерживает ударные перегрузки до 20 g и более.

Шумовые характеристики акселерометров в наземных условиях можно достоверно оценить по разностному сигналу двух и более акселерометров с максимально близкими амплитудно-частотными характеристиками.

В докладе приведен разностный сигнал двух акселерометров торсионного типа, установленных на антисейсмической платформе, с собственными шумами не более  $1 - 2 \cdot 10^{-10}$  g в диапазоне частот 0,1 – 0,005 Гц.

Анализ физических ограничений предельного уровня шумов акселерометров показывает, что при используемом варианте конструктивного исполнения приборов возможности снижения уровня шума практически исчерпаны. Дальнейшее снижение уровня шума более чем на порядок планируется нами за счет значительного снижения упругой связи пробной массы акселерометра с корпусом (подвес типа Цельнера) и увеличения массы пробного тела в 5 – 10 раз. Это позволит наконец, выйти на уровень лучших зарубежных спутниковых акселерометров.

## ЭТАЛОНИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И ГРАВИГРАДИЕНТОМЕТРОВ

**В. Б. Дубовской, В. И. Леонтьев, В. Г. Жильников**

*(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки им.  
О. Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва)*

В наземных условиях масштабирование спутниковых акселерометров осуществляется методом наклона с использованием прецизионной угломерной установки а также путем подачи эталонного синусоидального напряжения в систему обратной связи акселерометра.

В космосе масштабирование акселерометров и гравигradientометров производится путем встряхивания и модуляции ионной тяги калибровочными системами двигателей спутника. Такая система калибровки связана с энергозатратами, сокращающими время жизнедеятельности спутника и не обеспечивает качественную амплитудную модуляцию возмущений.

Нами предлагается альтернативная система эталонирования акселерометров в космосе и в наземных условиях с помощью колебательных систем гантельного типа, обеспечивающих периодическое воздействие гравитирующих масс гантелей на пробные массы акселерометров.

Для эталонирования гравигradientометра на торсионе, закрепленном диагонально к углам куба, на гранях которого размещены трёхосные акселерометры, крепятся пары гантелей из трех масс, колеблющихся в противофазе и обеспечивающих калибровку всех 18 компонентов акселерометров.

Гравитирующая масса задает амплитуду сигнала

$$W_{xx} = \frac{\gamma m [\sqrt{3} \sin(\alpha_0 \sin \omega t) - \cos(\alpha_0 \sin \omega t) + 1]}{6[r^2 + \frac{a}{3}(a + 2r)(1 - \cos(\alpha_0 \sin \omega t_1))]^{3/2}} 10^9 (E)$$
$$W_{yy} = \frac{\gamma m [\sqrt{3} \sin(\alpha_0 \sin \omega t) + \cos(\alpha_0 \sin \omega t) - 1]}{6[r^2 + \frac{a}{3}(a + 2r)(1 - \cos(\alpha_0 \sin \omega t_1))]^{3/2}} 10^9 (E)$$
$$W_{zz} = \frac{\gamma m [\frac{1}{3} - \frac{1}{3} \cos(\alpha_0 \sin \omega t) + \frac{r}{a}]}{[r^2 + \frac{a}{3}(a + 2r)(1 - \cos(\alpha_0 \sin \omega t_1))]^{3/2}} 10^9 (E)$$

При амплитуде колебаний колебательных систем 0,2 рад., расстоянии гравитирующей массы (0,7 кг) от пробных тел акселерометров 0,05 м амплитуда периодического сигнала (пик-турик) градиентометра с базой 0,5 м составит  $\approx 20$  Е (Этвеш), а акселерометров соответственно  $\approx 10^{-8}$  м/с<sup>2</sup>.

Данная система позволяет определять как амплитудные, так и фазовые характеристики акселерометров гравиградиентометра, практически без затрат энергии, благодаря высокой добротности колебательных систем в вакууме ( $Q=10^4 \div 10^5$ ). Такой вариант масштабирования увеличивает время жизнедеятельности спутника и повышает точность определения характеристик гравиградиентометра до величины 0,1 – 0,2% и позволяет тестирующий сигнал подавать непрерывно в течение всего времени эксплуатации КА с минимальными затратами энергии  $N = 3 \cdot 10^{-8} \div 3 \cdot 10^{-9}$  Вт

$$N = \frac{mR^2\omega^3\varphi^2}{2a}$$

где  $m = 3$  кг, общая масса тел, оказывающих периодическое гравитационное воздействие на пробные тела акселерометров;  $\omega = 1$  с<sup>-1</sup>, частота колебательной системы;  $\varphi = 0,2$  рад, амплитуда колебаний крутильного маятника;  $R < 0,2$  м, расстояние от оси вращения до центра масс;  $a$  – добротность упругой системы в вакууме.

Выполненные работы существенно приближают время построения модели ГПЗ на основе отечественных разработок гравиградиентометра.

## СОВМЕЩЕННЫЕ АНТЕННЫ КУ-ДИАПАЗОНА ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

**Е. В. Овчинникова, М. Куран, А.Ю. Ганицев**

*(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва)*

Спутниковая связь и телевизионные системы являются неотъемлемой частью современного общества, и для повышения их эффективности постоянно разрабатываются новые технологии. Антенны Ку-диапазона обеспечивают широкую полосу пропускания и высокую скорость передачи данных, что делает их идеальным решением, как для спутниковой связи, так и для телевизионного вещания. Исследования последних лет сосредоточены на повышении производительности антенн Ку-диапазона через их дизайн и оптимизацию характеристик.

В системах спутниковой связи, работающих в Ку-диапазоне, используются два поддиапазона: 10,70 – 12,75 ГГц и 13,25 – 14,80 ГГц. Первый поддиапазон применяется для приема, второй – для передачи. Разделение каналов осуществляется также и по поляризации. В докладе представлен обзор антенных решеток систем спутниковой связи и спутникового телевидения. Одним из известных технических решений является применение двух отдельных антенных решеток для приема и передачи. Также известны варианты построения совмещенных антенн. Однако расширение функциональных возможностей систем спутниковой связи и спутникового телевидения требует модернизации существующих вариантов построения антенн. Так как рассматриваемые антенные системы устанавливаются на мобильных объектах, то значительное внимание разработчики уделяют массогабаритным параметрам, вибропрочности, устойчивости конструкции к различным дестабилизирующим факторам. Расширение функциональных возможностей таких радиосистем связано с увеличением скорости передачи данных и повышением энергетического потенциала. Эти требования во многом зависят от элементной базы и схем построения антенных решеток.

Одним из перспективных направлений развития антенн спутниковой связи и телевидения является применение технологии тонких пленок для повышения производительности антенн Ку-диапазона с низким профилем. Также находят практическое применение многолучевые антенны, которые способны обслуживать несколько пользователей одновременно, тем самым увеличивая

пропускную способность системы. Многолучевые технологии особенно важны в районах с высокой плотностью данных, где они улучшают качество связи и обеспечивают более эффективное обслуживание.

Адаптивные антенные системы повышают производительность связи за счет направленного формирования луча и управления помехами. Формирование луча такой антенной Ku-диапазона осуществляется с использованием алгоритма на основе искусственного интеллекта. Эта система динамически адаптируется к окружающим условиям и движениям пользователей, обеспечивая более стабильное и надежное соединение. Поддерживаемые искусственным интеллектом системы в будущем станут основой автономных и самооптимизирующихся сетей связи.

Интеграция антенн Ku-диапазона в системы сотовой связи и телевизионного вещания представляет собой определенные сложности. Из литературы известна интегрированная антенная система Ku-диапазона, способная обрабатывать как сотовые, так и телевизионные сигналы.

Таким образом, в докладе приведен обзор конструкций антенных решеток систем спутниковой связи. Рассмотрена элементная база таких антенн. Описаны технологии изготовления. Рассмотрены особенности расчета и моделирования антенных решеток с учетом специфики условий их эксплуатации. Приведены конструкции антенн спутникового телевидения. Отмечены достоинства и недостатки таких антенн. Намечены пути развития антенных систем спутниковой связи.



## АФУ ТЕЛЕКОМАНДНОЙ СИСТЕМЫ КА КВО

**А. Г. Генералов**  
(АО «НИИЭМ, г. Истра)

Антенно-фидерное устройство (АФУ) предназначено для работы в составе телекомандной системы для передачи сигналов телеметрии на наземные пункты и приема команд управления с Земли.

Для осуществления надежной связи диаграмма направленности (ДН) должна быть специфической: близкой к всенаправленной при неориентированном полете и специальной формы с провалом посередине при ориентированном.

Опыт эксплуатации показал, что антенны на КА «Канопус» турникетного типа не обладают достаточно широкой диаграммой направленности и коэффициентом эллиптичности.

Для улучшения связи при максимальной дальности предложено использовать резонансные четырехзаходные антенны спирального типа.

Применение классических спиральных антенн с нужной ДН затруднено их недостаточной полосой пропускания, поэтому применены антенны с рефлектором.

Для смещения зоны интерференции пар приемных и передающих антенн в заднюю полусферу диаграммы имеют различную ширину, поэтому размеры излучателей и экраны различны.

Антенны имеют улучшенные характеристики по диаграммам направленности и коэффициенту эллиптичности. Фидеры планируется использовать полувоздушного типа с пониженным затуханием, а также массой.

Разработаны для АФУ антенные насадки с улучшенной технологичностью, измерительный фильтр микрополоскового типа.

Перечень патентов:

- Патент на полезную модель RU 214713 U1 от 11.11.2022г. «Антенная насадка»
- Патент на изобретение RU 2783226 C1 от 10.11.2022г. «Способ спутниковых систем связи с использованием антенн спирального типа»
- Патент на изобретение RU 2805996C1 от 24.10.2023г. «Способ согласования антенно-фидерных СВЧ устройств в фидерном тракте»
- Патент на изобретение RU 2798200 C1 от 19.06.2023 «Микрополосковый полосоно-пропускающий СВЧ-фильтр»

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВМЕЩЕННЫХ АНТЕНН КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

<sup>1,2</sup>Е. В. Овчинникова, <sup>1</sup>П. А. Шмачилин, <sup>1</sup>С. Г. Кондратьева,

<sup>1,3</sup>Э. В. Гаджиев, <sup>1</sup>Е. О. Сургаева

<sup>1</sup>МАИ (НИУ),

<sup>2</sup>МГТУ им. Н. Э. Баумана,

<sup>3</sup>АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

*В докладе приводится обзор бортовых антенн космических аппаратов. Приведены типы, состав и электрорадиотехнические параметры антенно-фидерных устройств, составляющих бортовые антенные системы КА различных классов и назначения. Показаны современные тенденции в развитии космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.*

**Ключевые слова:** космический аппарат, дистанционное зондирование Земли, антенная система, антенно-фидерное устройство, антенная решетка

### Введение

На современном этапе развития космических аппаратов (КА) различных классов и целевого назначения возникает необходимость в оптимизации конструкций, улучшении технических характеристик и повышении эффективности бортовых антенных систем [1, 2].

В настоящее время существует потребность в КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с оптико-электронной аппаратурой (ОЭА) высокого пространственного разрешения [3]. Данная тенденция приводит не только к существенным изменениям при проектировании компоновочной схемы самого КА [4, 5], но и появляются новые требования и к построению бортовой антенной системы КА [6].

Цель данной работы заключается в проведении анализа состояния и перспективных направлений построения бортовой антенной системы КА ДЗЗ.

### Основная часть

В работе представлен обзор применяемых бортовых антенн в составе различных систем и комплексов КА.

Совмещение антенн нескольких бортовых систем и комплексов в одно антенное полотно позволяет значительно сократить количество компонентов и

конструкционных элементов, входящих в состав антенно-фидерного устройства (АФУ), что, в свою очередь, приводит к уменьшению массогабаритных характеристик и самого КА. Кроме того, уменьшение числа отдельных элементов повышает надежность антенной системы, что является критически важным фактором для работы в дестабилизирующих условиях космического пространства. Надежность антенных систем играет ключевую роль в обеспечении стабильной и непрерывной связи, что необходимо для успешного выполнения целевой задачи КА.

В стремлении к более компактным и функциональным решениям, одним из перспективных направлений является использование совмещенных антенных решеток.

### **Заключение**

Совмещение излучателей различных диапазонов позволяет обеспечить многодиапазонную работу бортовой антенной системы КА. Это значительно увеличивает функциональность антенной системы КА в целом, делая ее более универсальной и адаптивной к различным задачам и условиям эксплуатации.

### **Литература**

1. Захаренко А. Б., Федотов А. Ю., Гаджиев Э. В., Телепнев П. П. Перспективы развития бортовой антенной системы космических аппаратов серии «Метеор-М» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2021. – Т. 182, № 3. – С. 19 – 23.
2. Гаджиев Э. В., Захаренко А. Б., Телепнев П. П., Федотов А. Ю. / Бортовые антенные системы малых космических аппаратов, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2023. – Т. 192, № 1. – С. 7 – 13.
3. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Геча В. Я., Жиленев М. Ю., Казанцев С. Г. Космические аппараты дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения. Аналитический обзор по зарубежным источникам. Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2017. Т. 157. С. 12 – 31.
4. Сычиков Ю. В., Зайцев Н. Г., Васильев И. В., Заграева А. В., Гаджиев Э. В. Обзор конструкций малых космических аппаратов. Материалы Девятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ». 2021. С. 58 – 61.
5. Гаджиев Э. В., Заграева А. В. Конструкция малых космических аппаратов. Международная конференция «Космические системы». Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2021. С. 32 – 33. Электронный ресурс <https://space.mai.ru/files/abstracts2021.pdf>

6. Овчинникова Е. В., Кондратьева С. Г., Шмачилин П. А., Трофимова Т. А. Построение бортовых антенных решеток космических аппаратов. Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2021. Т. 183. С. 44 – 54.

## ЭЛЕКТРОРАКЕТНАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КА ДЗЗ

**М. Ю. Селиванов**

*(АО «Государственный научный центр Российской Федерации  
«Исследовательский центр им. М. В. Келдыша», г. Москва)*

В АО ГНЦ «Центр Келдыша» разрабатывается современная модульная ЭРДУ на базе многорежимных холловских и ионных двигателей, способная функционировать на рабочих телах ксенон и криптон. За счет выбора варианта комплектации ЭРДУ, режима работы двигателя и применяемого рабочего тела обеспечивается соответствие широкому спектру требований к средствам коррекции перспективных МКА ДЗЗ.

Комплектация ЭРДУ возможна на базе одного из трех двигательных блоков (ДБ):

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

ДБ состоит из двигателя, блока управления расходом (БУР) и системы преобразования и управления (СПУ).

В любом варианте комплектации в составе ЭРДУ применяются универсальные модули: блок хранения рабочего тела (БХРТ) и блок подачи рабочего тела (БПРТ), которые обеспечивают хранение и снижение давления рабочего тела до значения  $\sim 1,75$  атм.

СПУ также имеет модульное построение. Блок управления, источники питания накала и поджига катода, магнитов, элементов БХРТ, БПРТ и БУР универсальны для трех двигателей. Другие источники питания уникальны для каждого ЭРД.

## **АНАЛИЗ УРОВНЯ СИЛЫ ТЯГИ ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ СВЕРХНИЗКОЙ РАБОЧЕЙ ОРБИТЫ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**В. В. Волоцув**

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

Был проведен анализ уровня силы тяги, необходимого для удержания средней высоты рабочей орбиты космического аппарата (КА) малой массы (нано, микро, мини и спутника малой массы). Для исследуемых спутников подходит электрореактивная двигательная установка (ЭРДУ) на базе электрореактивного двигателя (ЭРД), обладающего низким удельным расходом массы рабочего тела (ксенона или криптона) по сравнению с химическим двигателем. Но для включения ЭРД требуется электроэнергия.

Было проведено исследование уровня доступной электрической мощности в зависимости от массы КА. Для этого сформирована таблица характеристик массы и мощности энергоустановки по трем десяткам КА из [1]. На основе данных из таблицы были построены две аппроксимационные зависимости (линейная и степенная) мощности от массы КА (см. рис. 1а).

Из рис. 1 видно, что при проектировании сверхнизкоорбитального микро-спутника массой не более 100 кг на него можно установить ЭРДУ с мощностью электропотребления несколько десятков Ватт и обеспечить среднесуточную силу тяги для коррекции порядка нескольких мН. Для малого КА с массой 100 – 500 кг (миниспутник) располагаемой электроэнергии на борту больше, поэтому можно рассматривать (при проектировании) варианты ЭРДУ со среднесуточной силой тяги порядка  $10 \div 30$  мН. В целом на КА с массой не более 1000 кг можно установить ЭРДУ со среднесуточной силой тяги вплоть до 60 мН (за счет оригинальных проектных решений по системе электропитания КА).

На основе данных, полученных по цифровой модели силы сопротивления верхней атмосферы Земли [2], можно судить о достаточном уровне силы тяги ЭРДУ для поддержания сверхнизкой орбиты КА малой массы.

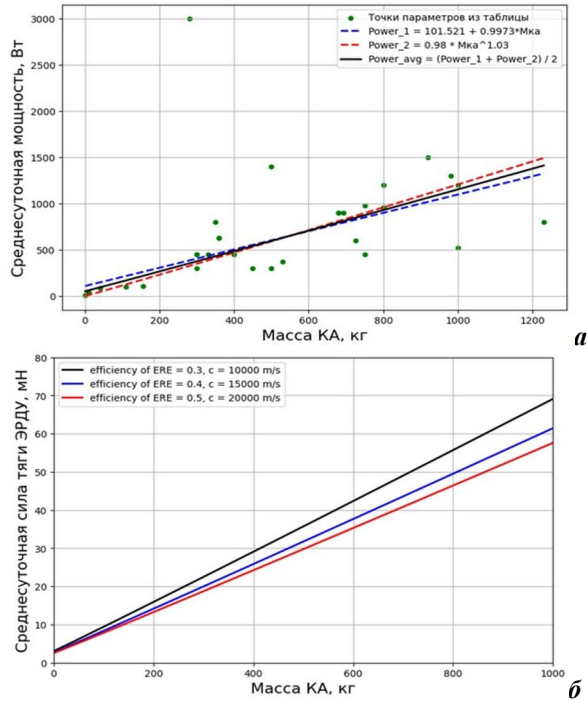


Рис. 1. К определению возможной максимальной силы тяги ЭРД

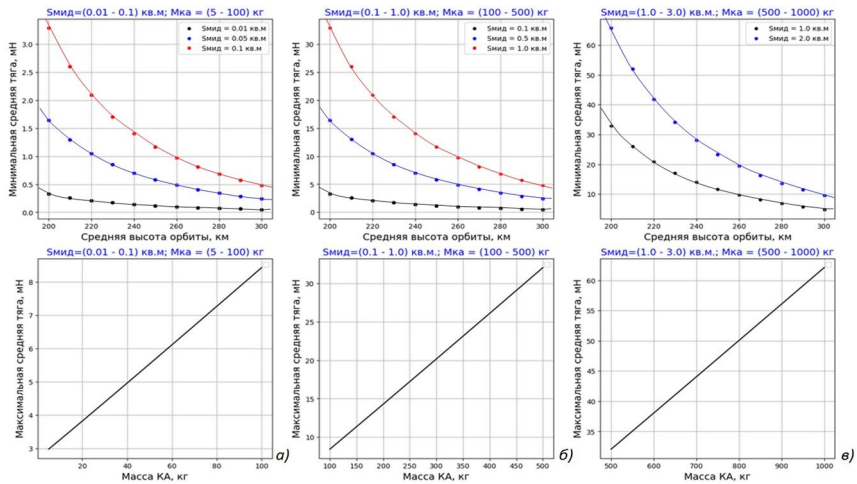


Рис. 2. Уровни силы тяги ЭРД для поддержания сверхнизкой орбиты КА

Из рис. 2 (а) видно, что для удержания сверхнизкой рабочей орбиты КА (в диапазоне от 200 км до 300 км) с площадью миделя порядка  $0,01 \text{ м}^2$  понадобится не более 0,5 мН среднесуточной силы тяги ЭРДУ. Можно спроектировать КА массой порядка 60 – 100 кг с площадью миделя вплоть до  $0,1 \text{ м}^2$ , и установить на него ЭРД, позволяющий создавать среднесуточную силу тяги  $6 \div 8 \text{ мН}$ . Этого будет вполне достаточно для поддержания сверхнизкой орбиты в заданном диапазоне высот. Из рис. 2 (б) видно, что для миниспутников массой от 100 кг до 500 кг, в большинстве случаев, достаточно будет использовать для поддержания сверхнизкой рабочей орбиты ЭРДУ со среднесуточной тягой порядка 20 мН. Из рис. 2 (в) видно, что для КА массой порядка 1000 кг можно выйти на уровень среднесуточной силы тяги ЭРДУ величиной до 60 мН, которой достаточно для поддержания орбит высотой вплоть до 200 км.

### Литература

1. <https://innoter.com/opto-elect-satellites/>
2. Волоцуев В. В. Цифровая модель силы сопротивления верхней атмосферы Земли для проектирования низкоорбитальных космических аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2023. – Т. 22. № 3. – С. 13 – 24.



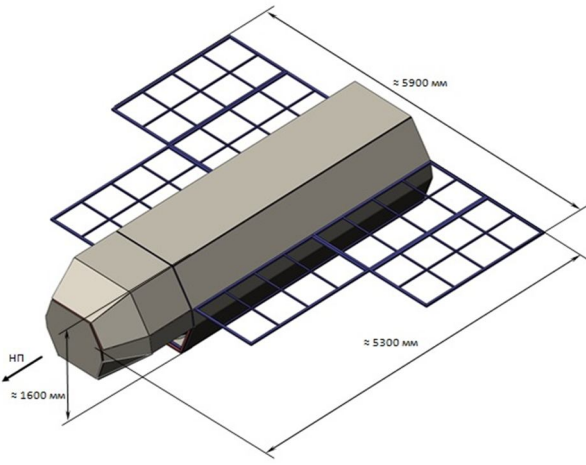
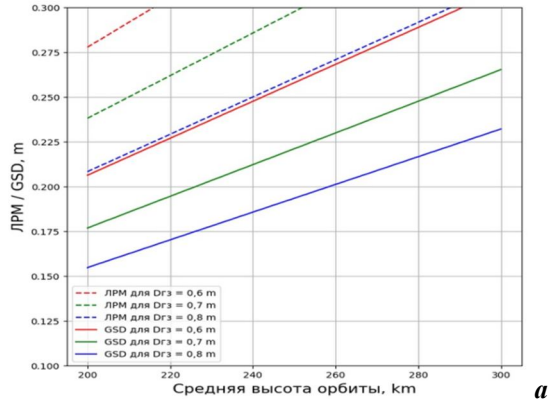
## **ПРОЕКТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕРХНИЗКООРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПТИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ СО СВЕРХВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

**В. В. Салмин, В. В. Волоцуев, М. А. Иванушкин**

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

В исследованиях рассматриваются некоторые проектно-баллистические и целевые параметры орбитальной группировки малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) с оптической аппаратурой наблюдения для получения снимков со сверхвысоким пространственным разрешением (0.1 ÷ 1.0 метра). Рассматриваемый диапазон высот орбит от 200 км до 300 км. Количество потребных спутников в группировке на данном этапе исследования выбиралось из условия достижения квазинепрерывного наблюдения локальных районов Земли (периодичность наблюдения менее 3 часов).

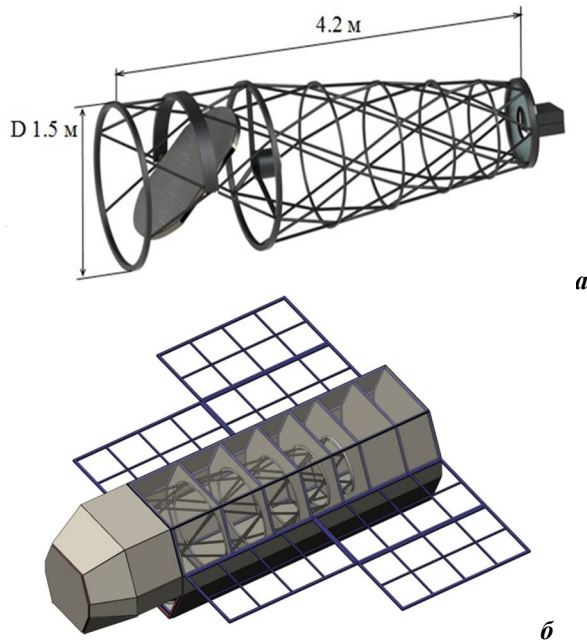
Массогабаритные проектные параметры одного КА, в первую очередь, определяются массогабаритными характеристиками оптической аппаратуры. Были проведены исследования с использованием моделей оценки массогабаритных характеристик 2-ух зеркальной оптической системы по схеме Ричи-Кретьена [1]. На рис. 1 приведен пример проектной информации к определению проектного облика одного КА ДЗЗ из орбитальной группировки для достижения пространственного разрешения от 10 см до 30 см.



***a*** – множество показывает взаимосвязь диаметра главного зеркала ( $D_{Гз}$ ) с достижимыми линейным разрешением на местности (LRM) и проекцией пикселя на Землю (GSD); ***б*** – габариты модели КА ДЗЗ для достижения требуемого пространственного разрешения

**Рис. 1.** К определению параметров геометрической модели сверхнизкоорбитального малого КА ДЗЗ

На рис. 1(**б**) показана модель КА ДЗЗ с вытянутой вдоль направления орбитального полета геометрической формой. Для адаптации оптической аппаратуры при размещении в сверхнизкоорбитальном КА используется плоское зеркало переотражения. На рис. 2 показана габаритная модель телескопического комплекса для одного из вариантов проектного облика КА.



***a*** – габаритная модель телескопического комплекса; ***б*** – габаритная модель размещения телескопического комплекса в КА ДЗЗ

**Рис. 2.** Габаритная модель телескопического комплекса

На данном этапе масса одного КА ДЗЗ (описанного моделями на рисунках) будет порядка 700 – 1000 кг. В состав бортового оборудования должна входить электрореактивная двигательная установка с возможностью создания средне-суточной силы тяги порядка 10 – 20 мН для поддержания рабочей орбиты. По предварительным оценкам (для КА ДЗЗ равномерно распределенных в нескольких плоскостях орбит по несколько штук) для достижения периодичности наблюдения локальных районов Земли не более 3 часов потребуются орбитальная группировка с общей численностью не более 60 спутников.

### Литература

1. Куренков В. И. Основы проектирования космических аппаратов оптико-электронного наблюдения поверхности Земли. Расчет основных характеристик и формирование проектного облика: учебное пособие / В. И. Куренков – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 461 с.: ил.

# **ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

**Л. В. Макаров, В. В. Некрасов, Е. В. Юркевич**  
*(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)*

Операции общей сборки и испытаний космического аппарата (КА) являются завершающим этапом изготовления и наземной отработки КА. Своевременность и качество являются одними из важнейших характеристик проведения этих работ. В этой связи обеспечение рациональности организации управления подготовкой КА на этапе общей сборки и испытаний представляет собой весьма актуальную задачу.

Особенностью построения таких работ является необходимость принятия решений в условиях неопределённости воздействия технологических и организационных факторов. В настоящее время большая часть неопределённостей технологического процесса снимается с помощью оценок, формируемых экспертами на основании своего опыта. Недостатком данного механизма является субъективность, снижающая точность назначения сроков выполнения операций и влияние их на технологический процесс подготовки КА. Данный аспект определяет актуальность задач оптимизации управления технологическим процессом общей сборки и испытаний КА при повышении обоснованности принятия управленческих решений.

Предлагаемый подход к управлению технологическим процессом основан на применении системы поддержки принятия решений (СППР), сочетающей экспертные методы и анализ информации базы знаний средствами искусственного интеллекта.

Предлагаемая система поддержки принятия решений представляет собой программно-аппаратный комплекс, оказывающий информационную поддержку лицу, принимающему решения (ЛПР), в условиях анализа больших объёмов данных в слабоструктурированной предметной области [1].

Информационная поддержка принятия решений, осуществляемая данной системой, включает в себя:

- предоставление ЛПР информации о сложившейся ситуации;
- выявление и формализацию предпочтений ЛПР;
- генерацию возможных альтернатив разрешения проблемной ситуации;

- анализ последствий выбора одной из альтернатив;
- поддержку выбора управления, наиболее подходящего для ЛПР.

В настоящее время подобные СППР находят применение в рамках программных комплексов управления ресурсами предприятия. Внедрение таких комплексов является дорогостоящим проектом, эффективность которого зависит от корректности формулировки требований.

Строгость формулировок, предъявляемых к внедрению СППР при управлении общей сборкой и испытаниями, а также подтверждение их адекватности, требует создания прототипа системы, позволяющего выявить и подтвердить полезность используемых функций, для качественного формулирования требования к полноценной системе, являющейся частью системы управления ресурсами предприятия.

Таким образом, требуется постановка задачи алгоритмизации процессов сборки и испытаний, а также создание прототипа СППР на базе глубокого анализа всех технологических процессов.

Будем полагать, что база знаний является основным элементом СППР [2]. Она должна содержать информацию о закономерностях построения и реализации каждого этапа рассматриваемых технологических процессов. Наполнение базы знаний может быть реализовано с помощью методов работы с экспертами, средств автоматизации интеллектуального анализа данных и машинного обучения нейронных сетей.

Вероятностный характер информации, хранящейся в базе знаний, приводит к необходимости использования нечётких логик, что ставит задачу формирования стохастической модели технологического процесса. Анализ источников [1, 2, 3], описывающих методы, применяемые при создании и внедрении СППР, позволяет сформировать особенности введения вероятностных мер в постановку задач создания и внедрения системы поддержки принятия решений в управление этапом общей сборки и испытаний КА ДЗЗ. Теперь к данным задачам предлагается относиться:

- формирование концептуальной схемы стохастического моделирования системы операций технологического процесса общей сборки и испытаний;
- построение модели базы знаний, учитывающей вероятностные особенности динамики рассматриваемых технологических процессов;
- алгоритмизация выбора и настройки методов интеллектуального анализа данных, поступающих от производства и используемых для оценки количественных показателей известных закономерностей или выявления новых;
- формирование стохастической модели с элементами машинного обуче-

ния и с выбором методов прогнозирования, отвечающих требованиям по точности и глубине прогноза, предъявляемым лицом, принимающим решение;

– алгоритмизация адаптивности СППР, связанная с формированием критериев эффективности предлагаемых системой решений и решений, принимаемых пользователем.

Решение названных задач может определить создание прототипа СППР, на основании использования которого возможно оценивать достоинства и недостатки управленческих воздействий.

### **Литература**

1. Садовникова Н. П., Парыгин Д. С., Щербаков М. В. Системы поддержки принятия решений: учеб. пособие – Волгоград: ВолгГТУ, 2021. – 108 с.
2. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем – СПб: Питер, 2000, 384 с.
3. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений – Москва: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.

# ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В. А. Семенов, А. Н. Талдонов  
(АО «НИИЭМ», г. Истра)

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электромеханики» (АО «НИИЭМ», Истра) с 1972 года занимается созданием автоматизированных испытательных комплексов (АИК) и испытательных вычислительных комплексов (ИВК) для наземных электрических испытаний различных космических аппаратов предприятий Роскосмоса.

Испытательные комплексы разработаны, изготовлены, поставлены заказчикам и успешно эксплуатируются на космодромах Плесецк и Байконур, также в ряде предприятий Роскосмоса: АО «РКЦ «Прогресс», ОАО «МЗ «Арсенал», АО «Корпорация «ВНИИЭМ», АО «ВПК «НПО машиностроения».

**Комплексы АИК** – это универсальные автоматизированные испытательные комплексы для комплексных наземных электрических испытаний и проверки работоспособности бортовых систем и КА в целом на заводе-изготовителе и в эксплуатирующей организации космических аппаратов различного назначения для МО РФ и Роскосмоса.

АИК обеспечивает автоматический программный многозадачный режим испытаний в режиме реального времени, а также ручной режим испытаний с визуальным и автоматическим контролем. АИК построен в виде сети ПЭВМ, обрабатывающих различные сигналы, и центральной управляющей ПЭВМ.

Всего изготовлено: АИК – 6 шт.; АИК-0 – 1 шт.; АИК-С -2 шт.

**Комплексы ИВК** – это специализированные вычислительные комплексы, предназначенные для комплексных наземных электрических испытаний и проверки работоспособности бортовых систем конкретного космического аппарата.

## **Комплекс ИВК-М для КА «Метеор-М»**

Комплекс ИВК-М предназначен для автоматизации процесса испытаний, подготовки и контроля работоспособности космического аппарата «Метеор-М» на заводе-изготовителе и техническом комплексе. Комплекс обеспечивает комплексную электрическую проверку КА и проверку работоспособности бортовых систем КА.

Для других космических аппаратов созданы комплексы, в том числе:

– Комплекс ИВК-01Н для изделия 14Ф01 (4 шт.);

– Комплекс ИВК-133ТК-М для КА «Кондор» (3 шт.).

**Испытательные вычислительные комплексы для испытаний  
бортовых систем космических аппаратов**

Для испытания отдельных систем космических аппаратов разработаны и изготовлены следующие комплексы:

**ИВК-ССКМ** – для испытаний системы сброса кинетического момента КА (в частности, ИВК-ССКМ-1207 для КА «Метеор»);

**ИВК-СУД** – для испытаний системы управления движением КА (в частности, ИВК-СУД для изделия 14Ф01);

**ИВК-СОК** – для испытаний системы ориентации и стабилизации КА (в частности, ИВК-СОК-М для КА «Кондор»);

Устройство **МСПП** – для проверки кабельных сетей изделия и наземной кабельной сети на 500 точек (входов).



# ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ, СОБРАННЫМИ ПО УПРОЩЕННОЙ СХЕМЕ ХАЛЬБАХА

**А.Б. Захаренко, Н.А. Белокурова.**  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Двигатели-маховики широко применяются в качестве исполнительных органов систем ориентации и стабилизации малых и средних космических аппаратов.

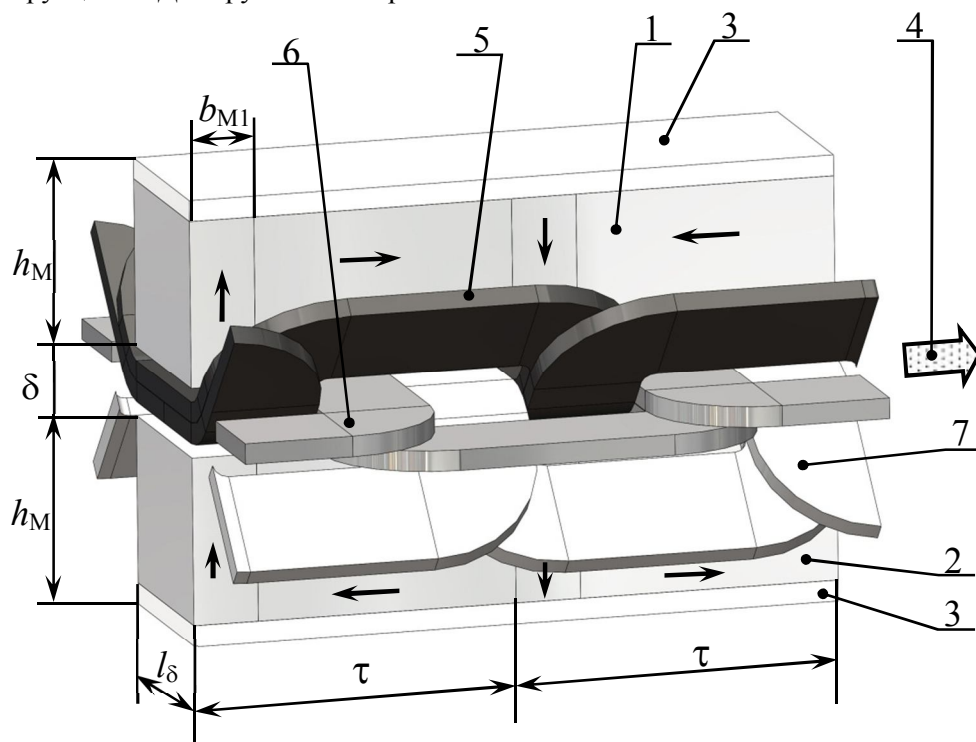
Предлагается новая конструкция кольцевого двигателя-маховика (КДМ), относительно предложенного в [1]. КДМ представляет собой замкнутый в кольцо линейный двигатель-маховик. Особенности новой конструкции: постоянные магниты верхнего 1 и нижнего 2 индукторов ротора КДМ прикреплены к ярмам 3 (рис. 1). Направление движения ротора отмечено стрелкой 4. Направление намагниченности упрощенных сборок Хальбаха на верхнем и нижнем индукторах согласованы так, чтобы магнитный поток, созданный постоянными магнитами сборок Хальбаха верхнего и нижнего индукторов, складывался. Магнитный поток каждого постоянного магнита 1 и 2 проходит через воздушный зазор, и сцеплен с обмотками фаз статора 5 (темные катушки), 6 (серые катушки) и 7 (светлые катушки). За счет вышеописанной последовательности чередования направления вектора намагниченности постоянных магнитов, магнитный поток не выходит за внешние пределы верхнего индуктора 1 и не попадает ниже нижнего индуктора 2. Поэтому наличие магнитного материала для ярем 3 ротора не требуется. Ярма 3 нужны только для крепления постоянных магнитов и увеличения момента инерции вращающейся части маховика.

Целью данной работы является выбор наилучшего варианта кольцевого двигателя-маховика прямоугольного сечения, возбуждаемого от упрощенной магнитной сборки Хальбаха, в сравнении с вариантом КДМ круглого сечения, предложенном в диссертационной работе [1]. Критериями сравнения выбрана удельная по объему осевая сила, а также осевая сила, отнесённая к удвоенному полюсному делению  $F_{\text{ax}}/(2\tau)$ . Оба критерия необходимо максимизировать.

Для расчетов использована двумерная расчетная модель, которая построена с использованием метода конечных элементов в программном комплексе Ansys Maxwell 16.

В результате:

- проведена оптимизация вариантов КДМ прямоугольного поперечного сечения с постоянными магнитами, собранными по упрощенной схеме Хальбаха, рассматривались варианты КДМ с различными величинами полюсных делений, ширинами и высотами постоянных магнитов;
- сравнение предложенной конструкции КДМ с предложенной ранее конструкцией КДМ круглого поперечного сечения.



**Фрагмент активной части кольцевого двигателя-маховика  
прямоугольного сечения**

Из сравнения результатов расчетов КДМ новой конструкции с КДМ, описанным в [1] видно, что:

- осевая электромагнитная сила, отнесённая к удвоенному полюсному делению, у КДМ новой конструкции больше, чем у КДМ круглого сечения, описанного в [1] (при  $\delta=1,5$  мм),

– осевая электромагнитная сила, отнесённая к объёму, у КДМ новой конструкции меньше, чем у КДМ круглого сечения, описанного в [1].

### **Вывод**

Оба варианта КДМ – вновь предложенный и описанный в [1] – имеют схожие показатели и найдут широкое применение в системах ориентации и стабилизации космических аппаратов.

### **Литература**

1. Белокурова Н.А. Кольцевой двигатель-маховик с повышенными удельными показателями. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2022, 135 с.

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КА ДЗЗ С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИИ

С. Г. Макенч  
(АО «НИИЭМ», г. Истра)

*Рассматривается пример построения системы управления угловым движением (системы ориентации) космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), имеющего упругие элементы конструкции. В качестве исполнительных органов используются двигатели-маховики (ДМ). Для определения текущих параметров ориентации используются датчик угловой скорости (ДУС), звездный датчик (ДЗ), а также навигационные данные и текущее время, получаемые от бортовой системы спутниковой навигации.*

**Ключевые слова:** космические аппараты ДЗЗ, упругие элементы конструкции, система ориентации, наблюдатель, контроллер, двигатели-маховики.

Опыт летной эксплуатации КА «Кондор-ФКА», «Спутник-С» показал, что при проектировании для них систем управления (СУ) на ДМ следует обязательно учитывать наличие и характеристики упругих элементов конструкции с низкой частотой собственных колебаний и большим коэффициентом влияния (панелей солнечных батарей (СБ), штыревых антенн и т. п.).

В ряде случаев избежать возникновения автоколебаний сигналов управления ДМ, вызванных упругими элементами, удастся аккуратной настройкой соответствующих параметров контроллера ДМ (для системы второго порядка это собственная частота и коэффициент демпфирования). Но для КА, обладающих развитой системой «суущественных» упругих элементов, например, «Ионосфера-М», эти меры оказываются недостаточными.

Для всех КА также следует учитывать важное обстоятельство. Обычное устранение автоколебаний путем снижения собственной частоты контроллера ДМ (жесткости управления) ниже частоты собственных «колебаний упругих элементов приводит к ухудшению динамических характеристик СУ. При совершении программных поворотов или при появлении существенных внешних возмущающих моментов «жесткость управления» может оказаться недостаточной.

В данной работе представлена СУ ДМ, специально разработанная для КА с «суущественными» упругими элементами. Основная идея – фильтрация

колебаний еще до контроллера ДМ: на этапе определения (оценки) текущих параметров ориентации КА.

СУ ДМ и объект управления представляют собой замкнутый контур с отрицательной обратной связью по *вектору состояния*. Вектор состояния характеризует текущее состояние объекта управления (ориентации корпуса КА) и включает в себя следующие параметры ориентации:

– собственный кватернион поворота (параметры Родрига-Гамильтона) из инерциальной системы координат (ИСК) в связанную с КА систему координат (ССК);

– вектор скорости данного поворота.

Прямой участок цепи контура управления составляют звено *контроллера* (регулятора), исполнительные органы (ДМ) и объект управления (КА). В цепи обратной связи находится звено *наблюдателя*. На входе СУ находится звено *формирователя* входного (референсного) сигнала.

Звено *формирователя* вычисляет и подает на вход СУ требуемый (референсный) вектор состояния в зависимости от текущей задачи ориентации: *приведения* к требуемой ориентации или *стабилизации* в ней. В КА ДЗЗ ориентация, как правило, задается относительно орбитальной системы координат (ОСК). Поэтому для вычисления референсного вектора состояния относительно ИСК звено формирователя вычисляет также текущее угловое положение и скорость ОСК относительно ИСК.

Приведение к требуемой ориентации реализуется программным поворотом с некоторой постоянной скоростью из начального положения - в требуемое. Для этого в модуле формирователя вычисляется траектория (профиль) данного движения. При этом в модуле формирователя задействуется так называемый *предфильтр* (см. ниже).

Звено *наблюдателя* вычисляет *оценку* текущего вектора состояния. Наблюдатель реализован как наблюдающее *устройство идентификации*, в котором матрица преобразования, связывающая вектор состояния наблюдающего устройства с вектором состояния наблюдаемого объекта, *единичная*. Порядок наблюдающего устройства (второй) равен порядку наблюдаемого объекта. Наблюдатель представляет собой модель КА из двух последовательно включенных интеграторов. На вход интеграторов (вход модели) поступает вектор управления – ускорения, создаваемого крутящим моментом, действующим на КА. На выходе интеграторов имеем оценки соответствующих параметров (вектор скорости и кватернион поворота), которые корректируются по измерениям приборов ДУС и ДЗ соответственно. Коррекция осуществляется введением отрицательной обратной связи по

рассогласованию вычисленных оценок и измерений. Формируются пропорциональные рассогласованиям *корректирующие ускорения*, которые подаются на вход модели. В отсутствие измерителя ускорений (акселерометра) входной сигнал модели состоит только из суммы корректирующих ускорений.

В наблюдатель дополнительно введен контур *автокоррекции* систематической ошибки («уходов») сигналов измерений ДУС.

Звено *контроллера* вычисляет вектор ускорения, необходимого для устранения рассогласования между референсным вектором с выхода формирователя и вектором оценки состояния с выхода наблюдателя. Далее, используя известные тензор инерции КА и параметры ДМ, вычисляются требуемый крутящий момент и сигналы управления ДМ.

На разных этапах решения задачи ориентации контроллер имеет различную структуру. На этапе приведения к требуемой ориентации контроллер представляет собой пропорционально-дифференциальный (ПД-) регулятор, на этапе стабилизации – пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД-) регулятор.

В первом случае для компенсации форсирующего элемента, присутствующего в числителе передаточной функции ПД-регулятора, в звене формирователя задействуется *предфильтр* (апериодический фильтр первого порядка). Предфильтр также сглаживает вычисляемый здесь профиль программного движения.

Во втором случае (стабилизация) применение ПИД-регулятора обусловлено желанием повысить точность СУ - устранением статической ошибки, возникающей от действия внешних возмущающих моментов.

Пропорциональная составляющая регуляторов вычисляется по векторной части кватерниона рассогласования, дифференциальная – по вектору скорости рассогласования.

В отличие от беслатформенных инерциальных систем (БИС), применяемых в прототипах («ондор-ФКА», «Спутник-С»), использование наблюдателя второго порядка позволяет осуществлять фильтрацию не только "по углу" но и "по скорости".

Благодаря использованию наблюдателя типа наблюдающего устройства идентификации контур управления ДМ является системой управления с единичной обратной связью. Поэтому наличие такого наблюдателя в цепи обратной связи не повышает порядок системы управления. Это упрощает настройку контроллера и наблюдателя, поскольку позволяет осуществлять выбор их параметров независимо друг от друга. Так частотные

характеристики наблюдателя устанавливаются независимо от параметров контроллера - из соображений фильтрации колебаний упругих элементов конструкции КА. Параметры регулятора устанавливаются независимо от параметров наблюдателя - исходя из соотношения динамических характеристик КА и ДМ.

Фильтрация скорости ДУС в наблюдателе, а также автокоррекция в нем смещения ДУС позволяют существенно снизить требования к точностным характеристикам (случайным и систематическим погрешностям) применяемых приборов ДУС. При этом обеспечивается длительный, до нескольких часов, режим «гиروпамяти» – формирование полного вектора оценки состояния в отсутствие измерений ДЗ, что важно при работе с данными приборами.

В результате фильтрации скорости ДУС отсутствуют высокочастотные составляющие сигналов управления ДМ, что обеспечивает «щадящую» эксплуатацию ДМ и снижает энергопотребление.

# МЕТОДЫ АНАЛИЗА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ДЭЗ

**Н. И. Сидняев, Е. Е. Синева**

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

Представлен метод анализа ранжировок обработки информации при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ), бортовых информационных комплексов и средств наблюдения космических систем, а также упорядочения информации в базах данных по степени обладания ими определенных свойств. Постулируются модели ранжировок со связями, табулируются точные распределения статистик ранговых критериев и строятся приближенные критерии для приема архивации и обработки информации [1]. Рассмотрены общие положения инженерной системологии для хранения баз данных, являющейся теоретической основой компьютеризации информации космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЭЗ). Описаны уровни представления инженерных знаний при ДЭЗ, а именно исходные системы, системы данных, порождающие и структурированные системы, метасистемы, а также модели знаний на каждом системологическом уровне бортовых информационных комплексов и средств наблюдения космических систем. Изложены концептуальные основы компьютеризации инженерных знаний для ДЭЗ. Даны классификация объектов инженерных знаний для космических систем и методики формирования моделей систем данных ДЭЗ, геометрических моделей, методы описания экспертных инженерных знаний и построения мультиагентных систем искусственного интеллекта. Приведены практические примеры использования теоретических методов для автоматизации, обработки и надежного хранения результатов ДЭЗ, получаемых в результате неконтактной съемки со спутников. Для этого применяются различные виды съемок: многозональная и тепловая аэрофотосъемка, космическая многозональная, сканерная, телевизионная, радиолокационная, инфракрасная и другие виды съемок. Полученные данные разнообразны по масштабу, геометрическому разрешению и различны по спектральному набору (т. е. снимки, полученные в нескольких зонах электромагнитного спектра). Рассматриваются геоинформационные системы, как автоматизированные системы, предназначенная для сбора, обработки, анализа, моделирования и отображения данных,



а также решения информационных и расчетных задач с использованием цифровой картографической, аналоговой и текстовой информации [1]. Появление современных интегрированных программных продуктов и географических информационных систем, позволило осуществлять интеграцию и обработку различных видов информации, оперативно обновлять базы данных за счет вновь поступающей информации. В основе организации обработки информации лежит послойное описание пространственных объектов в базе данных. Слой – это совокупность однотипных пространственных объектов, относящихся к одной теме или классу объектов. В процессе анализа и обработки информации тематических слоев в геоинформационной системе, возможно, их взаимное наложение в различных комбинациях, что позволяет сформировать новый тематический слой. Таким образом, многослойная электронная карта позволяет не только хранить большой объем пространственных данных, проводить их анализ, селекцию, визуализацию, но и повышает эффективность интерактивной обработки. Основу базы знаний составляет автоматизированный комплекс, состоящий из приборов и программных средств, который обеспечивает сбор, обработку, анализ, моделирование и хранение данных. Комплекс состоит из подсистем ввода, обработки и вывода информации. Подсистема ввода информации представляет собой устройство для преобразования пространственной информации в цифровую с последующим вводом ее в память компьютера или базу пространственных и атрибутивных данных. Для этого применяют цифрователи и сканеры. Базы пространственных данных образуют упорядоченные массивы информации тематических слоев, представленные в цифровом виде. Например, базы данных о рельефе, растительном покрове, дорожной сети, экологической информации и др. Подсистема обработки информации включает компьютер, системы управления и программное обеспечение. Главными функциями подсистемы являются визуализация, дешифрирование космических изображений и классификация картографируемых объектов, моделирование процессов, построение карт, совмещение их друг с другом, вывод их на печать и многое другое. Подсистема вывода информации представляет собой комплекс устройств для визуализации обработанной информации в картографическом виде. К ним относятся экраны компьютеров, принтеры, плоттеры и др. С их помощью оператор ГИС может оперативно выводить на печать картографический материал, тексты, графики, трехмерные модели, таблицы. Методика создания базы данных при ДЭЗ разработана на основе проведенных научных разработок, экспериментальных исследований, анализа возможностей современных съе-

мочных космических систем и нормативно-методической литературы по изучаемой проблеме.

### **Литература**

1. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие. М.: Юрайт, 2011. 399 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ STAC ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**М. С. Белокосков, А. С. Штангей, А. А. Антонова**  
(АО «Российские космические системы», г. Москва)

*Объем данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) увеличивается с каждым годом. Для ускорения процессов обработки возрастающего объема информации разрабатываются и алгоритмы обработки ДЗЗ. Отвечая растущим потребностям в продуктах на основе высоко-детальной съемки, алгоритмы обработки становятся сложнее. Их количество также увеличивается с применением новых нейронных сетей и развитием подходов к решению новых тематических задач. Комплексные высокоуровневые алгоритмы обработки ДЗЗ представляют собой последовательности базовых (более простых и отработанных) алгоритмов, образующих рабочие процессы обработки данных ДЗЗ для продуктов и сервисов уровней обработки L3-L4.*

*Учитывая возрастающий объем информации, а также усложнение алгоритмов обработки данных ДЗЗ, авторами предложен подход по организации хранения метаданных последовательности алгоритмов обработки данных ДЗЗ непосредственно в метаданных конечных продуктов, на основе спецификации STAC. Предложен способ передачи заданий на производство продуктов ДЗЗ в виде объектов STAC каталога, в рамках спецификации STAC. Эффективность предлагаемого подхода проявляется в повышении оперативности поиска и обработки данных ДЗЗ, а также в реализации возможности анализа истории обработки исходных продуктов по метаданным конечного продукта.*

**Ключевые слова:** обработка данных ДЗЗ; алгоритмы обработки; большие данные ДЗЗ; метаданные ДЗЗ; STAC, цифровой двойник

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) применяются во многих отраслях науки, промышленности, государственного и частного управления. Продукты и сервисы ДЗЗ разных уровней обработки (L1-L4) применяются для анализа и решения широкого спектра задач при принятии управленческих решений, направленных на снижение ущерба, повышение прибыли и надежности, с использованием геоинформационных систем (ГИС).

В последнее десятилетие наблюдается активное развитие отечественно орбитальной группировки спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), что порождает стремительное увеличение объема данных ДЗЗ. Новые объемы исходных данных, в свою очередь, вызывают необходимость усо-

вершенствования алгоритмов поиска и обработки данных ДЗЗ для повышения оперативности доступа к данным конечных продуктов и сервисов.

Авторами предлагается оригинальный подход к организации хранения метаданных алгоритмов и параметров производства непосредственно рядом с метаданными самих продуктов ДЗЗ, на основе спецификации STAC. Предложенный подход и новые модели метаданных позволяют отразить процесс и параметры производства непосредственно в объекте метаданных самого продукта, что способно существенно повысить оперативность обработки, а также повысить адаптивность и интероперабельность алгоритмов, задействованных в последовательной обработке первичных данных ДЗЗ.

Предложенный концепт хранения и последующего выполнения алгоритмов ДЗЗ позволяет в дальнейшем учитывать всю цепочку обработки исходных данных от исходного до конечного продукта, что в свою очередь позволяет при необходимости восстановить процесс обработки данных до необходимой «точки», внести корректировки в параметры обработки и завершить обработку по скорректированным параметрам.

Учет всей цепочки обработки на уровне метаданных конечного продукта позволит использовать преимущества цифрового двойника (производства или продукта) при планировании последующих или аналогичных обработок: заранее оценить параметры выходного продукта, своевременно внести корректировки в процесс обработки для достижения требуемого результата.

Дополнительно к метаданным конечного продукта авторы предлагают использовать преимущества спецификации STAC в части создания дополнительных пользовательских объектов (item) к базовым пространственно-временным объектам STAC, например, объекты «заказа» (order), которые по своей сути являются шаблонами для создания объекта метаданных будущего продукта, а также могут хранить детализированные данные о процессе вызова алгоритмов производства и их параметров. Проявление эффективности предложенного подхода ожидается при формировании всей цепочки производства высокоуровневых продуктов при большом количестве промежуточных продуктов, когда возникает необходимость отследить параметры производства на конкретном этапе (шаге), в том числе для продуктов предыдущих уровней обработки.

# **ИНТЕГРАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ С «ОБЛАКОМ» РОСКОСМОСА – КОМПЛЕКСОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЕТРИС ДЗЗ. НОВОСТИ 2024 ГОДА**

**О. О. Тохиян, А. М. Курлыков**  
(АО «НИИ ТП», г. Москва)

Комплекс вычислительных ресурсов (КВР) – это программно-технический комплекс предоставления облачной инфраструктуры для функционирования программного обеспечения.

В рамках ОКР «ЕТРИС ДЗЗ» был разработан, изготовлен и в 2018 году введён в эксплуатацию КВР с названием КВР ЦОД. Располагается на площадке ЦОД АО «Российские космические системы».

КВР ЦОД постоянно развивается для обеспечения функционирования программного обеспечения ЕТРИС ДЗЗ и других информационных систем Госкорпорации «Роскосмос», связанных с ДЗЗ.

Цель создания КВР ЦОД – решение следующих задач при обеспечении функционирования наземных средств ДЗЗ:

1. Эффективное использование вычислительных ресурсов благодаря рациональному использованию технологий контейнерной и аппаратной виртуализации, облачных вычислений и облачного хранения данных.

2. Предоставление единой системы общесистемных сервисов автоматизации обеспечения функционирования ПО:

– репозитории ПО (ОС, ОПО, СПО) и развёртывание ПО;

– контроль работоспособности и функционирования ПО и технических средств;

– централизованное журналирование событий в работе ПО;

– централизованное хранение конфигурационных данных и автообнаружение сервисов;

– резервное копирование данных.

3. Централизованное управление ИТ-инфраструктурой Оператора средств ДЗЗ через единый графический интерфейс.

4. Использование современной методологии автоматизации тестирования ПО и развёртывания ПО в продуктивную среду (DevOps).

Эффект от интеграции создаваемых наземных средств ДЗЗ с КВР ЦОД следующий:

1. Сокращение затрат Разработчиков (наземных средств ДЗЗ) на средства вычислительной техники (СВТ) при создании и модернизации, так как обеспечивается эффективное использование вычислительных ресурсов на уровне всей ИТ-инфраструктуры Оператора. Как дополнительный эффект – возможность увеличения затрат на разработку ПО в условиях ограниченного финансирования ФКП.

2. Сокращение затрат Разработчиков на работы по решению общесистемных вопросов обеспечения функционирования ПО, экспериментальную отработку ПО, разработку ЭД вследствие использования полностью проработанного комплексного решения указанных вопросов.

3. Сокращение операционных расходов Оператора средств ДЗЗ на администрирование наземных средств ДЗЗ, так как используются средства централизованного унифицированного управления ИТ-инфраструктурой для функционирования указанных изделий. Для администрирования изделий Оператору нужна только ЭД на КВР ЦОД.

4. Сокращение затрат Разработчиков на технический надзор, так как сокращаются издержки на диагностику сбоев, переконфигурирование, обновление ПО в ходе эксплуатации.

Облачная инфраструктура КВР строится на использовании стандартных серверных технических средств (серверы, системы хранения данных, коммутаторы и др.) и специального программного обеспечения (СПО) ИВКОД ОТ. СПО ИВКОД ОТ разработано в 2013 – 2015 гг. и развивается в ОКР «ЕТРИС ДЗЗ». СПО ИВКОД ОТ обеспечивает централизованное развёртывание и управление ИТ-инфраструктурой, предоставляющей вычислительную среду для функционирования программного обеспечения.

Облачная инфраструктура КВР обеспечивается следующими уровнями предоставления облачных сервисов: PaaS (платформа как сервис) и IaaS (инфраструктура как сервис). Основным уровнем предоставления облачных услуг КВР является PaaS. PaaS позволяет запускать программное обеспечение в кластере контейнерной виртуализации и использовать парадигму облачных вычислений. Размещение программного обеспечения в IaaS используется только для унаследованных систем.

Можно выделить следующие события 2024 года:

1. Конференция о КВР ЦОД: в мае НИИ ТП на территории Оператора КС ДЗЗ (НЦ ОМЗ) провёл конференцию для ВНИИЭМ и других организаций (РКС, НИЦ «Планета», РГРТУ), участвующих в разработке КС «Канопус-В-О», «Метеор-МП». В течение 8 часов:

- представлены презентации о КВР ЦОД;
- проведена практическая демонстрация интеграции ПО с КВР ЦОД: сборка python-приложения в docker-контейнер и запуск контейнеризированного приложения в кластере контейнерной виртуализации в режиме автоматического масштабирования приложения для выполнения заданий, поступающих из очереди сообщений;

- представлен проект дорожной карты интеграции КС «Канопус-В-О», «Метеор-МП» с КВР ЦОД.

2. КС «Канопус-В-О»: выпущено Решение по объёму и плану интеграции ПО НКПОР-КО с КВР ЦОД:

- решено с самого начала разработки ПО обеспечить удалённый доступ к стенду КВР ЦОД для отработки интеграции ПО с КВР ЦОД;

- для каждой части ПО НКПОР-КО определён кластер КВР ЦОД, в котором она будет работать, при этом по результатам отработки на стенде для каждой части ПО должна будет определена возможность реализации интеграции ПО для работы в кластере контейнерной виртуализации...

**ЕДИНАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННАЯ  
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОН-  
ДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА – ОСНОВА  
НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ПО ПОЛУЧЕНИЮ, ХРАНЕНИЮ  
И РАСПРОСТРАНЕНИЮ ДАННЫХ ДЗЗ,  
ПРЕДОСТАВЛЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
СЕРВИСОВ И УСЛУГ**

**Р. Б. Шевчук, А. И. Макиров, С. В. Пушкарский,  
В. П. Поселяничев, Ю. В. Зубик**  
*(АО «НИИ ТП», г. Москва)*

Возрастающие требования потребителей к данным дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) обуславливают развитие высокопроизводительной орбитальной группировки с космическими аппаратами (КА) ДЗЗ различного назначения.

Для обеспечения ее функционирования по целевому назначению проводится модернизация наземной космической инфраструктуры дистанционного зондирования Земли из космоса по предоставлению сервисов и услуг на космическую съемку и данных ДЗЗ, основой которой является Единая территориально распределенная информационная система ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ).

Основными направлениями развития ЕТРИС ДЗЗ являются:

- построение ЕТРИС ДЗЗ в качестве единой платформы для отечественных или зарубежных КС ДЗЗ в части обеспечения планирования съемки, приема информации, обработки информации, хранения и предоставления данных ДЗЗ;
- построение составных частей ЕТРИС ДЗЗ по сервисной модели, предоставляющей унифицированные решения для реализации основных процессов функционирования наземной космической инфраструктуры (НКИ) ДЗЗ;
- централизация основных вычислительных процессов функционирования ЕТРИС ДЗЗ с использованием облачных технологий;
- расширение возможностей по приему информации с КА ДЗЗ всех типов;
- разработка и внедрение высокопроизводительных автоматических комплексов обработки больших объемов информации ДЗЗ;
- обеспечение данными ДЗЗ сервисов создания высокоуровневых тематических продуктов для потребителей;



– обеспечение информационной безопасности и защиты данных в технологическом контуре ЕТРИС ДЗЗ.

Представленные направления обеспечивают данными и сервисами ДЗЗ самый широкий круг потребителей в интересах решения научных и прикладных задач.

Модернизация аппаратно-программных средств ЕТРИС ДЗЗ осуществляется на основе многоуровневой сервисно-ориентированной модели, в рамках которой происходит взаимодействие от орбитальной группировки КА ДЗЗ до конечных пользователей.

Взаимодействие осуществляется посредством следующих элементов:

- подсистема приема и ретрансляции;
- подсистема планирования целевого применения;
- подсистема обработки и хранения;
- подсистема управления;
- подсистема информационных услуг;
- система защиты информации;
- единая система информационно-справочной и технической информации.

Особое значение имеют основные подходы при проектировании комплексов обработки данных ДЗЗ от разнотипных КА ДЗЗ. К ним относятся унифицированная обработка данных с различных КА ДЗЗ в рамках единого комплекса, унификация процессов обработки, унификация технических средств, унификация программных средств, а также расширение возможностей обработки информации с применением нейросетевых алгоритмов, базы опорных данных, тематических сервисов информационной системы «Цифровая Земля».

Доступ пользователей к продуктам и услугам ДЗЗ может осуществляться через Геопортал Госкорпорации «Роскосмос», мобильное приложение Геопортала, веб-API (программный интерфейс), а также посредством взаимодействия с государственными, ведомственными и коммерческими информационными системами.

Формируемый облик наземной космической инфраструктуры дистанционного зондирования Земли из космоса по предоставлению сервисов и услуг на космическую съемку и данных ДЗЗ в период до 2025 – 2030 г., по своим характеристикам, предполагает использование полного информационного ресурса орбитальной группировки государственных и другой принадлежности КА ДЗЗ при безусловном обеспечении потребителей данными ДЗЗ с требуемой оперативностью и качеством.

## СОЗДАНИЕ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В УНИВЕРСИТЕТАХ

С. В. Пушкарский, А. И. Макеров, А. Л. Козлов,  
Ю. В. Зубик, Д. В. Корыткин  
(АО «НИИ ТП», г. Москва)

Государственная корпорация «Роскосмос» совместно с ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ) (о. Русский, Приморский край), ФГАОУ ВО «Северный Арктический федеральный университет» (САФУ) (г. Архангельск), ФГАОУ ВО «Мурманский Арктический университет» (МАУ) (г. Мурманск), ФГАОУ ВО «Юго-западный государственный университет» (ЮЗГУ) (г. Курск), создают исследовательско-образовательные и инжиниринговые космические центры.

В рамках данной работы создаются наземные комплексы получения и обработки космической информации (НКПОИ-ВУЗ) для получения, обработки и оперативного хранения космической информации от КА ДЗЗ в интересах обеспечения учебного процесса подготовки специалистов, разработки информационных продуктов и технологий использования данных ДЗЗ в интересах потребителей.

НКПОИ-ВУЗ предназначены, в зависимости от типа технической реализации, для получения, от функционально привлекаемых комплексов приема информации (КПИ), обработки и оперативного хранения информации ДЗЗ, принимаемой с КА серии «Канопус-В», «Метеор-М» и с зарубежных КА (ЗКА) серии «Тerra», «Aqua», «NOAA», Suomi NPP, получения информационных продуктов из НКПОИ-О (федерального фонда данных ДЗЗ – ФФД ДЗЗ) в соответствии с заявками, заведенными через Геопортал «Роскосмоса» и создания тематических продуктов ДЗЗ.

Определен состав технических средств создаваемого наземного комплекса, программный информационно-вычислительный комплекс обработки данных на основе облачных технологий и программные комплексы обработки информации с отечественных и зарубежных КА ДЗЗ.

Изготавливаемые и поставляемые средства:

- комплект технических средств регионального центра (КТС ВУЗ-ДВ);
- телекоммуникационный узел СОД (ТКУ СОД ЕТРИС ДЗЗ);

- комплект управления комплексами автоматизированной первичной и стандартной обработки получаемой с КА ДЗЗ информации (СПО УКА-СОИ);
- программный информационно-вычислительный комплекс обработки данных на основе облачных технологий (ИВКОД ОТ);
- программные комплексы обработки информации с КА типа «Метеор-М», «Канопус-В»;
- программный комплекс для обработки информации «Тетра», «Аqua», Suomi NPP, NOAA;
- программные комплексы для создания тематических продуктов ДЗЗ в различных областях народного хозяйства.

Функционально привлекаемые средства на примере ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»:

- комплексы приема информации (КПИ) из состава аппаратно-программных средств (АПС) Отдела приема и обработки космической информации (г. Владивосток) Главного управления МЧС России по Приморскому краю;
- КПИ из состава Центра коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН (спутниковый центр ИАПУ);
- КПИ из состава НКПОР-Р/В (космодром Восточный).

Комплекс станет частью научно-исследовательской лаборатории, которая займется разработкой отечественных продуктов в области обработки спутниковых данных.

В университетах планируется также развернуть лаборатории для реализации научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в области использования результатов космической деятельности, в том числе приема и обработки данных дистанционного зондирования Земли. Совместная работа будет ориентирована на использование результатов космической деятельности, популяризацию этого научного направления и подготовку высококвалифицированных кадров для ракетно-космической промышленности.

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОТОКОВАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ: ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ**

**Д. И. Федоткин, Е. Н. Боровенский, Д. В. Сысенко, А. В. Ядыкин**  
*(АО «НИИ ТП», г. Москва)*

Унифицированный комплекс автоматической потоковой обработки информации (АПОИ) спроектирован для первичной и стандартной [1] обработки данных со всей группировки отечественных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ). АПОИ создавался в АО «НИИ ТП» по заказу Госкорпорации «Роскосмос» в рамках модернизации Единой территориально распределенной информационной системы ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ) как замена действующему подходу по созданию многочисленных наземных комплексов приема, обработки и распространения информации (НКПОР), своих под каждый КА или, максимум, серию однотипных КА [2].

С сентября 2020 г. комплекс АПОИ находился в опытной эксплуатации в ходе которой впервые выполнял обработку заявок потребителей в автоматическом режиме [3], а с октября 2021 г. комплекс введен в штатную эксплуатацию в части стандартной обработки данных с КА Ресурс-П № 1, 2, 3, Канопус-В № 1, 3, 4, 5, 6, ИК, БКА в контуре Оператора КС ДЗЗ и осуществляет обработку заявок российских потребителей (создаваемых через геопортал Роскосмоса) полностью в автоматическом режиме в рамках эксплуатации Федерального Фонда Данных дистанционного зондирования Земли (ФФД ДЗЗ), обеспечивая, в том числе, заявки федеральных и региональных органов государственной власти [4].

Комплекс АПОИ в рамках ФФД ДЗЗ функционирует на 10-серверном вычислительном кластере, размещенном в центре обработки данных (ЦОД). Стоит отметить, что за время эксплуатации АПОИ даже на фоне увеличения общего количества заявок потребителей все они выполнялись при 10% средней загрузке кластера. Результаты эксплуатации АПОИ в интересах ФФД ДЗЗ за период с января по сентябрь 2022 г. представлены в [5]. В текущем докладе приведена статистика эксплуатации АПОИ в рамках ФФД ДЗЗ за период с июня 2023 г. по май 2024 г.

В своем развитии технологии АПОИ легли в основу подсистемы обработки данных информационной системы «Цифровая Земля» (ПОД ИС ЦЗ), создаваемой по заказу ГК «Роскосмос» в рамках национальной программы «Цифровая Экономика РФ». В ПОД ИС ЦЗ, помимо автоматического формирования стандартных продуктов ДЗЗ уровней 1 и 2 [1], впервые реализована оперативная автоматическая обработка данных российской ОГ КА ДЗЗ (серий Ресурс-П, Канопус-В, Метеор-М) как единого сплошного многослойного динамического покрытия (ЕСМДП) с возможностью автоматического формирования в интересах потребителей производных продуктов ДЗЗ уровня 3 [1], включая высокоточные бесшовные сплошные покрытия (ортомозаики) [6].

Особенностью формирования ортомозаик является использование блочного уравнивания по строгим моделям съемки. Автоматическая обработка реализована на всех этапах, начиная от отбора архивных маршрутов и заканчивая фотометрическим выравниванием. Реализованные алгоритмы набора опорных точек местности, семантической сегментации изображений с использованием искусственных нейронных сетей, уточнения параметров баллистического движения КА и его ориентации, блочного уравнивания маршрутов параметрами строгих моделей, их тональной радиометрической балансировки, построения линий пореза и др. обеспечивают высокую точность геопривязки (единицы метров), геометрическое и радиометрическое качество получаемых ортомозаик [6].

Благодаря реализованным в АПОИ и ПОД ИС ЦЗ технологиям распределенной обработки (как на уровне маршрутов съемки, так и в пределах одного маршрута - разные маршруты и его фрагменты распределяются на разные сервера) обеспечиваются высокие показатели производительности используемых ресурсоемких алгоритмов [3]. Так, например, производительность создания ортомозаичных покрытий составляет 50 тыс. кв. км в час (в разрешении 2.1 м, по данным КА Канопус-В, тип обработки PANSHARP, 4 спектральных канала) при задействовании 100% мощности технических средств ПОД ИС ЦЗ. Таким образом, ПОД ИС ЦЗ способна формировать ортомозаичные покрытия на всю территорию Российской Федерации примерно за 2 недели. В докладе представлены результаты построения бесшовных паншарп-ортомозаичных покрытий на ряд территориальных субъектов РФ по данным КА Канопус-В.

Таким образом, автоматическая потоковая обработка информации продолжает успешно выполнять свои задачи в части стандартной обработки данных в составе ФФД ДЗЗ, а также получила реализацию в части

производной обработки в рамках ИС ЦЗ. Дальнейшее развитие видится в направлении построения цифровых моделей местности, обработки данных радиолокационной съемки, создания мультивременных рядов и др.

### Литература

1. ГОСТ Р 59480-2021 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. «Уровни обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса».
2. Лошкарев П. А., Федоткин Д. И., Ядыкин А. В., Боровенский Е. Н., Сысенко Д. В. Комплекс автоматической обработки информации от сеанса сброса до продуктов ДЗЗ, обеспечивающий высокопроизводительную унифицированную обработку данных с космических аппаратов типа «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М» // Материалы 17-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2019
3. Лошкарев П. А., Федоткин Д. И., Боровенский Е. Н., Сысенко Д. В., Ядыкин А. В. Практические результаты эксплуатации автоматической технологии обработки данных — качественно новые возможности и перспективы для функционирования Фонда данных ДЗЗ и создаваемой информационной системы «Цифровая Земля» // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2020. С. 436. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a
4. Шведов Д. О. Об обеспечении потребителей данными из Федерального фонда данных ДЗЗ в 2022 году // Материалы 6-го заседания МВК РКД. 18 – 19 мая 2023 г., Тула.
5. Д. И. Федоткин, А. В. Ядыкин, Е. Н. Боровенский, Д. В. Сысенко. Комплекс автоматической потоковой обработки информации в работе Федерального фонда данных дистанционного зондирования Земли (ФФД ДЗЗ) // Отраслевая научно-практическая конференция «Космонавтика XXI века», памяти академика В.Ф. Уткина, Москва, ЦНИИмаш, 2023 г.
6. Федоткин Д. И., Боровенский Е. Н., Сысенко Д. В., Ядыкин А.В., Лошкарев П. А. Автоматическая обработка данных космической съемки в наземном сегменте отечественной многоспутниковой группировки КА ДЗЗ // Журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2024. Т. 21. № 3. С. 9. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-9-30

# ЗАЩИЩЕННОСТЬ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЧЕРЕЗ ОЦЕНКУ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Д. С. Лазорин

*(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина», г. Москва)*

Создание и эксплуатация систем наблюдения Земли из космоса является приоритетным направлением для Российской Федерации. Это доказывает следующее: 18.06.2024 Президент РФ Владимир Путин утвердил приоритетные направления научно-технологического развития страны и перечень важнейших наукоемких технологий [1]. В данный перечень вошли технологии, связанные с мониторингом и прогнозированием состояния окружающей среды, в том числе из космоса. Разработка подобных систем является трудоемким процессом и требует особого контроля. К таким относится киберфизическая система (КФС) – это взаимосвязанная физическая система, которую можно контролировать и управлять ею удаленно. Системный анализ КФС имеет решающее значение для повышения эксплуатационной безопасности и защищенности. КФС характеризуются глубокой интеграцией между киберэлементами (компьютерами, алгоритмами, данными), физическими компонентами (датчиками, исполнительными механизмами) и процессами, которые часто представляются как сложная сеть взаимозависимых систем.

В научной литературе неоднократно упоминается, что для цифровой трансформации необходим переход к программно-определяемым виртуальным системам, предполагающим виртуализацию всех компонентов космической системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включая сети приемных станций (GaaS или GSaaS) и орбитальные группировки (цифровой двойник) [2]. КФС и цифровой двойник часто являются взаимосвязанными компонентами. Реализация и эксплуатация цифровых двойников увеличивается с каждым годом [3].

Вопрос информационной безопасности является неотъемлемой частью любой информационной системы. Критериев, которые необходимо соблюдать для обеспечения информационной безопасности, множество. Оценка качества управления – критерий, позволяющий выявить потенциальные уязвимости в КФС на основе цифрового двойника. От поведения КФС зависят многие другие процессы. Так потенциальной угрозой может стать перевод ключевого источника сбора и распространения данных во вредоносное состо-

яние, либо скрытая манипуляция поведением базовой физической системы. Для обеспечения информационной безопасности КФС на основе цифрового двойника необходимо внедрить определенный механизм защиты, который позволит проводить мониторинг всех процессов в самой системе, а также применять меры противодействия. Для оценки качества управления требуется определить ряд параметров, по которым будет производиться анализ поведения системы. При выходе выбранных параметров за предельную границу механизм защиты должен искать причины и устранять их. Сложность такого подхода заключается в том, что каждая КФС имеет свои уникальные характеристики. Следовательно, разработка механизма защиты для каждой КФС будет уникальной. Ключевая особенность цифрового двойника, находящегося в КФС, в том, что он должен представлять собой адекватную модель существующего физического продукта или целостного процесса.

Таким образом, предложен критерий, основанный на оценке качества управления, который может помочь в решении обеспечения информационной безопасности КФС на основе цифрового двойника.

### **Литература**

1. Путин утвердил приоритетные направления научно-технологического развития РФ // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации URL: <https://digital.gov.ru/ru/events/51547> (дата обращения: 10.08.2024).
2. Влияние цифровой трансформации общества на приоритеты развития ДЗЗ из космоса в России / М. Н. Хайлов, В. А. Заичко, А. Е. Тюлин, А. А. Емельянов // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: Электронный сборник материалов конференции, Москва, 16 – 20 ноября 2020 года / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2020. – С. 3. – EDN KQPPBN.
3. Свадковский, В. А. Применение цифровых двойников для повышения операционной эффективности предприятий добывающих отраслей / В. А. Свадковский // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 292 – 311. – DOI 10.17747/2618-947X-2023-3-292-311. – EDN HMNFHV.



# АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ В БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

С. М. Шихин

(АО «НПО ЛАВОЧКИНА», г. Химки)

*Работа посвящена разработке метода оптимального планирования по нескольким критериям съемки объектов наблюдения (ОН) на поверхности Земли группировкой космических аппаратов (КА) с радиолокатором с синтезом апертуры (РСА) используя метод с алгоритмом поиска на графах с учетом накладываемых ограничений бортовых и наземных систем. Надежность контроля данных системы планирования и управления важнейшие для практического применения программно-технических средств, проблемы верификации и безотказности, в общем случае, продолжают оставаться нерешенными.*

**Ключевые слова:** планирование работы космической системы, оптимизация съемки, программирование, радиолокатор, космический аппарат, дистанционное зондирование земли.

## Целью работы

Оптимизация планирования съемки объектов на поверхности Земли методом, использующим алгоритмы поиска на графах с учетом накладываемых ограничений бортовых и наземных систем (ресурсов космической системы). Разрабатываемый метод позволяет: учитывать особенности КА с РСА и требования по качеству целевой информации – разрешающей способности аппаратуры КА. Метод возможно использовать в других типах КС с целью увеличения производительности [1]. Дает возможность сравнить методы планирования и их модификации.

## Математическая постановка задачи

ОН в поставленной задаче можно интерпретировать как вершины ациклического нагруженного ориентированного графа. Дуги в этом графе показывают возможность перенацеливания с одного объекта на другой. При построении графа учитываются следующие **допущения**. Под оптимальным путем будем понимать такой путь в графе, при котором сумма весов всех пройденных дуг будет наибольшей при прохождении всех вершин графа. Под весом дуги понимается коэффициент важности объекта, в которой она состоит, то оптимальный путь будет включать все вершины, при выполнении критерия:

$\max \sum_{i=1}^N b_i$  где:  $b_i$  – коэффициент, характеризующий важность  $i$ -ого объект

наблюдения.  $i = \overline{1, N}$  – количество объект наблюдения, попавших в полосу обзора КА на заданном интервале, между которыми возможно перенацеливание.

Для реализации метода необходимо разработать модель целевой обстановки, модель движения КА. Необходимо получить программное обеспечение для моделирования оптимальной программы съемки неравноценных объект наблюдения с учетом ограниченных возможностей бортовых систем [2].

### **Заключение**

При использовании алгоритма по критерию максимального количества ОН [3], увеличивается их количество на ~9%. Используя алгоритма оптимизации планирования по критерию максимальной важности, ОН увеличивается количество снимаемых ОН на ~8%. Использование алгоритма позволит сократить время расчета ПО в ~ 2,1 раза. Применение разработанного метода позволяет разработать схему автоматизации планирования съемки КС с учетом особенностей целевой задачи. Результаты позволяют определить формирование рациональной схемы планирования АК при заданных характеристиках КС.

### **Литература**

1. Абрамов В. Г., Трифонов Н. П., Трифонова Г. Н. Введение в язык паскаль. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988, с. 320.
2. Дарнопых В. В., Ефанов В. В., Занин К. А., Малышев В. В. Синтез информационного тракта при планировании целевого функционирования космических систем наблюдения по критериям качества // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления, № 4, 2010, с. 100 – 107.
3. Занин К. А., Пирогов М. В., Шихин С. М. Контроль данных системы планирования и управления работой аппаратуры космического аппарата на основе радикального моделирования // Научные технологии, т. 20, № 4, 2019, с.

# АНСАМБЛИ КОРРЕЛЯЦИОННО РАЗВЯЗАННЫХ СОСТАВНЫХ СИГНАЛОВ С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

А. С. Петров, В. П. Макаров, А. С. Волченков

(Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина, г. Химки)

В аппаратуре импульсных радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) с целью подавления эхосигналов, принимаемых боковыми лепестками диаграммы направленности антенны, как правило, используются модулирующие ансамбли сигналов с фазово-кодовой модуляцией (ФКМ). Они характеризуются высокой кросскорреляционной развязкой между элементами. Вместе с тем, существует проблема формирования аналогичных ансамблей сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ).

В частности, используются последовательности сигналов с ЛЧМ, в которых каждый элемент разделен на два интервала с различающимися от импульса к импульсу значениями их длительности, скорости изменения частоты и ее знака. Эти так называемые  $V$ -сигналы с ЛЧМ описаны в базовой монографии [1]. Еще один вариант структуризации импульсов с ЛЧМ по симметричной схеме с частотной зависимостью, напоминающей по форме букву  $W$ , описан в [2]. Использование таких сигналов не позволяет реализовать ансамбли большой размерности.

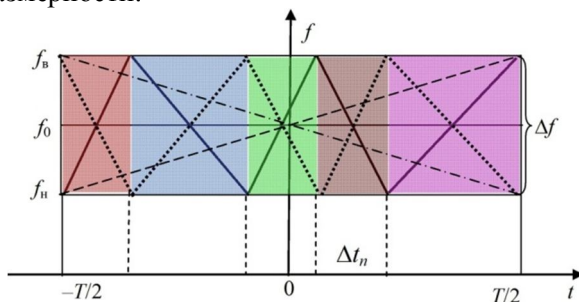


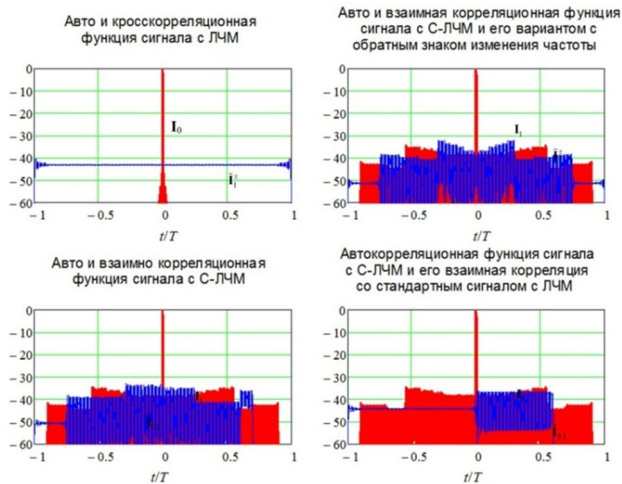
Рис. 1. Зависимость частоты от времени в импульсе с традиционным монотонным характером ее изменения по всей длительности (пунктир и штрих-пунктир) и составной сигнал с ЛЧМ (сплошные линии)

Рассмотрим вариант формирования ансамблей из составных сигналов с ЛЧМ, которым присвоена аббревиатура С-ЛЧМ, рис. 1. На этом рисунке точечными линиями показана зависимость частоты от времени в составном

сигнале, в каждом фрагменте которого знак скорости изменения частоты противоположен к тому, который изображен сплошной линией.

Длительность импульса разбивается на произвольно задаваемое число частей, в каждой из которых формируется сигнал с ЛЧМ. Ширина полосы частот во всех интервалах одинакова, но знаки скорости ее изменения (нарастания или убывания) в соседних интервалах различны. Получены выражения для расчета авто- и взаимных (кросс-) корреляционных функций таких сигналов и приведены примеры с наглядными графическими иллюстрациями, подтверждающие возможность реализации ансамблей модулирующих сигналов с С-ЛЧМ, характеризующихся высокой кросскорреляционной развязкой, до минус 30...40 дБ.

На рис. 2 приведены зависимости от нормированного времени авто и взаимной корреляции двух сигналов с ЛЧМ и С-ЛЧМ. Длительности двух сигналов с С-ЛЧМ разбиты по времени на различное число частей. Первый из них характеризуется разбиением на 5 составных частей  $\pm (0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3)$ , второй – на две составные части  $(0,4, 0,6)$ , база сигналов  $B=10000$ . Видим, что в этом случае корреляционная развязка двух сигналов не превышает минус 30 дБ, причем, с хорошим запасом.



**Рис.2. Зависимости от нормированного времени авто и взаимной корреляции сигнала ЛЧМ и двух сигналов с С-ЛЧМ, различающихся числом разбиения длительности импульсов при  $B=10000$  (цвет корреляции – красный, кросс-корреляции – синий)**

## **Вывод**

Большие ансамбли составных сигналов с ЛЧМ наравне с ансамблями сигналов с ФКМ могут использоваться в аппаратуре РСА для подавления кратных помех по дальности, принимаемых по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны.

## **Литература**

1. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. – М.: Советское радио. 1971. – 568 С.
2. Wang Y., Ding Z., Ji W., Zeng T, Long T., Kuai Z. Time-Varying Nadir Echo Suppression for Spaceborne Stripmap Range Sweep Synthetic Aperture Radar via Waveform Diversity//IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters. 2021. V. 18. No. 5. – pp. 826 – 830.

# **СРАВНЕНИЕ СНИМКОВ ДЗЗ, ПОЛУЧЕННЫХ С РАЗНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, С ЦЕЛЬЮ ОБОСНОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ЗНАЧЕНИЯМ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА**

**С. С. Новиков, П. Е. Новикова**

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

На ведение кадастровой деятельности в разных странах могут влиять различные факторы: государственный, рыночный, имущественный, информационный и многие другие. Одним из факторов, который будет вызывать сложности при ведении кадастровой деятельности и межевании земель Российской Федерации, также будет являться обширная территория государства. Так, общая площадь РФ, отнесенных только к землям лесного фонда, составляет около 65 %. На конец 2013 года количество участков с неустановленными границами этой категории земель составляло 29,8 млн участков. К 2023 году количество неразмежеванных лесных участков снизилось примерно до 23 млн участков, что является в целом значительный прогрессом, но до полного покрытия территорий пока далеко.

С решением этих вопросов государственным структурам могло бы помочь использование для целей кадастра недвижимости космических снимков ДЗЗ, однако сформулированные в приказе Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23 октября 2020 г. № П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка ...» требования к проекции пикселя на местности даже для земельных участков, отнесенных к лесному фонду, составляет 60 см, что превышает возможности отечественной группировки КА. В данном исследовании проведено сравнение снимков с КА типа «Канопус-В», имеющих проекцию пикселя равную 210 см, и снимков с БПЛА, имеющих проекцию пикселя равную 9 см. Сравнение проведено на территории земель, покрытых лесом с целью доказательства, что космические снимки с КА «Канопус-В» позволяют определить необходимые координаты характерных точек границ земельного участка на местности. Исходя из этого можно допустить, что космические снимки можно использовать для определения границ участков земель, отнесенных к лесному фонду, а Приказ Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393 может быть изменен в контексте требования предъявляемых для снимков данных земельных участков.

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДВУХВОЛНОВОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

**Ю. Б. Павлюков**

(ФГБУ «Центральная Аэрологическая Обсерватория»,  
г. Долгопрудный МО)

Одной из перспективных задач спутникового ДЗЗ является радиолокационный мониторинг метеорологических явлений в тропосфере, включая мониторинг атмосферных осадков. Наземная радиолокационная сеть Росгидромета не покрывает и в обозримой перспективе – не сможет покрыть наблюдениями всю территорию РФ, в то время как опасные явления погоды (ОЯП), связанные с атмосферными осадками, с каждым годом приносят все больший ущерб народному хозяйству и представляют возрастающую угрозу жизни граждан вследствие нарастающих климатических изменений.

В этих условиях становится особенно актуальной задача создания системы спутникового радиолокационного зондирования облачной атмосферы в см/мм диапазонах длин волн. Ее задачей становится получение информации о характеристиках облачности и осадков на возможно большей части территории РФ в высоком пространственном ( $\leq 4$  км) и временном разрешении (чаще 30 – 60 минут). Радиолокационная метеорологическая информация в настоящее время широко востребована в штормооповещении (для выдачи шторм-предупреждений), для метеорологического обеспечения аэронавигации в районах расположения аэродромов, районах полетов и на авиатрассах, а также для инициализации и оценки точности численных моделей погоды, особенно в ЧМП с прямым моделированием конвекции и связанных с ней ОЯП, для управления работами по искусственному регулированию атмосферных осадков методами активных воздействий на атмосферные процессы.

История развития систем спутникового радиолокационного мониторинга облачной атмосферы насчитывает в мире уже более четверти века [3]: начало было положено в американо-японском проекте TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission*, 1997 – 2015), затем эти работы были продолжены в 2014 г. в проекте GPM (*Global Precipitation Measurement*) и китайском проекте на спутнике FY-3G (2023). В этот же период были запущены спутники с

радары на борту для профилирования характеристик облачности: NASA – CloudSat (2006 – 2024) и RainCube (2018-2020) и ЕКА– EarthCARE (2024).

Современные спутниковые радары (GPM, FY-3G) для мониторинга осадков являются двухчастотными, обеспечивая одновременное измерение радиолокационной отражаемости  $Z$  (dBZ) в двух каналах 35,5 и 13,6 ГГц (Ka, Ku) для более точного измерения интенсивности осадков  $R$  (мм/час) по измерениям  $Z$  на двух длинах волн. Для обработки радарных данных необходимо использовать специализированное ПО, учитывающее тонкости распространения СВЧ-излучения в среде с ослаблением СВЧ-излучения.

Более 30 лет в Росгидромете широко эксплуатировался двухволновый метеорологический радиолокатор МРЛ-5. В ФГБУ «ЦАО» на его базе был создан аппаратно-программный комплекс АКСОПРИ, который обеспечивал одно-временное измерение радиолокационной отражаемости  $Z$  на  $\lambda=3$  и 10 см ( $X$ ,  $S$ ) и разработан двухволновой метод радиолокационного измерения интенсивности осадков  $R$  (мм/час) с учетом естественных вариаций в атмосфере распределения частиц по размерам ( $DSD$ ). Данный метод может рассматриваться в качестве прототипа специализированного ПО для обработки данных спутникового двухволнового радиолокационного зондирования атмосферных осадков.

Для обработки данных двухволнового радиолокационного зондирования с учетом вариаций  $DSD$  и ограниченной точности р/л наблюдений в реальных условиях, приводящие к возмущениям коэффициентов основного уравнения радиолокации с учетом ослабления излучения в среде и в соотношении Маршалла-Пальмера  $R(Z)$ , была построена математическая модель, реакция которой на возмущения коэффициентов изучалась методом Монте-Карло с гауссовой аппроксимацией шумового сигнала [1, 2].

В результате вычислительных экспериментов [2] было установлено, что точность предложенного метода зависит от ряда факторов: величины накопленного затухания в конце дистанции  $Z_{10}$ - $Z_3$ , амплитуда шума в измерениях  $Z$ , длины траектории наблюдения *спутник-нижняя граница р/эха*. Для значимого повышения точности измерения  $R$  необходимо накопление значительного относительного ослабления на двух  $\lambda$  – не менее 1,5 – 2 дБ, при относительно низкой величине погрешности измерений  $Z$  – не выше 1,5 дБ.

Апробация предложенного двухволнового метода проводилась на данных оперативных р/л наблюдений на комплексе АКСОПРИ «Москва» путем сравнения результатов измерений выпавших осадков с данными независимых измерений на сети метеостанций. Было продемонстрировано значимое по-



вышение точности  $\rho/l$  измерений  $R$  и количества выпавших осадков в результате применения предложенного двухволнового метода по сравнению с классическим одноволновым методом Маршалла-Пальмера при соблюдении приведенных выше условий.

### **Литература**

1. Pavlyukov Yu. B., Application Experience of attenuation-tuned Z-R relation in radar rainfall measurements, Prepr. 31st AMS Conference on Radar Meteorology, American Meteorol. Soc., Seattle, USA, 2003.
2. Pavlyukov Yu. B., Pavlyukova E.R., Physical and statistical model for dual-wave weather radar observations, Abstracts of URSI GASS 2020, Rome, Italy, 29 August – 5 September 2020, Pp. 3.
3. Chase R.J., B. Dolan, K.L. Rasmussen, R.M. Schulte , G. Stephens , F.J. Turk, S.C. van den Heever, A multi-frequency spaceborne radar perspective of deep convection, USA, arXiv:2406.17110v1 [physics.ao-ph] 24 Jun 2024, Pp. 16 .

## РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

**Е. С. Казанцева**

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

Применение спутников Земли в зондировании получило широкое признание с начала проведения Международного геофизического года, когда спутники впервые стали серьезно рассматриваться в качестве геофизического инструмента. Правда, даже в настоящее время не имеется соединений с каким-либо значительным улучшением точности определения положений. Рассмотрение наилучшего варианта схемы такой системы и ее практического применения и является темой работы.

Очевидно, чтобы иметь искусственный спутник Земли в качестве точного геодезического инструмента, необходимы особые усилия. Задача, таким образом, состоит в оптимизации параметров наблюдения и оптимизации распределения станций наблюдения. Выражение «параметры наблюдения» скрывает за собой сложные вопросы, касающиеся точности и частоты наблюдений, расположения станции, а также необходимого наземного и бортового оборудования.

Вероятно, лишь такие методы, как фотографирование звезд для определения абсолютных углов, измерение дальности радиолокационными средствами и измерение скорости вдоль луча зрения при помощи доплеровского сдвига частоты в радиодиапазоне, позволяют надеяться на получение достаточной точности при использовании геодезического спутника в ближайшем будущем. Однако еще не существует полностью согласованного мнения относительно, а) оптимального соотношения оптических и радиолокационных измерений, б) относительных достоинств радиолокационных систем непрерывного действия и импульсных радиолокационных систем точного измерения дальности и в) применимости разработанных в настоящее время доплеровских систем измерения скорости вдоль линии визирования для систем с геодезическим спутником.

По традиции геодезию связывают с определением точного положения контрольных пунктов на поверхности Земли. Сведения, полученные на этих пунктах, представляют собой как бы отдельные элементы, из которых складываются данные о таких величинах, имеющие большое научное

значение, как размер и форма Земли и характеристики ее поля тяготения. Теоретически такие контрольные пункты могут быть отнесены к вращающейся декартовой  $(X, Y, Z)$ , сферической  $(\rho, \psi, \lambda)$  или эллипсоидальной  $(R, \varphi, \lambda, e, a)$  системам координат. Указанные координатные системы имеют своим центром центр масс Земли; одна их ось совпадает со средним направлением полярной оси Земли, а другая расположена в меридиональной плоскости нулевой долготы. Эти системы являются эквивалентными формами геоцентрической координатной системы. Однако на практике невозможно отнести положение точек на поверхности Земли к центру масс Земли [0]. Ввиду этого для практических приложений пришлось допустить два основных отклонения от геоцентрической системы координат.

В работе предложено техническое решение по организации автоматизированной обработки данных КА. Для решения задачи были выбраны широко используемые и регулярно обновляемые в ГИС-сообществе библиотеки работы с растровыми данными.

Предложенные подходы ДЗЗ основаны на открытых данных и открытом программном обеспечении, которое активно применяется сообществом для решения задач как по обработке и подготовке тематических продуктов ДЗЗ, так и для построения систем сбора, трансформации и хранения больших объемов данных, в том числе для построения данных.

Таким образом, задача оптимизации наблюдений и параметров орбиты для улучшения координат станций приводит к огромному количеству возможных решений без какого-либо порядка или логической последовательности. Очевидно, что прежде, чем сформулировать практические рекомендации по поводу получения геодезических данных с помощью наблюдений за спутником, следует выяснить некоторые основные закономерности. Такие закономерности легко получаются в результате тщательного анализа задач геодезического спутника.

### **Литература**

1. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие. М.: Юрайт, 2011. 399 с.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА МЕТОДАМИ СПУТНИКОВОГО ДЗЗ

<sup>1,2</sup>В. А. Качур, <sup>1,2</sup>А. И. Алексанин

*(<sup>1</sup>Институт Автоматики и Процессов Управления Дальневосточного отделения  
Российской академии наук, г. Владивосток*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток)*

Обнаружение вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) является актуальной задачей экологического контроля акваторий. Это явление наносит значительный экономический ущерб прибрежным морским хозяйствам. ВЦВ приводит к гибели рыб и донных гидробионтов, а также накоплению токсинов в моллюсках фильтратах. Для успешного решения проблемы необходимо разработать эффективные методы обнаружения ВЦВ, их мониторинга и прогнозирования по данным дистанционного зондирования.

Аномально большое количество осадков летом 2023 привело к распреснению морской воды, а также к попаданию значительного количества биогенов в воды залива Петра Великого. Все это привело к сменяющим друг друга вспышкам цветения фитопланктона в прибрежных водах летом и осенью 2023. ИАПУ ДВО РАН совместно с ННЦБМ ДВО РАН и ТОИ ДВО РАН провели 3 однодневных морских экспедиции 21.09.2023, 12.10.2023 и 24.10.2023, с целью провести комплексную съемку морской акватории бухты Новик (о. Русский) и Амурского залива. Суммарно на 23 станциях осуществлялись: СТД зондирование; измерение восходящего из воды излучения и освещенности водной поверхности с помощью гиперспектрорадиометра; осуществлен отбор проб с поверхности воды для определения видового состава фитопланктона и для определения оптических свойств фитопланктона и растворенного органического вещества с помощью лабораторного спектрофотометра.

Целью данных работ было разработка методики оценки состояния фитопланктонного сообщества и обнаружения смены вида доминирующей по биомассе микроводоросли методами спутникового ДЗЗ.

В момент цветения в определенный момент возникает дефицит питательных веществ. В таких условиях клетки увеличивают выделение метаболитов. В работе [1] показано, что фотохимическое преобразование энергии физиологически ограничено питательными веществами, а величина собственной флюорисценции отражает фотофизиологическое состояние фитопланктона. На флюоресценцию оказывает влияние недостаток питательных веществ [2].

Недостаток приводит к росту флюоресценции. Для оценки этого параметра по данным ДЗЗ использовался расчет высоты линии флюоресценции flh, алгоритм расчета которой изложен в документе пакете SeaDAS ATBD\_MOD22 [3]. Для мониторинга состояния фитопланктона использовалась удельная флюоресценция, отношение высоты линии флюоресценции (flh) к концентрации хлорофилла а (chl-a). Низкая величина говорит о том, что клетка активно использует поступающий свет на фотосинтез, то есть питательных веществ достаточно и идет рост биомассы. Высокая величина отношения говорит об избытке поступающего света, что указывает на замедление роста биомассы.

В момент смены вида доминирующей по биомассе микроводоросли, обычно клетки доминирующей водоросли образуют цисты. Этот процесс обычно сопровождается образованием массы отмершего органического вещества, что должно сопровождаться понижением концентрации хлорофилла а при слабо меняющейся мутности воды. На фоне отмирания клеток идет рост клеток других видов. Проверялась гипотеза, что если оптические свойства уходящего и сменяющего вида фитопланктона отличаются, то должны меняться некоторые индексы цветности – отношения яркости моря (Rrs) в двух разных спектральных каналах.

### Литературы

1. Lin, H.; Kuzminov, F.I.; Park, J.; Lee, S.; Falkowski, P.G.; Gorbunov, M.Y. The Fate of Photons Absorbed by Phytoplankton in the Global Ocean. *Science* 2016, 351, 264 – 267.
2. Wolanin A., V.V.Rozanov, T.Dinter, S.Noël, M. Vountas, J.P.Burrows, A.Bracher. Global retrieval of marine and terrestrial chlorophyll fluorescence at its red peak using hyperspectral top of atmosphere radiance measurements: Feasibility study and first results. *Remote Sensing of Environment*. 166 (2015) 243 – 261. DOI:10.1016/j.rse.2015.05.018
3. Abbott M.R., and Ricardo M. Letelier R.M. (1999). Algorithm Theoretical Basis Document Chlorophyll Fluorescence (MODIS Product Number 20). [https://eosps.nasa.gov/sites/default/files/atbd/atbd\\_mod22.pdf](https://eosps.nasa.gov/sites/default/files/atbd/atbd_mod22.pdf). Accessed 5 January 2022.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА НАВОДНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

<sup>1</sup>Я.В. Алексеенко, <sup>2</sup>А. А. Антонова, <sup>3</sup>В. И. Каргашев

*(1 Главное управление «Национальный центр управления в кризисных ситуациях»  
МЧС России, г. Москва,*

*2 АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация*

*3 ООО «Центр инновационных технологий», г. Москва)*

*Наводнения ежегодно наносят масштабный ущерб экономике стран во всём мире. Для своевременного реагирования на возникающие угрозы населению и территориям от наводнений требуется создание системы обеспечения принятия своевременных управленческих решений. Данная система должна обеспечивать информационную поддержку управления, как при проведении превентивных мероприятий, так и при экстренном реагировании на наводнения.*

*Учитывая возрастающие объёмы информации, обеспечивающей принятие управленческих решений при реагировании на наводнения, авторами предлагается подход по построению информационной системы мониторинга наводнений, обеспечивающей загрузку, хранение, трансформацию и визуализацию данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Эффективность предлагаемой информационной системы обеспечивается за счёт применения технологий обработки больших данных.*

**Ключевые слова:** *обработка данных ДЗЗ, мониторинг водных объектов, мониторинг чрезвычайных ситуаций, сбор данных, визуализация данных, большие данные ДЗЗ*

Одним из разрушительных стихийных бедствий являются наводнения. Ежегодно наводнения наносят колоссальный ущерб территориям и населению. На территории Российской Федерации в большинстве случаев наводнения возникают при весеннем половодье и в результате дождевых паводков в летне-осенний период.

Для обеспечения мониторинга развития наводнений, учитывая их масштабы, активно применяются данные дистанционного зондирования Земли из космоса (данные ДЗЗ). Данные ДЗЗ обеспечивают оперативное и достоверное информационное обеспечение принятия управленческих решений, направленных на снижение ущерба населению и территориям от наводнений.

В последнее десятилетие наблюдается активное развитие орбитальной группировки космических аппаратов ДЗЗ (КА ДЗЗ), данные с которых доступны большому количеству пользователей. Это привело к необходимости пересмотра используемых методов обработки, хранения и визуализации данных ДЗЗ. Рост данных, которые генерируются открытыми КА ДЗЗ, носят взрывной рост и являются большими данными. Для эффективной информационной поддержки управления и принятия решений при реагировании на наводнения требуется получения информации в кратчайшие сроки с момента их получения. Учитывая объёмы данных ДЗЗ, требуется использование современных подходов по хранению и обработке данных ДЗЗ.

Авторами предлагается подход к построению информационной поддержки управления и принятия управленческих решений на основе технологий обработки больших данных. Предлагаемая информационная система позволяет в автоматическом режиме обеспечить весь цикл обработки данных ДЗЗ – с момента их получения и до получения тематических продуктов. Кроме того, предлагаемые методы позволяют обеспечить гибкое масштабирование инфраструктуры информационной системы и распределение ресурсов. Используемые технологии обработки больших данных, кроме обеспечения создания тематических продуктов для мониторинга наводнений, позволяют создавать временные ряды для обучения моделей машинного обучения, предназначенных для прогнозирования возникновения наводнений и их развития.

## **ФУНКЦИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ОБУЧЕНИИ МОДЕЛЕЙ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ И ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ**

**А. А. Золотой, Д. И. Новиков**

*(Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие  
«Геоинформационные системы» НАН Беларуси, г. Минск)*

Детектирование лесных и пахотных земель на аэрофотоснимках представляет собой задачу быстрого предварительного нахождения и локализации на аэрофотоснимках областей, в которых вероятно присутствие объектов заданных классов. Это способствует улучшению условий для последующего решения задач классификации или семантической сегментации объектов за счёт сокращения анализируемого пространства аэрофотоснимков.

Современные решения в области детектирования объектов на изображениях строятся на использовании моделей, основанных на искусственных нейронных сетях свёрточного типа (CNN – Convolutional Neural Network), которые обучаются на мощных GPU-ускорителях с привлечением специализированных программных библиотек.

Лесные и пахотные земли на аэрофотоснимках характеризуются площадью протяжённостью и могут иметь сложные морфологические формы. Для детектирования таких объектов на изображениях удобно использовать архитектуры моделей подобные тем, что применяются в задачах семантической сегментации изображений. В данной работе была использована модель с CNN типа U-Net. При этом исходное изображение высокого разрешения уменьшалось в размере с понижением разрешения.

При обучении модели детектирования лесных и пахотных земель на аэрофотоснимках с понижением исходным разрешения очень важно правильно выбрать функцию потерь, используемую для корректировки весов CNN в процессе обучения. Функция потерь определяет отклонение текущего мнения модели об отношении участка изображения к объекту от правильного на каждом шаге обучения. Для моделей детектирования, принципиальным является недопущение пропуска объектов. Модель детектирования должна обеспечивать минимальное количество ложноотрицательных ошибок (FN – False Negative). При этом количество ложноположительных ошибок (FP – False Positive) не так принципиально. Пропущенные при детектировании участки



изображения, на которых в действительности присутствуют объекты, в дальнейшем приведут к их пропуску в итоговом результате семантической сегментации или классификации этих объектов. Поэтому, при обучении моделей детектирования необходимо предусмотреть штрафование за ложноотрицательные (FN) ошибки при вычислении значения функции потерь на каждом шаге обучения.

Результатом вызова модели детектирования объектов на изображении является растровая маска (матрица) в размерах входного изображения на которой значениями «1» или «255» отмечены пиксели входного изображения, относящиеся к объектам, а значениями «0» отмечены пиксели, не относящиеся к объектам. Значения взвешенной матрицы  $\mathbf{L}_w$ , возвращаемой функцией потерь для каждого входного изображения следует рассчитывать по формуле:

$$\mathbf{L}_w = k_1 \mathbf{K}_2 \mathbf{L}, \quad (1)$$

где  $k_1$  – скалярный коэффициент, учитывающий штраф за ошибки;  $\mathbf{K}_2$  – матрица значений, учитывающих весомость мнения модели в каждом пикселе входного изображения;  $\mathbf{L}$  – матрица значений функции потерь в каждом пикселе входного изображения, вычисленная одним из стандартных способов, применяющихся в машинном обучении, например, среднеквадратическая ошибка или кросс-энтропия.

Скалярный коэффициент  $k_1$  вычисляется по формуле:

$$k_1 = \begin{cases} 1, & \text{если } FN = FP = 0; \\ \frac{w_{fn} FN + w_{fp} FP}{FN + FP}, & \end{cases} \quad (2)$$

где  $w_{fn}$ ,  $w_{fp}$  – весовые коэффициенты (со значениями больше и равными 1), учитывающие важность FN и FP ошибок;  $FN$ ,  $FP$  – количества соответствующих ошибок на входном изображении.

Мнение любой модели детектирования или сегментации всегда наиболее весомо в центральной части подающегося на модель входного изображения и наименее весомо на краях изображения. Концентрация пикселей с ошибками на краях входного изображения не так критично, как в центральной части изображения, потому что результаты работы моделей на краях в последующем обрезаются при сшивке масок результатов в более крупное изображение.

Учёт этого при обучении моделей достигается путём вычисления для каждого пикселя входного изображения весомости мнения модели и умножением его на величину штрафа за ошибки  $k_1$ .

Значения весомостей мнения модели (элементы матрицы  $\mathbf{K}_2$ ) следует вычислять по формуле:

$$k_{2pq} = \begin{cases} 1; & \text{если } d_{pq} \leq R_t, \\ w_{d \min} + \frac{1 - w_{d \min}}{R_t} (1 - d_{pq}); & \text{если } d_{pq} > R_t, \end{cases} \quad (3)$$

где  $k_{2pq}$  – элемент  $p$ - $q$  матрицы весомостей  $\mathbf{K}_2$ ;  $w_{d \min}$  – заданное наименьшее значение весового коэффициента, учитывающего удалённость пикселя от границы центральной области изображения, в которой мнение модели считается наиболее весомым;  $R_t$  – радиус окружности, задающей границы центральной области изображения, в которой мнение модели считается наиболее весомым;  $d_{pq}$  – относительная дистанция пикселя  $p$ - $q$  от центра изображения (от 0 до 1).

## ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИИ КА «КАНОПУС-В» ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТИ

<sup>1</sup>О. А. Никонов, <sup>2</sup>А. Е. Кузнецов, <sup>2</sup>С. А. Ларюков,  
<sup>2</sup>В. И. Пошехонов, <sup>2</sup>Н. А. Райков

(<sup>1</sup>АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва;

<sup>2</sup>Рязанский государственный радиотехнический университет  
им. В. Ф. Уткина, г. Рязань)

В докладе описан эксперимент по получению и оценке точности цифровых моделей поверхности (ЦМП) по данным маршрутов съемки КА серии «Канопус-В» в отдельных микрокадрах, проводимый РГРТУ совместно с АО «Корпорация «ВНИИЭМ» в начале 2024 г.

Эксперимент по построению ЦМП включает следующие этапы.

Этап 1. Подготовка стереопар панхроматических снимков. На данном этапе на основе архивных материалов съемки происходит отбор безоблачных перекрывающихся маршрутов с углами конвергенции от 40° до 60°.

Этап 2. Выполнение геодезического ориентирования маршрутов стереопары по строгой модели съемки с использованием опорной информации.

Этап 3. Выбор из маршрутов наиболее подходящих для построения ЦМП пар микрокадров, имеющих максимальную область перекрытия, минимальное покрытие однородными поверхностями (водой, песком, снегом и пр.), не имеющих облачности и теней от облаков.

Этап 4. Расчет коэффициентов RPC моделей геопривязки отобранных микрокадров и их блочное уравнивание с использованием опорных и одноименных точек.

Этап 5. Формирование ЦМП по уравненным микрокадрам.

Для оценки точности получаемых ЦМП выполняется их сравнение с существующими моделями, например, Copernicus GLO-30 DEM [1]. В результате вычисляется среднеквадратическая ошибка невязок высот сравниваемых цифровых моделей.

В докладе подробно рассматривается процесс построения ЦМП по отдельным микрокадрам маршрутов съемки КА серии «Канопус-В», а также приводятся оценки точности полученных результатов.

## **Литература**

1. Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model (COP-DEM). URL: <https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model> (дата обращения: 19.08.2024).

# АВТОМАТИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ АБРИСОВ ПО СНИМКАМ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**А. Е. Кузнецов, А. С. Рыжиков, В. И. Пошехонов**  
*(Рязанский государственный радиотехнический университет  
им. В. Ф. Уткина, г. Рязань)*

В работе [1] предложена концепция поддержания точностных характеристик материалов съемки на основе абрисов, представляющих собой фрагменты ортотрансформированных снимков с характерными объектами, для которых известны географические координаты, высота и точность измерений этих величин.

Реализация указанной концепции связана с решением ряда задач, включая оценку точности определения геодезических координат, разработку алгоритмов детектирования характерных объектов на снимке и поддержания равномерного распределения абрисов по поверхности суши. Доклад посвящён решению этих задач.

Рассмотрен способ оценки точности определения координат характерных объектов на снимке, позволяющий учесть погрешности измерения угловых элементов внешнего ориентирования и влияние неточных измерений ЦМР (цифровой модели рельефа) при конкретных условиях съемки.

Проведен анализ известных детекторов характерных объектов, включая детектор Харриса, детекторы из SIFT, SURF, ORB. Предложен новый алгоритм детектирования, учитывающий требования к надежности определения характерных объектов абрисов. Алгоритм основан на контурном анализе и позволяет идентифицировать устойчивые искусственные объекты. Сформулированы рекомендации по использованию гибридного алгоритма детектирования характерных объектов, позволяющего объединить сильные стороны предложенного и известных детекторов.

Рассмотрен алгоритм структурирования абрисов, обеспечивающий поддержание равномерного распределения абрисов в пространстве. Его реализация связана с оценкой параметров совместного распределения найденных на снимке и уже существующих абрисов по ячейкам регулярной координатной сетки и отбраковкой избыточных.

В докладе приведены результаты апробации предложенных решений на натуральных данных от КА «Ресурс-П» № 3. Подчеркивается, что весьма перспективным является подход по созданию абрисов на основе данных стерео-

съемки за счет большей точности измерения высот по сравнению с использованием свободно распространяемых ЦМР.

#### **Литература**

1. Концепция обеспечения точностных характеристик спутниковых снимков высокого пространственного разрешения// А. Е. Кузнецов, П. Н. Светелкин, А. С. Рыжиков // Материалы Одиннадцатой международной научно-технической конференции: Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли, Москва – 2023. – С. 122 – 123.

## НОВЫЙ ПОДХОД К РАСПОЗНАВАНИЮ ПО МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ И ОПЫТ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ДЗЗ

**В. А. Котцов, В. В. Егоров, Д. Б. Балтер, М. В. Стальная**  
*(Институт космических исследований РАН, г. Москва)*

Существенной проблемой применения многопараметрических систем наблюдения является рост числа используемых параметров (зон спектра), что увеличивает сложность распознавания. Разрабатываются методы сокращения избыточности данных и повышение эффективности получения информации.

Важное место занимают корреляционные методы анализа данных. Наиболее эффективным является метод главных компонент, который основывается на ортогональном разложении корреляционной (ковариационной) матрицы параметров. Он позволяет найти новую систему осей в пространстве признаков, проекции на которые дают максимальные дисперсии и обеспечивает эффективное сокращение размерности исходного пространства. Однако, статистическая оптимальность такого преобразования не связана с классификацией конкретных объектов, а сами признаки становятся сложноопределенными. [1]

Landgrebe D. A. назвал такую матрицу корреляционным портретом объекта. Он представлял ее как изображение, связывая частные значения корреляции (ковариации) наблюдаемых параметров с условными яркостями или кодируя их условными цветами. [2] Поскольку сам вид корреляционного портрета информационно зависит от данных, которые отражают внутренний характер причинных связей, то это свойство неоднократно использовалось для интерпретации наблюдаемых явлений. [3].

Учитывая информационную значимость корреляционной матрицы (как портрета объекта), был предложен новый способ распознавания объекта по получаемой видеоинформации. Он основан на определении корреляции между структурами корреляционной матрицы текущих наблюдений и корреляционной матрицы заданного эталона. Пофрагментно просматривают изучаемый район и для каждого фрагмента вычисляют матрицу корреляций наблюдаемых параметров, затем определяют ее корреляцию с эталоном, а по полученной величине их корреляции задают условную яркость элемента формируемого изображения. Особенности структуры корреляционных портретов таковы, что они не зависят от абсолютного значения отсчета в спектральном канале и даже от коэффициента масштабирования. Это позволяет формировать корреляционную матрицу эталона на основе каталожных данных. [4]

Получаемое таким образом изображение отражает степень сходства характеристик в последовательности фрагментов просматриваемой территории с соответствующими характеристиками эталона. Учитывая технологию определения значащего параметра, ее назвали «методом двойной корреляции». Пример реализации предлагаемого решения показан на результатах анализа съемки лесного пожара выполненные видеоспектрометром AVIRIS. В качестве эталонов были выбраны три участка возгорания с разными характерными особенностями (очаг основного пожара, фронт пожара и случайные возгорания). Получены убедительные результаты их распространения. [5]

Применение различных способов статистического распознавания не всегда дают желаемые результаты. Как показывает практика, метод двойной корреляции может служить хорошим дополнением к способам классификации, ориентированным только на средние спектральные показатели. На примере классификации методом максимального правдоподобия показано, что такое комплексирование позволяет существенно повысить эффективность при их совместном применении. [6]

Эксперименты показывают, что метод двойной корреляции можно использовать в качестве идентифицирующего признака наблюдаемого участка и эталона, который во многих случаях упрощает решение и обеспечивает устойчивое распознавание.

### **Литература**

1. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М: Физматгиз, 1963 г.
2. Lee, C., Landgrebe D. A. Analyzing High Dimensional Data // Proc. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS). May, 1992.
3. Балтер Б. М., Егоров В. В., Котцов В. А., Стальная М. В. Корреляционные портреты гиперспектральных данных дистанционного зондирования. Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Таруса, 22 – 25 сентября 2008. // Сборник трудов ИКИ РАН. 2009.
4. Балтер Б. М., Балтер Д. Б., Котцов В. А. Обработка гиперспектральных данных по Земле и Марсу // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Вып.3. Т. 1.
5. Балтер Б. М., Егоров В. В., Котцов В. А. Способ преобразования изображения. Патент РФ № 2586405 // Бюллетень изобретений № 16. 2016.
6. Балтер Б. М., Егоров В. В., Котцов В. А., Фаминская М. В. Распознавание категорий наземных объектов на основе корреляционных портретов с применением в модели рассеяния атмосферных загрязнений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2.



## СОДЕРЖАНИЕ

Минимально достаточная национальная спутниковая группировка для обеспечения решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды <b>В. В. Асмус, А. А. Максимов, С. В. Тасенко</b>	5
Характерные особенности развития дистанционного зондирования Земли с применением малых космических аппаратов <b>А. К. Гончаров, В. В. Ахлынин</b>	8
Адаптивный бортовой оптико-электронный комплекс сверхвысокого разрешения как средство повышения эффективности дистанционного зондирования Земли <b>А. И. Канцеров, М. И. Кислицкий, А. А. Румянцев, А. С. Турковский, С. С. Щесняк</b>	10
Проблемы и перспективы развития бортовых информационных комплексов и средств наблюдения с использованием малых космических аппаратов для мониторинга космической погоды <b>Е. Н. Хотенко, Д. А. Арутюнян, С. Д. Богодяж, Е. Д. Аникина</b>	13
Методика радиометрической калибровки оптико-электронных систем с использованием диафрагмы-сектора <b>А. Д. Базылева, Ф. А. Какшинский, А. А. Плащинский</b>	16
Особенности применения интегрирующих сфер для систем бортовой калибровки оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ <b>М. В. Николаева, С. М. Зорин, Н. А. Николаев</b>	19
Особенности создания и тестирования системы термостабилизации оптико-электронных аппаратов ДЗЗ высокого разрешения <b>А. Д. Базылева</b>	20
Проблемы перспективных пзс-систем дистанционного зондирования с малыми размерами элементов <b>К. В. Алаторцев</b>	23
Интерференционные явления и оптимизация ОЭА КА ДЗЗ <b>К. В. Алаторцев</b>	27

Элементная база АФАР РЛС X-диапазона <b>Е. В. Овчинникова, А. Н. Рогов</b>	29
Математическое моделирование для оценки потребности в масштабировании производства узкономенклатурных электронных модулей на предприятиях ОПК <b>С. Е. Мальцев, Е. С. Кузнецова</b>	32
Методика оценки допустимых погрешностей основных параметров КА ДЗЗ высокого разрешения <b>М. С. Бородин</b>	35
Проблемные вопросы управления многоспутниковыми орбитальными группировками <b>А. И. Жодзишский, Н. В. Рябогин, Р. В. Тишкин</b>	37
Вопросы прогнозирования характеристик перспективных модификаций космических аппаратов с учетом динамики функциональных связей <b>В. А. Ламзин, В. В. Ламзин</b>	40
Конструкция перспективного малого космического аппарата <b>Ю. В. Сычиков, Э. В. Гаджиев, Ю. А. Куксин, А. В. Заграсва</b>	44
Средства обеспечения теплового режима космического аппарата <b>Ю. В. Сычиков, А. В. Чобитько, Э. В. Гаджиев, Ю. А. Куксин</b>	47
Методы астрокалибровки информационно-избыточного гироскопического измерителя вектора угловой скорости космического аппарата в полете <b>А. С. Пивоваров, И. В. Соловьев</b>	50
Спутниковая акселерометрия высокого разрешения <b>В. Б. Дубовской, В. И. Леонтьев, В. Г. Жильников</b>	52
Эталонирование спутниковых акселерометров и гравиградиентометров <b>В. Б. Дубовской, В. И. Леонтьев, В. Г. Жильников</b>	54

Совмещенные антенны ки-диапазона для систем спутниковой связи и телевидения <b>Е. В. Овчинникова, М. Куран, А. Ю. Ганицев</b>	56
АФУ телекомандной системы ка кво <b>А. Г. Генералов</b>	57
Перспективы развития совмещенных антенн космических аппаратов <b>Е. В. Овчинникова, П. А. Шмачилин, С. Г. Кондратьева, Э. В. Гаджиев, Е. О. Сургаева</b>	60
Электроракетная двигательная установка для КА ДЗЗ <b>М. Ю. Селиванов</b>	61
Анализ уровня силы тяги электрореактивной двигательной установки для коррекции сверхнизкой рабочей орбиты малых космических аппаратов <b>В. В. Волоцув</b>	64
Проектные параметры сверхнизкоорбитальной группировки малых космических аппаратов оптического наблюдения со сверхвысоким пространственным разрешением <b>В. В. Салмин, В. В. Волоцув, М. А. Иванушкин</b>	67
Задачи создания и внедрения системы поддержки принятия решений, применяемой при изготовлении и наземной обработке космического аппарата <b>Л. В. Макаров, В. В. Некрасов, Е. В. Юркевич</b>	70
<b>Испытательные комплексы для наземных электрических испытаний космических аппаратов</b> <b>В. А. Семенов, А. Н. Талдонов</b>	73
Оптимальное проектирование кольцевого двигателя-маховика с постоянными магнитами, собранными по упрощенной схеме Хальбаха <b>А. Б. Захаренко, Н. А. Белокурова</b>	75

<p>Построение системы управления ориентацией КА ДЗЗ с упругими элементами конструкции <b>С. Г. Макенч</b></p>	78
<p>Методы анализа обработки информации тематических баз данных в геоинформационной системе при ДЭЗ <b>Н. И. Сидняев, Е. Е. Синева</b></p>	82
<p>Применение спецификации STAC для организации рабочего процесса обработки данных дистанционного зондирования Земли <b>М. С. Белокосков, А. С. Штангей, А. А. Антонова</b></p>	85
<p>Интеграция программного обеспечения космических систем ДЗЗ с «облаком» Роскосмоса – комплексом вычислительных ресурсов ЕТРИС ДЗЗ. Новости 2024 года <b>О. О. Тохиян, А. М. Курлыков</b></p>	87
<p>Единая территориально распределенная информационная система дистанционного зондирования земли из космоса – основа наземной космической инфраструктуры по получению, хранению и распространению данных ДЗЗ, предоставлению информационных сервисов и услуг <b>Р. Б. Шевчук, А. И. Макеров, С. В. Пушкарский, В. П. Поселяничев, Ю. В. Зубик</b></p>	90
<p>Создание наземных комплексов получения и обработки космической информации в университетах <b>С. В. Пушкарский, А. И. Макеров, А. Л. Козлов, Ю. В. Зубик, Д. В. Корыткин</b></p>	92
<p>Автоматическая потоковая обработка информации ДЗЗ: опыт эксплуатации и результаты развития <b>Д. И. Федоткин, Е. Н. Боровенский, Д. В. Сысенко, А. В. Ядыкин</b></p>	94
<p>Защищенность киберфизической системы на основе цифрового двойника через оценку качества управления <b>Д. С. Лазорин</b></p>	97
<p>Алгоритм оптимизации в баллистических расчетах</p>	99

**С. М. Шихин**

- Ансамбли корреляционно развязанных составных сигналов с линейной частотной модуляцией  
**А. С. Петров, В. П. Макаров, А. С. Волченков** 101
- Сравнение снимков ДЗЗ, полученных с разных технических средств, с целью обоснования снижения требований к значениям точности для определения границ земельных участков лесного фонда  
**С. С. Новиков, П. Е. Новикова** 104
- Вычислительный метод обработки данных двухволнового радиолокационного зондирования для спутникового мониторинга атмосферных осадков  
**Ю. Б. Павлюков** 105
- Разработка и эксплуатация геоинформационных систем для мониторинга окружающей среды с использованием наземных и спутниковых данных  
**Е. С. Казанцева** 108
- Оценка состояния фитопланктонного сообщества методами спутникового ДЗЗ  
**В. А. Качур, А. И. Алексанин** 110
- Обеспечение управления и принятия решений при реагировании на наводнения на основе технологий обработки больших данных  
**Я. В. Алексеенко, А. А. Антонова, В. И. Каргашев** 112
- Функция потерь при обучении моделей детектирования лесных и пахотных земель на аэрофотоснимках  
**А. А. Золотой, Д. И. Новиков** 114
- Оценка информации ка «Канопус-В» при построении цифровой модели поверхности  
**О. А. Никонов, А. Е. Кузнецов, С. А. Ларюков, В. И. Пошехонов, Н. А. Райков** 117

Автоматическое формирование абрисов по снимкам высокого пространственного разрешения <b>А. Е. Кузнецов, А. С. Рыжиков, В. И. Пошехонов</b>	119
Новый подход к распознаванию по многопараметрическим наблюдениям и опыт его применения в ДЗЗ <b>В. А. Котцов, В. В. Егоров, Д. Б. Балтер, М. В. Стальная</b>	121

Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ

Материалы  
Двенадцатой международной  
научно-технической конференции  
**«Актуальные проблемы  
создания космических систем  
дистанционного зондирования Земли»**

Материалы издаются в авторской редакции

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

© АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2024