

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

Одиннадцатой международной
научно-технической конференции

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ



МОСКВА 2023

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСКОСМОС» С ГОСУДАРСТВЕННЫМИ, ВЕДОМСТВЕННЫМИ И РЕГИОНАЛЬНЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

В. А. Заичко, Д. О. Шведов
(Госкорпорация «Роскосмос», г. Москва)

Введение

Госкорпорацией «Роскосмос» в настоящее время создана, модернизируется и эксплуатируется наземная космическая инфраструктура, обеспечивающая сбор, хранение, обработку и распространение данных, продуктов, сервисов и услуг дистанционного зондирования Земли из космоса (далее – ДЗЗ).



Рис. 1. ЕТРИС ДЗЗ

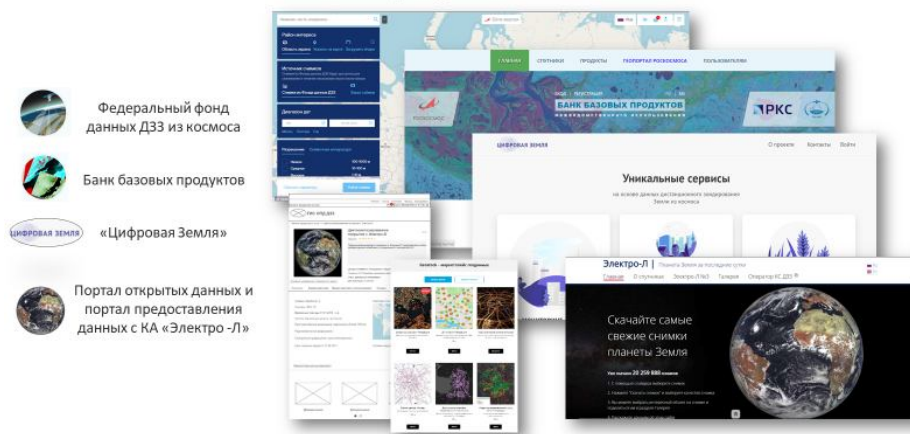
Основой наземной космической инфраструктуры ДЗЗ в Российской Федерации является Единая территориально-распределенная информационная система данных ДЗЗ (далее – ЕТРИС ДЗЗ), состоящая из центров приема, обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ распределенных по территории страны.

На базе ЕТРИС ДЗЗ созданы и функционируют все информационные системы ДЗЗ Госкорпорации «Роскосмос», которые обеспечивают потребителей разноплановой информацией по районам интереса и процессах, протекающих на них:

- геопортал Госкорпорации «Роскосмос», обеспечивающий доступ к оперативным и архивным данным, хранящимся в федеральном фонде данных ДЗЗ;
- информационная система «Цифровая Земля», предоставляющая доступ к единому сплошному многослойному динамическому покрытию данными ДЗЗ, а также продуктам, сервисам и услугам на его основе;
- банк базовых продуктов межведомственного использования, позволяющий формировать мозаичные покрытия по данным ДЗЗ, а также производные (базовые) продукты ДЗЗ;
- портал открытых данных и портал предоставления данных с КА «Электро-Л».



Системы предоставления данных и продуктов ДЗЗ из космоса Госкорпорации «Роскосмос»



**Рис. 2. Системы предоставления данных и продуктов ДЗЗ
Госкорпорации «Роскосмос»**

Основной целью функционирования информационных систем ДЗЗ Госкорпорации «Роскосмос» является эффективное предоставление потребите-

лям данных, продуктов, сервисов и услуг ДЗЗ, получаемых с использованием российской государственной космической системы ДЗЗ.

Указанные системы работают в «облачной» инфраструктуре, которая обладает возможностью обмениваться данными с потребителем не только посредством скачивания их по ссылке с портала, но и посредством API – программного интерфейса.

API систем предоставления данных ДЗЗ Госкорпорации «Роскосмос» позволяет потребителям получать и работать с данными в своей системе напрямую, тем самым существенно сокращая временные потери на скачивание данных, а также на их последующую загрузку в свою систему, при этом автоматизируя весь процесс их получения.

На сегодняшний день Госкорпорация «Роскосмос» уже взаимодействует по API с рядом федеральных, ведомственных и региональных информационных систем, используя свою «облачную» инфраструктуру.



Рис. 3. Взаимодействие ИС ДЗЗ ГК Роскосмос с внешними ИС

Практика взаимодействия информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» с федеральными информационными системами

I. Госкорпорация «Роскосмос» совместно с Федеральным Казначейством России выполнила интеграцию геопортала Госкорпорации «Роскосмос» и

государственной автоматизированной информационной системы «Управление» (далее – ГАС «Управление»).

ГАС «Управления» – информационная система, обеспечивающая сбор и обобщение информации по различным отраслям экономики для принятия управленческих решений в сфере государственного управления.

Данные ДЗЗ, а также продукты и сервисы ДЗЗ, передаваемые по API в ГАС «Управление» используются для мониторинга хода строительства объектов в рамках национальных проектов.



Взаимодействие информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» (ИС РК) с государственной автоматизированной информационной системой (ГАС) «Управление»

ГАС «Управления» - информационная система, обеспечивающая сбор и обобщение информации по различным отраслям экономики для принятия управленческих решений в сфере государственного управления

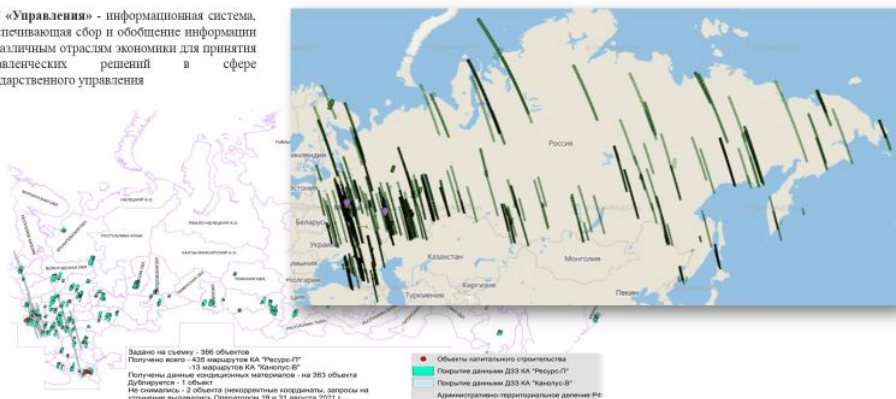


Рис. 4. Взаимодействие ИС ДЗЗ ГК Роскосмос с ГАС «Управление»

II. В рамках осуществления контрольно-надзорной деятельности Госкорпорация «Роскосмос» выполнила совместно с Минцифры России интеграцию с государственной информационной системой «Типовое облачное решение по осуществлению контрольно-надзорной деятельности» (далее – ГИС ТОР КНД).

ГИС ТОР КНД – информационная система, предоставляющая органам государственной власти цифровые сервисы для решения задач по контрольной надзорной деятельности.

Госкорпорацией «Роскосмос» в ГИС ТОР КНД передаются как данные ДЗЗ, так и аналитические продукты ДЗЗ, сформированные сервисами информационной системы «Цифровая Земля».

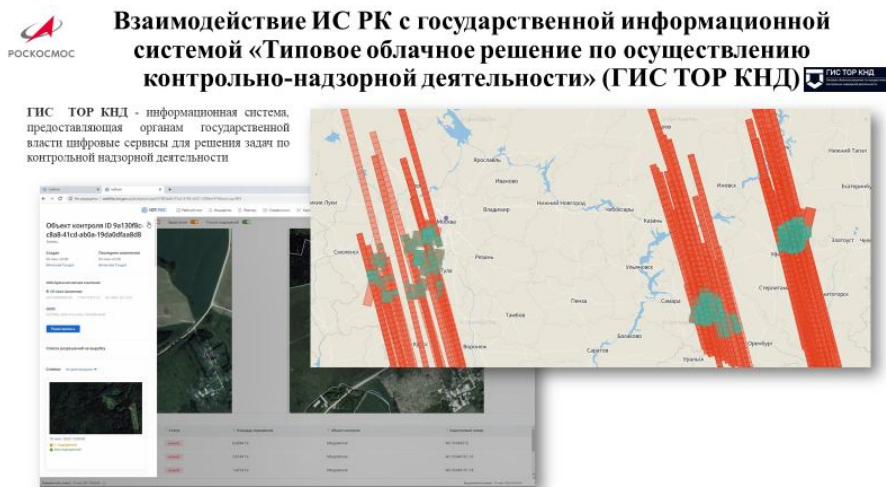


Рис. 5. Взаимодействие ИС ДЗЗ ГК Роскосмос с ГИС ТОР КНД

III. В рамках соглашения об информационном взаимодействии федеральной государственной информационной системы «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных» (далее – ФГИС ЕЦП НСПД) и федерального фонда данных ДЗЗ (далее – ФФД ДЗЗ) Госкорпорацией «Роскосмос» совместно с Росреестром выполнена интеграция ФГИС ЕЦП НСПД и ФФД ДЗЗ посредством API.

ФГИС ЕЦП НСПД – федеральная государственная информационная система, предназначенная для обеспечения сбора данных о земле и объектах недвижимости, содержащихся в государственных информационных ресурсах, а также возможности их интеграции.

Данные и продукты ДЗЗ переданные Госкорпорацией «Роскосмос» по API формируют один из основных информационных слоев в ФГИС ЕЦП НСПД, который в связке с пространственными данными позволяет получить всеобъемлющую информацию о территории.



Взаимодействие ИС РК с федеральной государственной информационной системой «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных» (ФГИС ЕЦП НСПД)

ФГИС ЕЦП НСПД – федеральная государственная информационная система, предназначенная для обеспечения сбора данных о земле и объектах недвижимости, содержащихся в гос. ресурсах, а также возможности их интеграции

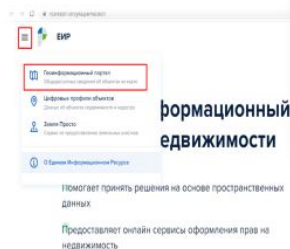


Рис. 6. Взаимодействие ИС ДЗЗ ГК Роскосмос с ФГИС ЕЦП НСПД

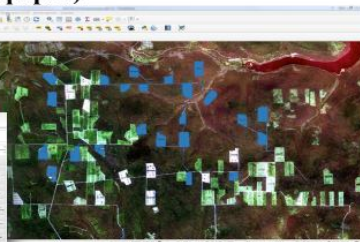
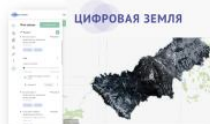
Практика взаимодействия информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» с ведомственными информационными системами



Взаимодействие ИС РК с ведомственной информационной системой Рослесхоза (ФГБУ «Рослесинфорг»)



Дистанционный мониторинг использования лесов – инструмент контроля за заготовкой древесины, который охватывает лесничества российской федерации с интенсивным лесопользованием и высоким риском возникновения незаконных рубок



МАТЕРИАЛЫ ДЗЗ С ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИМЕНЯЮТСЯ ФГБУ «РОСЛЕСИНФОРГ» ПРИ СЛЕДУЮЩИХ ВИДАХ РАБОТ:

ДИСТАНЦИОННЫЙ
МОНИТОРИНГ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЛЕСОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ
И КАЧЕСТВЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОВ

УСТАНОВЛЕНИЕ
ГРАНИЦ ЛЕСНИЧЕСТВ

ЛЕСОУСТРОЙСТВО

Рис. 7. Взаимодействие ИС ДЗЗ ГК Роскосмос с ИС Рослесхоза

I. Госкорпорация «Роскосмос» совместно с Рослесхозом в рамках эксперимента по непрерывному мониторингу лесного фонда в целях выявления незаконных рубок выполнила интеграцию информационной системы «Цифровая Земля» и ведомственной информационной системы Рослесхоза, оператором которой является ФГБУ «Рослесинфорг».

Эксперимент показал, что автоматизация процессов предоставления данных, продуктов и сервисов ДЗЗ позволяет существенно снизить трудозатраты и повысить производительность ведомственной информационной системы ФГБУ «Рослесинфорга» «Дистанционный мониторинг лесов».

Всего за несколько месяцев совместной работы информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» и Рослесхоза было выявлено более 480 лесосек на площади порядка 1,3 тыс. га с помощью нейросетей, используемых в сервисах информационной системы «Цифровая Земля».

II. В целях обеспечения оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций, в том числе в пожароопасный период и период половодий, Госкорпорацией «Роскосмос» совместно с МЧС России и главным управлением «Национального центра управления в кризисных ситуациях» проведена интеграция информационной системы «Цифровая Земля» и ведомственной информационной системы МЧС России «Обзор».

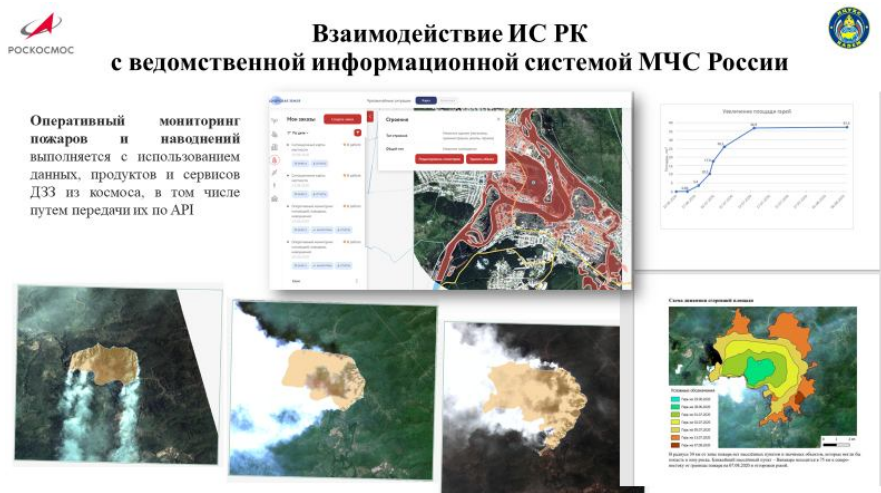


Рис. 8. Взаимодействие ИС ДЗЗ ГК Роскосмос с ведомственной ИС МЧС России «Обзор»

В рамках информационного взаимодействия указанных систем обеспечивается оперативная передача данных по выявленным термоточкам, данных ДЗЗ, а также аналитических материалов, формируемых сервисами информационной системы «Цифровая Земля», по паводковой обстановке.

Практика взаимодействия информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» с региональными информационными системами

В соответствии с обращениями органов государственной власти субъектов Российской Федерации Госкорпорация «Роскосмос» в 2021 – 2022 годах обеспечила интеграцию с рядом региональных информационных системам:

- геоинформационная система Владимирской области;
- геопортал Республики Коми;
- региональная геоинформационная система «Умный лес»;
- портал г. Ханты-Мансийск (Югорский НИИ информационных технологий);
- региональная информационная система Калининградской области;
- региональная информационная система Министерства информационного развития Пермского края.

В настоящее время Госкорпорацией «Роскосмос» проводится работа по масштабному сопряжению информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» с региональными информационными системами. Для обеспечения сопряжения с федеральным фондом данных ДЗЗ из космоса, а также банком базовых продуктов межведомственного использования Госкорпорацией «Роскосмос» разработаны руководства пользователя указанных систем, с которыми можно ознакомиться по следующим адресам: <https://s3.gptl.ru/geoportal-public/pro-guide/v1/index.html>, <https://bbp.ntsomz.ru/documents/>.

С каждым днем потребители данных ДЗЗ в Российской Федерации все больше заинтересованы в тематически обработанных продуктах ДЗЗ или в получении готового сервиса ДЗЗ, предоставляющего аналитическую информацию по району интереса, в том числе посредством API.

Одной из информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» предоставляющей указанные выше услуги является банк базовых продуктов межведомственного использования (далее – ББП).

ББП – это геоинформационный сервис, базирующийся на формировании производных (базовых) продуктов в результате обработки данных с отечественной группировки КА ДЗЗ, применяемых для решения различных прикладных задач глобального и регионального мониторинга.



Практика взаимодействия ИС РК с региональными информационными системами

Проведена интеграция региональными информационными системами



Владимирская область



Пермский край



Республика Коми



г. Ханты-Мансийск (ЮНИИТ)



Калининградская область

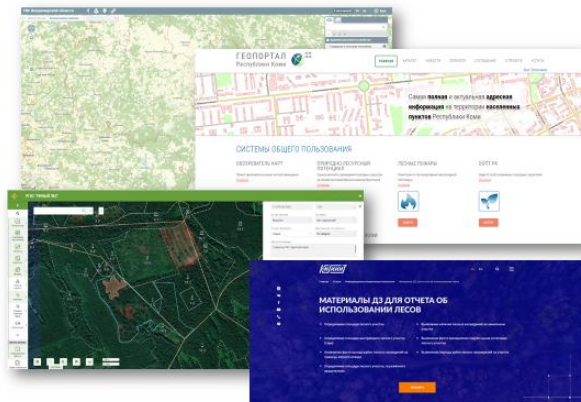


Рис. 9. Практика взаимодействия с региональными информационными системами

Предоставление производных (базовых) в федеральные, ведомственные и региональные информационные системы

Для пользователей разного уровня ББП – это эффективный инструмент доступа к информационным продуктам, формируемым по данным российских и зарубежных КС ДЗЗ, поддерживающий:

- поиск данных ДЗЗ на район интереса, используя необходимые критерии и параметры выборки;
- возможность получения актуальной информации о появлении новых сцен на район интереса;
- возможность просмотра бесшовных сплошных покрытий на регионы РФ;
- заказ и формирование производных (базовых) продуктов по найденным архивным данным ДЗЗ.

Основными заказчиками ББП, которые получают данные по API являются:

Минсельхоз России (ФГБУ «АЦ Минсельхоза России») – передано в 2022 году более 119 615 тыс. кв. км производных (базовых) продуктов ДЗЗ;

Госкорпорация «Росатом» (ФГУП Атомфлот») – передано в 2022 году более 1 571 305 тыс. кв. км производных (базовых) продуктов ДЗЗ;

Министерство информационного развития Пермского края – передано в 2022 году более 1 360 тыс. кв. км производных (базовых) продуктов ДЗЗ;

МЧС России (ГУ НЦУКС) – передано в 2022 году более 7 000 тыс. кв. км производных (базовых) продуктов ДЗЗ.

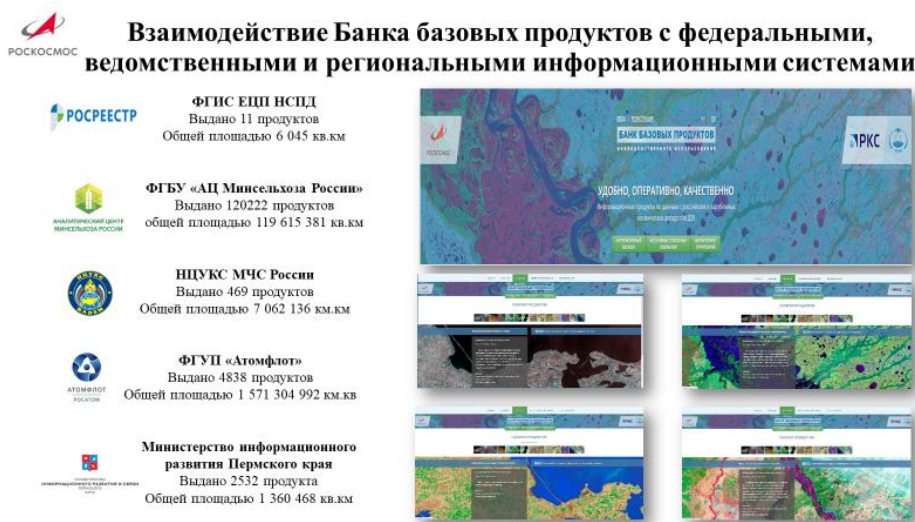


Рис. 10. Взаимодействие банка базовых продуктов с федеральными, ведомственными и региональными информационными системами

Информационная система «Цифровая Земля»

В рамках федерального проекта «Цифровое государственное управление» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» Госкорпорацией «Роскосмос» реализуется проект «Цифровая Земля», нацеленный на создание информационной системы, обеспечивающей доступ потребителей, в том числе федеральных органов исполнительной власти, к данным дистанционного зондирования Земли из космоса (далее – ДЗЗ), представленным в виде постоянно обновляемого единого сплошного динамического покрытия всей территории Российской Федерации, а также к продуктам, услугам и сервисам ДЗЗ (далее – информационная система «Цифровая Земля»). Ввод в эксплуатацию информационной системы «Цифровая Земля» запланирован на 2024 год.

На сегодняшний день создание информационной системы «Цифровая Земля» не завершено.

В то же время ряд сервисов информационной системы «Цифровая Земля» («Лес-контроль», «Эко-мониторинг», «Карьеры», «Строй-контроль», «Сельхоз-мониторинг», «Чрезвычайные ситуации», «Нарушенные земли») уже функционируют и проинтегрированы по API с некоторыми федеральными, ведомственными и региональными информационными системами, в том числе: ГИС ТОР КНД, ГАС «Управление», Геоинформационная система Рослесхоза по контролю за лесопользованием, информационная система МЧС России.

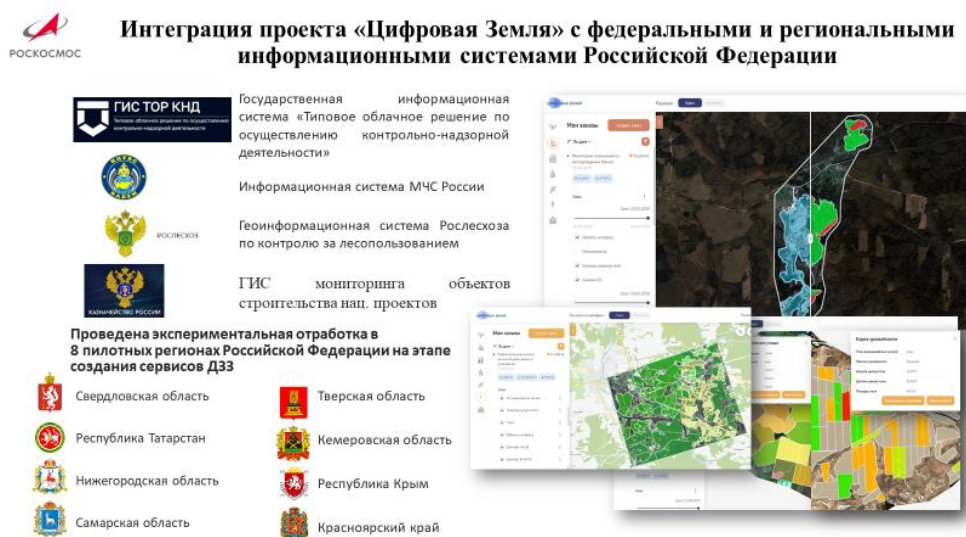


Рис. 11. Взаимодействие информационной системы «Цифровая Земля» с федеральными, ведомственными и региональными информационными системами

Созданные сервисы ДЗЗ формируют информацию о состоянии территории и различных видах деятельности в ее пределах на основе данных ДЗЗ путем многоуровневой аналитической обработки больших объемов разнородных структурированных и неструктурированных данных с применением нейросетевых технологий.

При этом сервисы ДЗЗ позволяют обобщать результаты их работы на региональном, а в дальнейшем и на федеральном уровне, что обеспечит как

специалистов, так и руководителей различных органов исполнительной власти Российской Федерации оперативной сводной информацией о состоянии территорий Российской Федерации.

В настоящее время Госкорпорацией «Роскосмос» находится на завершающей стадии формирования 8 продуктов на всю территорию Российской Федерации:

- лесопокрытые площади;
- информация о естественных изменениях в лесном фонде;
- информация о хозяйственной деятельности в лесном фонде;
- исходная ситуация по карьерам;
- информация о изменениях состояния, площади, появлении новых, либо рекультивации имеющихся карьеров;
- исходная ситуация по объектам строительства;
- информация об изменениях количества, появлении новых строительных объектов;
- ситуационные карты местности.

Данные продукты будут предоставлены всем субъектам Российской Федерации, в том числе по АРІ, летом 2023 года.

По результатам данной работы каждый регион в Российской Федерации будет обладать информацией, которая позволит провести инвентаризацию земель в различных отраслях экономики, а также выявить изменения, которые ранее не были учтены или являются нарушениями в области контрольно-надзорной деятельности.

В 2023 – 2025 годах Госкорпорация «Роскосмос» расширяет перечень предоставляемых продуктов субъектам Российской Федерации до 27.

«Цифровая Земля – сервисы»: масштабное внедрение системы

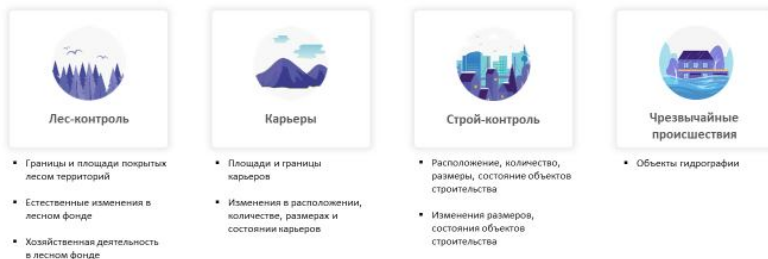


Рис. 12. Предоставление сервисов и продуктов ДЗЗ субъектам Российской Федерации

Заключение

Полученный опыт Госкорпорации «Роскосмос» и органов исполнительной власти Российской Федерации при интеграции систем показал, что объединение информационных ресурсов открывает новые возможности.

Автоматизация процесса взаимодействия федеральных, ведомственных и региональных информационных систем позволяет не только существенно повысить оперативность доведения данных, продуктов и сервисов ДЗЗ, предоставляемых Госкорпорацией «Роскосмос», но и получать новые информационные продукты в автоматизированном режиме, необходимые для решения задач потребителей.

Так ряд сервисов информационной системы «Цифровая Земля» уже успешно функционирует в государственных информационных системах, направленных на обеспечение контрольно-надзорной деятельности в различных областях экономики Российской Федерации.

Вместе с этим, создание цифровой экономики в Российской Федерации возможно только с использованием данных, продуктов, сервисов и услуг ДЗЗ, при всесторонней заинтересованности как федеральных, так и региональных органов государственной власти Российской Федерации.

Для решения указанной задачи Госкорпорация «Роскосмос» до конца 2025 года планирует подключить по API все государственные, ведомственные и региональные информационные системы в Российской Федерации, которые работают с данными и продуктами ДЗЗ из космоса, к информационным системам ДЗЗ Госкорпорации «Роскосмос».

ЕДИНАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЗЗ ИЗ КОСМОСА – ОСНОВА НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПО ПРЕДОСТАВЛЕНИЮ СЕРВИСОВ И УСЛУГ НА КОСМИЧЕСКУЮ СЪЕМКУ И ДАННЫХ ДЗЗ

А. И. Макеров, С. В. Пушкарский, А. Н. Белый
(АО «НИИ ТП», г. Москва)

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

Для обеспечения ее функционирования по целевому назначению проводится модернизация наземной космической инфраструктуры ДЗЗ 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 сервис-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 и базы опорных данных.

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 ДЗЗ из космоса по предоставлению сервисов и услуг на космическую съемку и данных ДЗЗ в период до 2025 – 2030 гг., по своим характеристикам предполагает использование полного информационного ресурса орбитальной группировки КА ДЗЗ и обеспечение потребителей данными ДЗЗ с требуемой оперативностью и качеством.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В МИРЕ

Л. В. Михайленко, И. А. Бахарев
(АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара)

В настоящее время индустрия ДЗЗ демонстрирует существенный количественный прорыв, связанный с увеличением количества запускаемых спутников: от 20 – 30 запускаемых космических аппаратов (КА) ДЗЗ в мире в 2010 – 2015 гг. до порядка 130 – 140 КА в 2022 году.

Современное состояние ДЗЗ характеризуется следующими основными тенденциями:

1. **Использование различных типов целевой аппаратуры (ЦА)** – оптико-электронной и радиолокационной. При этом, помимо традиционной оптико-электронной аппаратуры, все больше используется специализированная аппаратура. Расширение возможностей радиолокационной аппаратуры связано с использованием различных частотных диапазонов и развитием специальных видов съемки (в том числе интерферометрическая съемка, скаттерометрическая съемка, селекция движущихся объектов, подповерхностное зондирование).

2. **Улучшение характеристик ЦА**, прежде всего – пространственного разрешения. Широкое распространение метрового (~1 м) и субметрового (менее 1 м) пространственного разрешения оптико-электронных КА, а лучшие образцы ЦА обеспечивают разрешение на уровне 0,3 – 0,5 м. Разрешение радиолокационной аппаратуры приближается к разрешению оптико-электронной и тоже уже может составлять 1 м и менее.

3. **Создание малых КА и микроспутников.** Современные достижения в области материаловедения, электроники, оптики и других наук позволяют создавать КА меньшей массы и размеров без потери качества съемки. Класс малых КА объединяет в себе спутники массой менее 1000 кг.

4. **Создание многоспутниковых КА.** Тенденция миниатюризации КА повлекла за собой тенденцию создания космических систем из большого числа малых КА. В качестве примера можно назвать такие системы, развертывание которых началось в конце 2010 – начале 2020-х годов, как¹ BlackSky Global,

¹ Первые три системы в списке – оптико-электронные, остальные пять – радиолокационные.

США (60 КА в системе); Aleph-1, Аргентина (98 КА); Jilin-1, Китай (138 КА разных типов с возможным дальнейшим увеличением); ICEYE, Финляндия (порядка 30 КА); Capella, США (36 КА); Umbra, США (24 КА); QPS-SAR, Япония, (36 КА); StriX, Япония (30 КА).

5. Большое количество стран-операторов КА ДЗЗ. Общее количество стран-операторов КА ДЗЗ – несколько десятков.

Современные КА ДЗЗ имеют не только лидеры космической отрасли, но и, например, такие страны, как Египет, Алжир, Марокко, Нигерия, ЮАР, Аргентина, Бразилия, Венесуэла, Турция, Сингапур, ОАЭ, Вьетнам, Таиланд, Индонезия, Армения и др. Несмотря на то, что КА зачастую изготавливаются за пределами «малых космических стран», сам факт их включения в космическую деятельность весьма примечателен и сопряжен с активным освоением технологий, подготовкой кадров, самостоятельном изготовлении элементов КА и пр.

6. Большое количество разработчиков КА ДЗЗ – частных компаний и университетов, осваивающих производство не только относительно простых «кубсатов», но и более крупных и сложных КА.

7. Международная кооперация в создании, запуске и эксплуатации КА ДЗЗ. Отмеченная выше тенденция увеличения количества стран-операторов КА ДЗЗ напрямую связана с тенденцией международной кооперации. Это проявляется не только в создании КА одной страной по коммерческому заказу другой страны, но и в запусках КА стран «второго ряда» ракетами-носителями России, США, Китая, Индии, Европейского космического агентства.

8. Использование передовых технических и технологических решений при создании КА ДЗЗ. Современные КА ДЗЗ – сложные высокотехнологичные инновационные изделия, для создания и эксплуатации которых используются различные передовые технические и технологические решения, например, такие как:

- модульное построение КА, предполагающее деление его на космическую платформу и модуль ЦА КА;
- использование различных методов организации космической съемки, повышающих ее эффективность;
- использование передовых технологий для создания ЦА КА;
- использование перспективных технологических методов при проектировании и изготовлении элементов КА;
- внедрение методов поточной сборки и испытаний КА, что позволяет сократить сроки изготовления КА, это особенно важно для указанных выше многоспутниковых космических систем и др.

При этом следует отметить, что указанные тенденции в области ДЗЗ оказывают влияние на другие составляющие космической деятельности и отрасли знаний. В том числе создание новых ракет-носителей легкого и сверхлегкого классов, разработка новых математических моделей, алгоритмов, программно-аппаратных средств, создание различных видов программного обеспечения для ее обработки, изменение правовой базы, проведение различных мероприятий юридического, дипломатического, общественно-политического плана и т. д.

Таким образом, современное ДЗЗ представляет собой большую и динамично развивающуюся область знаний, в которой существуют свои тенденции и действуют специфические правила и в которую вовлечено большое количество участников (стран и различных структур внутри каждой страны), которая аккумулирует в себе инновационные технические и технологические решения, методы, подходы и оказывает существенное влияние вовне.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОГО ЭФФЕКТА

А. Ю. Потюпкин, Ю. А. Тимофеев, С. А. Волков
(АО «РКС», г. Москва)

Проекты создания многоспутниковых группировок на основе конвейерного производства космических аппаратов (КА), требуют решения целого комплекса частных научно-технических проблем, к числу которых относятся реализация новых групповых сервисов и разработка технологий управления совместно действующими группами КА. В работах [1, 2] выдвинута концепция управления многоспутниковыми группировками КА как управления системным выходным эффектом космической системы путем реализации ряда групповых целевых эффектов (ЦЭ), к числу которых относятся эффекты непрерывности, многопозиционности, комплексности наблюдения. В связи с этим в ряде исследований рассматриваются вопросы группового применения КА, разрабатываются способы планирования функционирования бортовой аппаратуры КА, управления группой КА, создания кластерных структур. Однако уровень практической реализации высказанных выше предложений оставляет желать лучшего. Ключевым вопросом остается групповое управление КА не как совместное управление множеством КА по отдельности, а как управление группой КА, воспринимаемой как единый космический объект.

В связи с этим изменяются требования к выполнению технологического цикла управления (ТЦУ) по всем составляющим информационного обеспечения – командно-программного, навигационно-баллистического, информационно-телеметрического и частотно-временного обеспечения. В их составе появляются новые задачи, связанные с групповым взаимодействием КА.

В общем случае в структуре ТЦУ КА ДЗЗ, помимо традиционных задач индивидуального управления КА, должны присутствовать задачи системного уровня (выделены курсивом):

Планирование или выбор ЦЭ под задачу потребителя.

Выбор КА, способных реализовать заданный ЦЭ в выбранной области пространства в требуемое время.

Определение требуемых орбитальных параметров для КА, параметров ориентации, технологии применения бортовой аппаратуры (БА).

Оценка технической готовности выбранных КА, запаса ресурсов электроэнергии и рабочего тела для выполнения программных разворотов.

Формирование набора управляющих воздействий – командно-программной информации для БА КА.

Контроль состояния системы информационного обмена, решение задач маршрутизации.

Контроль взаимного орбитального положения КА.

Контроль и синхронизация бортовых шкал времени разных КА.

Выдача управляющих воздействий на борт выбранных КА, контроль прохождения.

Реализация управлений на борту КА, включение БА, выполнение программных разворотов.

Реализация ЦЭ, получение информации, обработка на БЦВК, передача информации и в соответствии с ранее решенной задачей маршрутизации.

Контроль качества выполнения ЦЭ и системного эффекта в целом.

Контроль выполнения запланированных алгоритмов функционирования отдельных КА и системы в целом.

Литература

1. Потюпкин А. Ю. Групповое управление многоспутниковой орбитальной группировкой на основе концепции режимов совместного функционирования / А. Ю. Потюпкин, С. А. Волков, Ю. А. Тимофеев // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2021. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 11 – 19.
2. Потюпкин А. Ю. Алгоритм формирования рабочих структур при управлении многоспутниковой орбитальной группировкой / А. Ю. Потюпкин, С. А. Волков, Ю. А. Тимофеев // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2022. – Т. 9. – Вып. 3. – С. 3 – 12.

ОРБИТАЛЬНЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Е. Н. Сечак, Г. С. Полищук, А. В. Демин,
Д. С. Завгородний, Н. А. Истомина
(АО «ЛОМО», г. Санкт-Петербург)

Актуальность разрабатываемой темы определяется тем обстоятельством, что системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса приобретают ключевую роль в обеспечении информацией ведомств, занимающихся национальной безопасностью и обороноспособностью, экологической безопасностью, предупреждением техногенных катастроф, анализом чрезвычайных ситуаций, изучением природных ресурсов и картографией.

В этих условиях колоссальное значение приобретают усилия, направленные на совершенствование и создание новых высококачественных средств ДЗЗ на основе использования последних научных и технических достижений, а также их внедрение в производство.

Успешное достижение поставленной цели в части целевой аппаратуры (оптического модуля (ОМ)) базируется на результатах решения основных задач:

- создание оптической системы космического телескопа, обеспечивающей формирование изображений высокого разрешения одновременно в панхроматическом (ПХ) канале и в нескольких узких поддиапазонах мультиспектрального (МС) канала;
- создание несущей конструкции телескопа, обладающей высокой прочностью, жесткостью и температурной стабильностью, которые обеспечивают сохранность геометрических характеристик при небольшой массе, на основе использования технологии изготовления из композитных материалов крупногабаритных несущих элементов конструкции и технологии изготовления крупногабаритных зеркал облегченной конструкции;
- создание прецизионных служебных систем, обеспечивающих в процессе эксплуатации поддержание на заданном уровне характеристик качества формируемых объективом ОМ изображений и сохранение его фотограмметрических и радиометрических характеристик;
- разработка технологии изготовления и создание системы приема и преобразования изображений (СППИ) на основе современной высокоинтегрированной элементной базы и высокоскоростных интерфейсов обмена;
- разработка технологии изготовления и создание комплекса оснастки, контрольно-проверочной аппаратуры и методик для обеспечения сборки, юс-

тировки и всестороннего контроля с использованием уникального оборудования, такого как полутораметровый зеркальный коллиматор с возможностью проверки параметров телескопа в термовакуумной камере основных характеристик оптического модуля, СППИ и оптико-электронного комплекса высокого разрешения (ОЭК ВР) в целом.

Таким образом, в ходе выполнения опытно-конструкторской работы (ОКР) «Разработка опережающего задела бортовых приборов дистанционного зондирования Земли, в части создания многоканального оптико-электронного комплекса с высоким пространственным разрешением» создан ОЭК ВР космического базирования с техническими характеристиками, представленными в таблице.

Таблица

Основные технические характеристики ОЭК ВР

Техническая характеристика	Значение характеристики	
Оптическая схема	Ричи-Кретьена	
Диаметр входного зрачка объектива, м	1,2	
Фокусное расстояние объектива, м	15,6	
Ширина полосы захвата при зачетных условиях наблюдения, км	19,25	
Каналы наблюдения	ПХ	МС
Проекция пикселя на поверхность Земли при зачетных условиях, м	0,4	1,6
Спектральные диапазоны (длины волн), мкм	0,5 ÷ 0,8	8 спектральных полос 0,4 ÷ 1,1
Размер элемента (пикселя) разложения ФПУ, мкм	9 × 9	36 × 36
Масса ОЭК ВР, кг	1000	
Масса ОМ, кг	730	
Срок активного существования, лет	7	

ОЭК ВР по своим тактико-техническим характеристикам в сравнении с зарубежными аналогами, такими как аппараты серии WorldView, имеет большую полосу захвата и меньший вес.

В процессе ОКР были созданы технологии, полный комплект технологической оснастки, контрольно-проверочной аппаратуры, разработаны методики для обеспечения, сборки, юстировки и всестороннего контроля.

Опытный образец ОЭК ВР прошел полный цикл наземной экспериментальной отработки. КД ОЭК ВР присвоена литера «О». В ходе проведенных наземных автономных испытаний были подтверждены заложенные при проектировании тактико-технические характеристики ОЭК ВР.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. В. Салмин, И. С. Ткаченко, С. Л. Сафронов, М. А. Иванушкин

(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева», г. Самара)

Представлены результаты разработки автоматизированных средств, предназначенных для выбора проектных параметров систем мониторинга земной поверхности с учетом требований и ограничений на ресурсы заказчика. В данных средствах используются методические основы экономического характера, направленные на коммерциализацию космических технологий в области дистанционного зондирования Земли и на повышение эффективности использования космических средств мониторинга для решения актуальных задач зондирования.

Ключевые слова: *проектный параметр, цифровая технология, малый космический аппарат, системы мониторинга, космические технологии, дистанционное зондирование Земли.*

Внедрение цифровых технологий способствует сокращению сроков и снижению стоимости выполнения работ по проектированию и созданию новых качественных образцов космической техники. Практика использования на предприятиях и в организациях космической отрасли программных средств имеет многолетнюю историю, поскольку их применение является неотъемлемой частью процесса обоснования и разработки перспективных космических систем (КС).

В работе достигнуты следующие результаты:

- разработан подход по анализу задач и обоснованию актуальности создания КС наблюдения;
- разработан подход по анализу требований к информационному обеспечению потребителей для решения задач зондирования;
- разработана бизнес-модель КС мониторинга;
- разработана база данных с известными техническими характеристиками элементов КС мониторинга;
- разработана методика выбора проектных параметров КС мониторинга с учетом результатов бизнес-моделирования;

- разработано программно-математическое обеспечение для выбора проектных параметров КС мониторинга;
- разработано программное мобильное приложение для доступа к информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Целью методики является выбор параметров и определение показателей эффективности, в том числе экономических, КС мониторинга, создаваемой на базе малых КА, на ранних этапах проектирования. Результаты работы методики показывают, насколько эффективен будет проект по созданию конкретной КС мониторинга, могут быть применены при соответствующем обосновании и использованы для формирования тактико-технического задания.

В разработанном программно-математическом обеспечении (ПМО) осуществляется автоматизированная трансформация целевых задач в целевую аппаратуру.

В качестве результатов представляются возможные варианты реализации КС. Их анализ позволяет осуществить технически, организационно и экономически обоснованный выбор варианта ее построения.

ПМО реализует следующие основные функции:

- выбор целевых задач и целевой аппаратуры для КС наблюдения;
- выбор модели бортовых обеспечивающих систем КА;
- коррекция модели бортовых обеспечивающих систем КА;
- расчет характеристик КА согласно принятым моделям;
- расчет значений целевых параметров КС наблюдения;
- имитация движения КА системы по орбитам Земли;
- расчет экономических характеристик КС мониторинга земной поверхности;
- использование в своей работе баз данных с известными техническими характеристиками элементов КС мониторинга.

Кроме того, разработано специальное программное обеспечение для обеспечения потребителей данными ДЗЗ, которое предназначено для решения следующих задач:

- формирование через мобильные устройства удаленных пользователей заявок на получение информационных продуктов на основе архивных данных ДЗЗ, а также заявок на выполнение новой съемки и получение информационных продуктов на основе ее результатов;
- получение удаленными пользователями сведений об архивных данных ДЗЗ с космических аппаратов ДЗЗ в адаптированном для мобильных устройств интерфейсе.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СНИМКА КАМЕРЫ НА ОСНОВЕ КАРТЫ ВЫСОТ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В. А. Турецкая, М. Ю. Косинский

(«МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА», г. Москва)

В докладе рассматривается задача разработки модели изображения (кадра), имитирующего снимок бортовой камеры, для отработки алгоритмов навигации, использующих визуальные данные о подстилающей поверхности.

Модель кадра представляет собой двумерный массив $[N \times N]$ целочисленных значений яркостей с диапазоном от 0 до 255, где N – размер фотоприемной матрицы в пикселях.

В рамках данной задачи использованы следующие характеристики камеры:

- поле зрения – 70 град., широкоугольный объектив с оптической схемой f-theta;
- размер фотоприемной матрицы – 1024×1024 пикселя;
- максимальный уровень насыщения 13 500 фотоэлектронов;
- шумовая составляющая яркости – гауссова случайная величина с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением $\sqrt{13,5^2 + I_e}$, где I_e – насыщение фотоэлектронами рассматриваемого пикселя без учета шума.

Модель кадра предложено строить на основе матрицы высот (топографической модели) лунной поверхности, взаимного расположения источника света (Солнца) и наблюдателя (камеры), учета отражающих свойств поверхности, характеристик фотоприемной матрицы и свойств широкоугольного объектива камеры.

В качестве топографической модели лунной поверхности выбрана модель LOLA256P [1], построенная по данным лазерного высотомера LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter) миссии LRO. Данная карта высот имеет разрешение от 120 м на дискрет до 5 м на дискрет для полярных широт.

При трассировке лучей необходимо рассчитывать углы направления на источник света и на наблюдателя с учетом наклона участка поверхности. При прохождении луча от источника света из-за особенностей рельефа на рассматриваемый участок карты, яркость соответствующего элемента массива в модели кадра принимается равной нулю.

Учет отражающих свойств поверхности предложено осуществлять на основе двулучевой функции отражательной способности с коэффициентами Хапке [2], определенные для лунной поверхности.

Для учета свойств объектива в модели производится расчет направления луча от наблюдателя к поверхности (обратная трассировка) для каждого пикселя фотоприемной матрицы с учетом проекционной функции камеры. На заключительном этапе к рассчитанному значению яркости добавляется шумовая случайная составляющая с СКО, согласно описанной выше формуле.

На основе разработанной модели создан программный комплекс, состоящий из следующих модулей:

- модуль трассировки лучей;
- модуль расчета двулучевой функции отражательной способности;
- модуль геометрической модели камеры;
- модуль шума фотоприемной матрицы.

Проверка правильности функционирования модели осуществлялась на основе сопоставления характерных точек рельефа на матрице высот и полученной модели кадра. Анализ шумовой составляющей и искажений подтвердил их соответствие характеристикам камеры. Также была установлена зависимость полученного изображения от входных данных (высоты КА, взаимного положения источника света и наблюдателя).

Полученные научные результаты в дальнейшем могут быть использованы для наземной отработки навигационных алгоритмов перспективных лунных миссий.

Литература

1. MIT – USA. – URL: <https://www.imbrium.mit.edu/>. (дата обращения 15.07.2022).
2. Hapke B. Theory of Reflectance and Emittance Spectroscopy // Bruce Hapke. – University of Pittsburg: Cambridge University Press, 1993. – 513 p.

КОНЦЕПЦИЯ «БЫСТРЫЙ ГЛАЗ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

М. И. Кислицкий

*(Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург)*

Ширина полосы захвата оптико-электронных комплексов (ОЭК) современных космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) относительно невелика – 10 – 30 км. Широкая полоса обзора КА (до 1000 км) обеспечивается за счет поворотов КА по углу крена (до 40 – 45° от плоскости орбиты) для съемки участков земной поверхности по заданной программе. Время поворота КА на такой угол варьируется для разных КА от 30 до 120 с. В процессе поворота съемка не производится из-за возможного смаза изображения. В результате между соседними съемками возникают «мертвые зоны», в которых съемка невозможна, даже если она нужна. Скорость бега подспутниковой точки для типичной высоты орбиты КА ДЗЗ 600 км составляет ~7 км/с. Следовательно, за время поворота на вышеуказанный угол КА пролетает расстояние от 210 до 840 км – это и есть мертвая зона. Наличие мертвых зон значительно снижает производительность КА ДЗЗ как средства съемки.

Конечной целью развития космических систем ДЗЗ является обеспечение непрерывного глобального обзора. В связи с этим актуальна проблема повышения эффективности КА ДЗЗ, в том числе путем сокращения указанных мертвых зон. Анализ показывает, что в рамках традиционно применяемых технологий дальнейшее сокращение времени поворота КА путем увеличения угловой скорости практически невозможно из-за возрастания угловых перегрузок и наличия в составе КА крупногабаритных нежестких элементов конструкции.

Для решения проблемы повышения эффективности КА ДЗЗ с ОЭК мы предлагаем комплексную технологию «Быстрый глаз». Концепция «Быстрый глаз» включает следующие мероприятия:

1. Переход для переориентации зоны захвата ОЭК от поворота всего КА к повороту только зеркала ОЭК с чувствительными элементами путем определенного изменения конструкции ОЭК. Это приведет к существенному снижению момента инерции вращающейся массы (по предварительной оценке до двух порядков). В результате при повороте снизится динамическое воз-

действие на КА. Это даст возможность увеличить скорость поворота зоны захвата без увеличения динамических нагрузок.

2. Размещение вращающейся части ОЭК на инновационной двухосной поворотной платформе на основе пьезоэлектрических приводов, разрабатываемой БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. Данная платформа представляет новое поколение исполнительных механизмов для космической техники. Она обладает малой массой и габаритами и рядом других достоинств в сравнении с традиционными устройствами на основе электроприводов. Особо следует отметить чрезвычайно высокую динамичность ПП (скорость поворота без нагрузки – до 500 рад/с), что даст возможность очень быстро поворачивать зону захвата ОЭК по курсу и тангажу.

3. Реализацию новых возможностей решения задач ДЗЗ, возникающих как следствие высокой скорости поворота зоны захвата ОЭК.

Реализация концепции «Быстрый глаз» обеспечит следующие преимущества и новые возможности при решении задач ДЗЗ:

- значительное (по предварительной оценке на порядок) сокращение мертвых зон и, следовательно, пропорциональное повышение производительности КА ДЗЗ;

- высокая скорость поворота зоны захвата вокруг двух осей открывает возможность распознавания обнаруженных ОЭК объектов в реальном масштабе времени (за один пролет), например, путем оперативного наведения на объект, обнаруженный ОЭК, зоны захвата гиперспектрометра того же КА по целеуказанию от ОЭК;

- высокая скорость поворота вокруг двух осей также дает возможность проводить видеосъемку заданных районов, произвольной формы и расположения относительно трассы полета и реализовать новые перспективные технологии повышения разрешающей способности ОЭК, требующие многократной съемки участка за один пролет.

В целом предлагаемая концепция и соответствующий комплекс мероприятий дают возможность как повысить производительность КА ДЗЗ, так и реализовать качественно новые возможности получения информации об объектах на земной поверхности, не требуя для этого высоких затрат.

ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ ПЕРИОД

В. А. Ламзин, В. В. Ламзин, Ю. А. Матвеев
*(Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет), г. Москва)*

Модернизация космической системы (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) связана с внесением изменений (замена подсистем или добавление новых подсистем) в базовую систему с целью повышения ее технико-экономической эффективности при новых условиях использования. От состава и параметров заменяемых подсистем зависит и формирование программы модернизации (числа, сроки и состав замены подсистем). Проектные исследования с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период связаны с решением задачи комплексной оптимизации параметров и программы модернизации КС ДЗЗ в прогнозируемый период. Для решения задачи разработан метод комплексной оптимизации, в основе которого схема двухуровневого управления разработкой, двухуровневая модель проектных исследований и статистический метод двухуровневой согласованной оптимизации [1 – 4].

В докладе рассматриваются вопросы повышения функциональной эффективности КС ДЗЗ, связанные с ее модернизацией в прогнозируемый период. Приводится постановка задачи. Критерий поиска решения задачи – суммарные приведенные затраты на реализацию программы модернизации КС ДЗЗ. Вектор варьируемых параметров включает параметры модификации космического аппарата (КА). Предполагается, что параметры базового объекта известны, а рассматриваемый временной интервал больше временного интервала существования базовой системы. Критерий поиска решения задачи – суммарные приведенные затраты на реализацию программы модернизации КС ДЗЗ. При формировании соответствующей проектной модели учитываются особенности заменяемых подсистем. При решении задачи проводится оптимизация (оценка) параметров модификаций КА с учетом особенностей проектно-конструкторских решений заменяемых подсистем. При комплексной оптимизации выбирается рациональная программа модернизации проекта КС ДЗЗ.

В докладе приводится блок-схема алгоритма решения задачи оптимизации (оценки) параметров и программы модернизации КС ДЗЗ в прогнозируемый период. Она включает ряд блоков: формирование вариантов модификации КА в составе системы при ее модернизации в планируемый период; оптимизация программы модернизации; оценка ряда показателей, например, информационной производительности, целевой эффективности, надежности; определение суммарных приведенных затрат на реализацию программы модернизации. При решении задачи используются проектные модели габаритно-массовых характеристик, надежности, затрат и др. на создание (изготовление) первого базового образца как подсистем, так и КА в целом.

При формировании модели затрат на реализацию проекта КС ДЗЗ: устанавливается ее структура, включающая космический и наземный сегменты; определяется связь составляющих затрат от обобщенных параметров объектов (подсистем). Показано, что на суммарные затраты влияют сроки реализации проекта, сроки восполнения системы и проведения ее модернизации, длительности периодов разработки, создания и эксплуатации. На начальном этапе проектных работ, когда нет необходимых данных в полном объеме, используется опыт реализации аналогичных проектов. Модель затрат на реализацию проекта создания КС ДЗЗ в прогнозируемый период представляется в виде суммы приведенных затрат на космический сегмент, включающий орбитальную группировку КА, и доработку подсистем наземного сегмента (технического комплекса КА, наземного комплекса управления и наземного комплекса приема, обработки и распространения информации). При определении затрат используется метод базовой статьи калькуляции и статистические методы оценки.

На модельном примере проведена комплексная оценка параметров и программы модернизации проекта создания КС ДЗЗ, реализуемой в прогнозируемый период. Полученные на модельном примере оценки технико-экономических характеристик могут быть использованы для детального анализа эффективности существующих и перспективных КС с целью прогнозирования их развития, расширения области применения, продления сроков использования.

Литература

1. Матвеев Ю. А. Методы прогнозирования характеристик космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / Ю. А. Матвеев, В. А. Ламзин, В. В. Ламзин. – Москва: Изд-во МАИ, 2019. – 160 с.

2. Матвеев Ю. А. Основы проектирования модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / Ю. А. Матвеев, В. А. Ламзин, В. В. Ламзин. – Москва: Изд-во МАИ, 2015. – 176 с.
3. Матвеев Ю. А. Метод прогнозных исследований эффективности модификаций КА при комплексной замене подсистем / Ю. А. Матвеев, В. А. Ламзин, В. В. Ламзин // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. – 2015. – № 4. – С. 53 – 59.
4. Ламзин В. В. Исследование характеристик оптико-электронной космической системы дистанционного зондирования Земли при модернизации в планируемый период / В. В. Ламзин // Вестник МАИ. – 2009. – Т. 16. – №5. – С. 46 – 55.

ОЦЕНИВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**В. Ф. Мочалов, Р. С. Хабаров,
О. В. Григорьева, К. А. Спесивцева**

(Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург)

Можно выделить два основных направления совершенствования тактико-технических характеристик бортовой съемочной аппаратуры: повышение пространственного разрешения материалов съемки и расширение границ спектрального диапазона регистрируемого сигнала в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Второе направление сопровождается, как правило, увеличением количества и повышением энергетической чувствительности спектральных каналов материалов съемки. Интеллектуально-насыщенные алгоритмы автоматизированной обработки часто опираются на спектрально-яркостные признаки идентификации и оценивания состояния элементов ландшафта. Целью доклада является сравнительная оценка информационных возможностей материалов отечественной и зарубежной космической съемки. При этом для каждого условного вида ландшафта учитываются результаты идентификации двух поверхностей, близких по своим спектральным отражательным характеристикам. Выбранные экспертом пары поверхностей разделяются с помощью распространенных алгоритмов автоматизированной обработки материалов съемки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выбор материалов максимально синхронной съемки, выполненной с помощью многозональной съемочной системы (МСС) и мультиспектрального инструмента (MSI) в пределах одной и той же сцены; выбор пар поверхностей, идентификация которых будет иметь важное значение для решения практических задач; формирование на основе материалов съемки МСС и MSI исходных данных, характеризующих спектральные отражательные характеристики географически согласованных элементарных площадок каждой пары поверхностей; применение алгоритмов обработки и расчет показателей, характеризующих качество автоматизированной идентификации (разделения) пар поверхностей; представление результатов оценивания информационных возможностей материалов съемки, выполненных МСС и MSI.

Для оценивания информационных возможностей выбраны материалы съемки с обозначением fr_KV4_13253_13244_03_3NP2_07_T_S_510712_270820 и

S2A_MSIL2A_20200602T092041_N0214_R093_T35VPH_20200602T113925 территории Карельского перешейка Ленинградской области в летний период 2020 г. Материалы съемки, зарегистрированные бортовой аппаратурой МСС, представлены в четырех спектральных каналах в диапазоне от 460 до 840 нм, а MSI – в тринадцати спектральных каналах в диапазоне от 430 до 2290 нм с сопоставимым пространственным разрешением.

Пары поверхностей выбраны для следующих условных видов ландшафта: лес с различными видами растительности, болото с различной проходимостью, вода различной мутности, почва с различными видами антропогенного воздействия, различные площадные твердые покрытия.

Исходные данные для автоматизированной обработки представлены в виде таблиц с результатами измерений спектральных отражательных характеристик каждой поверхности в строго пространственно-согласованных точках в количестве от 25 до 50 ед. в зависимости от геометрических разметов выбранных поверхностей.

Автоматизированная идентификация каждой пары в пределах поверхностей выполнена с помощью алгоритмов «случайный лес» (Random Forest) и «опорных векторов» (SVM) [1]. Качество обработки оценивается на основе анализа значений показателей «точности» P (precision) и «чувствительности» R (recall) идентификации [2].

Результаты оценивания информационных возможностей бортовой аппаратуры МСС и MSI приведены в таблице.

Таблица

Данные для оценивания информационных возможностей

Условный вид ландшафта	МСС (Канопус)				MSI (Sentinel-2)			
	Random Forest		SVM		Random Forest		SVM	
	P	R	P	R	P	R	P	R
Вода	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Лес	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Почва	0,77	0,67	0,79	0,73	1,0	1,0	1,0	1,0
Болото	0,83	0,83	0,71	0,83	1,0	1,0	1,0	1,0
Площадка	0,8	0,8	1,0	0,7	1,0	0,9	1,0	0,9
Лагерь	0,86	0,8	0,79	0,73	1,0	1,0	0,93	0,87

Представленные в таблице значения оцениваемых показателей отражают перспективы решения практических задач на основе автоматизированной обработки материалов мультиспектральной съемки. Выбранные поверхности

в пределах таких условных видов ландшафта, как вода и лес, уверенно идентифицируются на основе данных от аппаратуры МСС и MSI. То есть выделяются различные виды растительности и водной поверхности в пределах контуров, выбранных накануне экспертом. При этом для сформированных исходных данных показатели P и R , независимо от алгоритма обработки, принимают максимальное значение, равное единице. Вместе с тем идентификация пар поверхностей в пределах почв, болот и инфраструктурных объектов по данным МСС выполняется менее уверенно.

Можно отметить, что расширение спектрального диапазона и увеличение количества спектральных каналов сопровождаются улучшением показателей, характеризующих информационные возможности бортовой аппаратуры рассматриваемых космических аппаратов.

Литература

1. Вьюгин В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования / В. Вьюгин. – Москва: МЦМНО, 2013. – 484 с.
2. Tharwat A. Classification assessment methods / A. Tharwat // Applied Computing and Informatics. – 2018. – № 1. – Vol. 17. – P. 168 – 192.

МЕТОДИКА АБСОЛЮТНОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГРУППИРОВКИ «КАНОПУС-В» МЕТОДОМ КРОСС-КАЛИБРОВКИ И ПО ПОЛИГОНАМ СЕТИ RADCALNET

В. В. Некрасов

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

В настоящее время КА типа «Канопус-В» являются единственными КА ДЗЗ группировки гражданского назначения. Поэтому абсолютная калибровка целевой аппаратуры данных КА весьма актуальна для обеспечения возможности использования данных ДЗЗ, получаемых КА группировки. Для проведения абсолютной калибровки используются открытые данные с зарубежных КА, которые имеют целевую аппаратуру с параметрами, отличными от параметров ЦА КА «Канопус-В», кроме того, съемка производится в других режимах и условиях, поэтому необходимо сформулировать подходы и методы решения задачи калибровки. Цель исследования – провести абсолютную калибровку ЦА КА типа «Канопус-В» с максимально возможной точностью. Задачи, выполняемые для достижения искомого результата: разработка методики абсолютной калибровки ЦА методом кросс-калибровки; разработка методики и технологии планирования съемки; отработка технологии получения исходных данных; разработка методов обработки исходных данных для проведения абсолютной калибровки.

Для исследования используются следующие данные: баллистические параметры движения КА; космические снимки, полученные ЦА КА типа «Канопус-В»; эталонные космические снимки.

Разработана методика и технология абсолютной калибровки ЦА КА типа «Канопус-В». Полученные результаты позволяют повысить точность абсолютной калибровки ЦА. В результате исследований установлены закономерности, позволившие разработать методику абсолютной калибровки ЦА КА типа «Канопус-В». Решена практическая задача по разработке технологии абсолютной калибровки с повышенной точностью. Приведены результаты абсолютной калибровки по полигонам сети RadCalNet.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГРУППИРОВОК МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

А. А. Брагина, В. Т. Минлигареев, С. Д. Богодяж

*(Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт
прикладной геофизики им. академика Е. К. Федорова», г. Москва)*

В настоящее время, благодаря активному развитию космических технологий, в качестве инструментов для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и мониторинга гелиогеофизической обстановки (ГФО) все чаще используются малые космические аппараты (МКА) типа кубсат. Они обладают некоторыми преимуществами в сравнении с тяжелыми федеральными космическими аппаратами (КА). Существуют программы по поддержке и содействию разработок МКА с различной учебной и научной аппаратурой, это – «Универсат» Роскосмоса, Росгидромета и ведущих ВУЗов и Space-Pi Фонда содействия инновациям. В рамках данных программ осуществляется тесное сотрудничество между предприятиями и образовательными учреждениями. Отмечаются разработки студентов и сотрудников МГУ им. М. В. Ломоносова, МГТУ им. Н. Э. Баумана, НТУ «Сириус», Самарского университета и СибГУ им. М. Ф. Решетнева и других.

ФГБУ «ИПГ» принимает активное участие в работе с миниатюризированной аппаратурой для МКА в качестве тематического заказчика, эксперта и изготовителя аппаратуры. В 2023 г. специалистами института была произведена калибровка магнитометров, разработанных для серии микроспутников МГТУ им. Н. Э. Баумана «Ярило». В рамках разработок по части спутниковой магнитометрии университет также реализовал проект создания конструкции и системы развертывания выдвижной углепластиковой штанги для выноса магнитометра на расстояние до 2 м от корпуса МКА. Также совместно с МГТУ им. Н. Э. Баумана и компанией «Орбитальные Системы» были проведены работы по созданию аппаратуры ГАМВЭКИ, являющейся эквивалентом серийного прибора ГАЛС (спектрометр галактических и солнечных космических лучей). В качестве полезной нагрузки данная аппаратура установлена на МКА «Хорс» № 1 и № 2, а полноразмерный аналог установлен на КА «Метеор-М», «Электро-Л», «Арктика-М». Аппаратура ГАМВЭКИ состоит из блоков ГАМВЭКИ-ГМ (рисунк), и ГАМВЭКИ-Ч. Прибор ГАМВЭКИ-ГМ измеряет суммарную плотность потоков протонов и электронов счетчиками Гейгера-Мюллера в четырех энергетических диапазонах. Прибор ГАМВЭКИ-Ч производит измерения плотности потока протонов с энергией более 600 МэВ в трех энергетических интервалах с помощью детектора Черенкова.



Детектор ГАМВЭКИ-ГМ на калибровке во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева

Упомянутые микроспутники «Ярило» и «Хорс» были доставлены на целевые орбиты в качестве попутной нагрузки совместно с КА «Метеор-М» № 2-3 27 июня 2023 года с космодрома Восточный. Этот запуск стал рекордным в России по числу одновременно запущенных МКА. Большая часть установленной на них научной аппаратуры решает 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.

Обобщая полученный опыт и имеющийся научно-технический задел, важно отметить высокую практическую значимость развития дальнейших разработок в сфере гелиогеофизических наблюдений на базе МКА типа кубсат. Создание миниатюрных версий приборов расширит возможности мониторинга космической погоды на низких орбитах. Для использования данных МКА в прогнозах ГФО необходимо особое внимание уделить точной ориентации МКА в пространстве, оперативной передаче измерительной информации в гелиогеофизическую службу Росгидромета (ФГБУ «ИПГ»), верификации и легитимности данных, возобновляемости группировки МКА гелиогеофизического назначения.

МАТРИЧНЫЕ КМОП-ФОТОПРИЕМНИКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

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

Одним из основных направлений работы АО «НПП «ЭЛАР» является разработка, изготовление и поставка ФПЗС с режимом ВЗН. Предприятие выпускает широкий спектр фотоприемников: от малоформатных (1500(Г) × 192(В) пикселей) до крупноформатных (6000(Г) × 128(В) пикселей), как монохроматические, так и спектральнональные.

Исторически на спутниках ДЗЗ высокого разрешения использовались исключительно ФПЗС с режимом ВЗН. Дело в том, что базовым элементом фотоприемных структур, работающих в режиме ВЗН, служит ячейка с переносом заряда. Главное отличие этой структуры (от классической со стандартным фоточувствительным диодом для конструкции КМОП-фотоприемника) заключается в возможности «сквозного обеднения» канала переноса зарядового пакета, то есть достижения состояния полного отсутствия подвижного заряда. Расположив такие ячейки в цепочку и обеспечив управляемый перенос зарядовых пакетов между соседними ячейками, мы получаем классическую структуру ПЗС, на которой может быть реализован ВЗН-режим работы.

Однако на протяжении последних 15 лет рядом зарубежных фирм, таких как Teledyne E2V-Dalsa (США), Gpixel (Китай), международный микро- и нанoeлектронный научно-исследовательский центр IMEC (Бельгия), ведутся работы по созданию КМОП-структур с эффективным переносом заряда за счет уменьшения зазоров между соседними поликремниевыми электродами до предельно малых величин. И на данный момент уже есть серийные приборы с реализацией фотоприемной ПЗС-секции на КМОП-фотоприемнике, но подробности технологии не раскрываются. В любом случае речь идет о зазорах менее 100 нм. Ясно, что в рамках КМОП-процесса 0,18 мкм, где минимальный зазор составляет 0,28 мкм, такие попытки бесперспективны.

Имеется альтернативный подход к созданию ПЗС-структур на базе КМОП-технологии. Он заключается в использовании диодов со сквозным обеднением или pinned diodes (PD). Эти элементы по структуре и свойствам аналогичны ячейкам с «виртуальной фазой», известным с 1978 года и успешно применяемым в ПЗС-приборах, в том числе и отечественных, выпускаемых АО «НПП «ЭЛАР».

Элементы PD технологически совместимы с КМОП-процессами. Важно, что элементы PD обладают главным свойством ПЗС – возможностью сквозного обеднения, что обеспечивает перенос заряда без потерь и внесения шума. Кроме того, эти элементы не требуют для своего изготовления экзотических процессов, таких, как формирование сверхузких зазоров, и поэтому являются реализуемыми на отечественных предприятиях. Расположив такие ячейки в цепочку и обеспечив управляемый перенос зарядовых пакетов между соседними ячейками, мы получаем классическую структуру ПЗС, на которой может быть реализован ВЗН-режим работы, позволяющий обеспечить «бесшумное» сложение зарядов и, соответственно, достижение высокой чувствительности.

Важно отметить, что только наличие PD-элементов не гарантирует реализацию режима ВЗН в КМОП-фотоприемнике. После освоения технологии изготовления PD-элементов необходимо выпустить экспериментальные партии для определения возможностей технологии в таких важных для фотоприемника характеристиках, как чувствительность и размер пикселя.

Также нерешенной остается проблема увеличения чувствительности, а именно на данный момент нет отечественных предприятий изготавливающих микролинзовые раstra или фотоприемники с обратной засветкой.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ ФПЗ И КМОП – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

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

Современный твердотельный фотоприемник это сложное комплексированное высокотехнологичное изделие, которое включает в себя многоэлементную фоточувствительную инновационную структуру, многоканальную систему обработки и передачи аналоговых и цифровых сигналов, компактное устройство охлаждения, прецизионные элементы сопряжения и пр. Параметрические и эксплуатационные характеристики фотоприемника во многом определяют технический уровень перспективных оптоэлектронных систем.

АО «НПП «ЭЛАР» занимается разработкой и производством фотоприемников ФПЗ и КМОП различного назначения в том числе для оснащения космических аппаратов (КА) для систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), аппаратуры ориентации по звездам и другой бортовой аппаратуры. Выпускаемые фотоприемники используются в наземных телевизионных системах, установлены на крупнейших телескопах страны, применяются для комплектования рентгеновских медицинских комплексов.

Предприятие обладает замкнутым конструкторско-технологическим циклом разработки и производства ПЗС-фотоприемников, включая этапы моделирования элементов ФПЗС (с использованием специализированного ПО), проектирование топологии, полный комплекс планарного производства, предварительный зондовый контроль, сборка в специализированные корпуса, измерения, испытания и конечная сертификация изделий.

Предприятие выпускает большую номенклатуру ФПЗС ВЗН для панхроматического и спектрального каналов аппаратуры ДЗЗ, отличающихся размером элемента, форматом, количеством фотозон на кристалле, и т.д. и фактически каждый из выпускаемых фотоприемников требует индивидуального аппаратно-методического подхода.

АО «НПП «ЭЛАР» осуществляет производство ФПЗС с размером фоточувствительной ячейки 6×6 мкм. Кроме того, АО «НПП «ЭЛАР» выпускает 8 типов фоточувствительных модулей с интегрированным

трехзонным светофильтром. Типы фоточувствительных модулей различаются набором спектральных каналов, определяемым интегрированным светофильтром. Перечисленные фотоприемники работают в системах ДЗЗ КА «Ресурс-ДК», «Ресурс-П» № 1, 2, 3, «Аист-2Д» а также других аппаратов. Ведутся поставки для КА «Ресурс-П» № 4 и № 5.

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

АО «НПП «ЭЛАР» разработало ФПЗС ВЗН, предназначенные для изготовления панхроматического и спектрально-зонального каналов аппаратуры ДЗЗ разработки ОАО «Пеленг» (Минск).

Ведется разработка матричных ФПЗС ВЗН для панхроматического и спектрально-зональных каналов нового КА ДЗЗ «Ресурс-ПМ». Разработка данных фотоприемников для панхроматического канала (с размером ячейки 9×9 мкм) и мультиспектрального канала (с четырьмя спектральными каналами и размером ячейки 18×18 мкм), являются логическим продолжением линейки ВЗН фотоприемников для панхроматической и спектрально-зональной аппаратуры ДЗЗ.

В рамках ОКР завершено изготовление и предварительные испытания гибридной, многокристальной ФПЗС ФЗН сборки. Произведена поставки данных изделий для летной эксплуатации на борту КА. Указанный фотоприемник построен на основе прецизионной сборки четырех ФПЗС ВЗН с размером элемента 6×6 мкм – самого массового фотоприемника для отечественных космических систем ДЗЗ.

С 2023 года предприятие является соисполнителем работ по проекту «Сфера», в первую очередь, в части разработки и поставки фотоприемников для панхроматического и мультиспектрального каналов.

Предприятие выпускает большой спектр приборов для аппаратуры ориентации по звездам. Поставленные «звездные датчики» успешно эксплуатируются на Международной Космической Станции, в КА серии «Ямал», на всех отечественных высокоразрешающих КА ДЗЗ и пр. Все приборы выполнены в вакуумплотных металлокерамических корпусах с Пельте-охлаждением, что обеспечивает повышенную стойкость фотоприемников к ионизирующему излучению.

За прошедший год получены обнадеживающие результаты по постановке отечественной технологии изготовления утоненных матричных фотоприемников с обратной засветкой, включая технологию сенсibilизации (очувствления) обратной стороны и просветления в широком спектральном диапазоне.

В основу технологии очувствления лёг метод низкотемпературного осаждения комбинации слоев оксидов алюминия и гафния, имеющих встроенный отрицательный заряд.

АО «НПП «ЭЛАР» занимается разработкой и изготовлением матричных КМОП-фотоприемников. За прошедший период предприятием было разработано и выпущено несколько видов фоточувствительных кристаллов.

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

РАЗРАБОТКА ФОТОПРИЕМНОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ ЭОП И ПЗС-МАТРИЦЫ, СОПРЯЖЕННЫХ ПОСРЕДСТВОМ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ

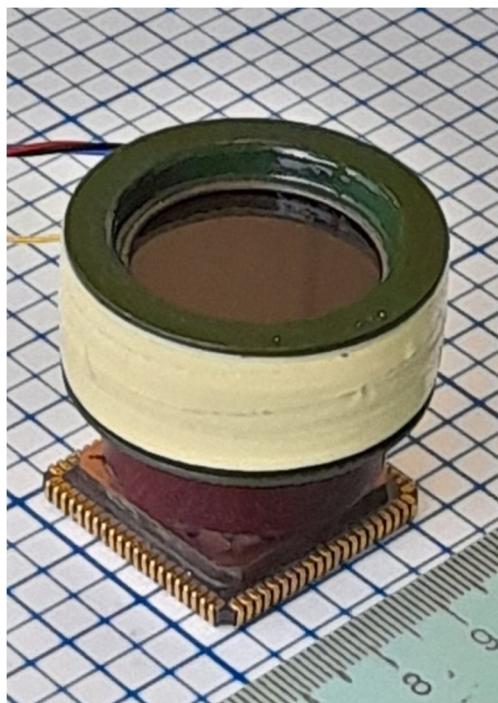
**А. Б. Берлизов, В. Б. Лебедев,
В. Н. Крутиков, А. А. Синийчук**

*(ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
оптико-физических измерений», г. Москва)*

В работе представлены результаты исследования пороговых энергетических характеристик фотоприемного модуля на основе электронно-оптического преобразователя (ЭОП). Такие устройства часто называют гибридными телевизионными модулями. Они позволяют значительно повысить чувствительность фотоприемника, предназначенного для получения изображений, и расширить спектральный диапазон в рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области спектра.

Подобного рода фотоприемники могут оказаться полезными для использования в комплексах приема и обработки информации дистанционного зондирования Земли.

В состав фотоприемного модуля входит: плоский ЭОП, содержащий одну микроканальную пластину и люминесцентный экран на волоконно-оптической пластине; ПЗС-матрица, сопряженная с волоконно-оптической пластиной; источники питания и программное обеспечение. Технология склейки пластины с матрицей разработана в ФГБУ «ВНИИОФИ». Программное обеспечение позволяет регистрировать и обрабатывать широкий класс непрерывных и импульсных оптических изображений, формируемых на фотокатode ЭОП с помощью входной оптики. На рисунке показан общий вид сборки ЭОП – матрица.



Вид фотоприемного модуля

Основные характеристики ЭОП, матрицы и волоконно-оптической пластины приведены в таблице.

Таблица

ЭОП	
Рабочий диаметр фотокатода, мм	25
Тип фотокатода	S-25
Диапазон спектральной чувствительности, нм	200 – 900
Чувствительность, мА/Вт:	
– на длине волны 250 нм	15
– на длине волны 620 нм (макс.)	101
– на длине волны 840 нм	41,6
Предел разрешения не менее, пар штрихов/мм	25
Матрица Kodak KAF-1301E	
Диапазон спектральной чувствительности, нм	350 – 1000
Квантовый выход в максимуме на длине волны 560 нм	72%
Размер, мм × мм	20,5 × 16,4
Размер пикселя, мк × мк	16 × 16
Количество пикселей	1280 × 1024
Волоконно-оптическая пластина ПЗС-матрицы	
Рабочий размер, мм × мм	20,5 × 16,4
Диаметр волокна, мкм	6

Излучение с длиной волны 560 нм с выхода монохроматора проходило через молочное стекло и освещало миру ГОИ № 4. Изображение мира проецировали оптической системой в масштабе 1:1 на поверхность сопряженной с матрицей волоконно-оптической пластины (при работе с ПЗС-матрицей) или на фотокатод ЭОП.

За предел разрешения, в соответствии с ГОСТ 21815.8-86 (действующий), принимали число периодов в 1 мм для элемента, в котором штрихи на экране видны раздельно по всем четырем направлениям (период содержит светлую и темную полосы).

Получено, что в случае матрицы без ЭОП предел разрешения составляет 16 периодов/мм. При этом контраст равен 2, а энергетическая освещенность на поверхности ВОП составляет $6,14 \cdot 10^{-7}$ Вт/м².

В случае ЭОП с матрицей при энергетической освещенности на фотокатод $1,14 \cdot 10^{-8}$ Вт/м² разрешается элемент мира с частотой 15 периодов/мм с

контрастом 0,18, а при энергетической освещенности $3,88 \cdot 10^{-9}$ Вт/м² разрешается элемент с частотой 13 периодов/мм с контрастом 0,17.

Таким образом, использование ЭОП в составе фотоприемного модуля позволяет понизить порог энергетической освещенности на приемнике более чем в 150 раз практически без потери разрешения.

СПУТНИКОВЫЙ ГРАВИГРАДИЕНТОМЕТР КАК КОМПОЗИЦИЯ УЗКОДИАПАЗОННЫХ ГРАВИМЕТРОВ

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

Изучение гравитационного поля Земли (ГПЗ) является неотъемлемой частью развития фундаментальной и прикладной науки, результаты которой используются во многих областях знаний (изучение внутреннего строения Земли, океанической циркуляции, предсказания природных катастроф, прогноз орбиты спутников, увеличение срока жизнедеятельности космических аппаратов за счет оптимизации коррекции орбиты и т. д.).

Создание акселерометрической аппаратуры с разрешением $10^{-11} - 10^{-13} g$ 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.

Исследование одной из лучших отечественных разработок – акселерометра А-103 показали, что предельное разрешение прибора, установленного на антисейсмической платформе, составляет $10^{-7} g$.

Лучшими зарубежными разработками спутниковых акселерометров являются приборы, построенные по схеме электростатического спутникового акселерометра «Cactus» фирмы ONERA «Star» и «Super Star» с разрешением 10^{-11} и $10^{-13} g$ соответственно.

Европейским космическим агентством (ESA) в рамках программы GOCE при использовании акселерометров типа «Super Star» реализован спутниковый электростатический гравиградиентометр. С помощью этого гравиградиентометра было выполнено картирование гравитационного поля Земли с точностью $2 - 6 mE$ (милиЭтвеш) в диапазоне частот $0,004 - 0,1$ Гц.

В конструкцию спутникового гравиградиентометра проекта GOCE, регистрирующего все компоненты вторых производных гравитационного потенциала Земли, входили три пары ортогонально расположенные трехосные акселерометры, фиксирующие гравиинерциальные ускорения относительно

центра масс Земли. В составе регистрируемой информации были как постоянная составляющая действующих на акселерометры ускорений так тысячные доли их изменений, которые содержали необходимую информацию о гравитационном поле.

Компоненты градиентов ускорения силы тяжести на околоземной орбите на высоте 250км примерно равны 4000Е (Z), 2600Е (X) и 1300Е (Y). Регистрируемые изменения градиентов по трем осям в процессе полета не превышают величины 1Е.

Идеология построения измерительной системы проекта GOCE состояла в измерении и постоянных составляющих ускорений действующих на спутник и вариаций этих ускорений. Потребовались огромные интеллектуальные и технологические усилия для того, чтобы создать измерительный комплекс с разрешением $2 \cdot 10^{-3}$ Е и обеспечить относительную точность измерения постоянной составляющей градиентов ускорения силы тяжести на уровне $2 \cdot 10^{-7}$. При этом относительная точность полезного сигнала о вариациях гравитационного поля Земли(1Е) при разрешении измерительной аппаратуры $2 \cdot 10^{-3}$ Е могла бы иметь величину ($5 \cdot 10^{-4}$). Финансовые затраты на осуществление проекта GOCE составили более 1,5 млрд. долларов.

В наземных условиях вариации ускорения силы тяжести регистрируют с помощью относительных гравиметров также относительно центра масс Земли. В принципе относительные гравиметры представляют собой варианты вертикальных акселерометров. Отличие состоит в диапазоне измеряемых ускорений, других амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристиках, уровне разрешения полезного сигнала и в уровне возмущающих факторов.

При этом постоянную составляющую ускорения силы тяжести (g) не измеряют. В конструкции относительных гравиметров предусмотрено устройство с применением упругих элементов, компенсирующее более чем на 99% воздействие постоянной составляющей ускорения силы тяжести на поверхности Земли. Создание карт гравитационного поля на поверхности Земли выполняют с использованием результатов измерений абсолютных гравиметров, которые предназначены как раз для измерения постоянной составляющей вектора силы тяжести. Вариации ускорения силы тяжести на поверхности Земли составляет величину $\pm 2 \cdot 10^{-3} g$, диапазон измеряемых Δg сухопутными относительными гравиметрами в среднем равен $10^{-4} g$ в условиях воздействия на прибор полного вектора силы тяжести g , а точность измерений современными гравиметрами (CG-6 Канада, ГАГ-3М Россия, ИФЗ РАН) составляет величину $10^{-9} g$. Относительная точность полезного сигнала о вариациях гра-

витационного поля Земли при измерениях наземными гравиметрами составляет величину 10^{-5} .

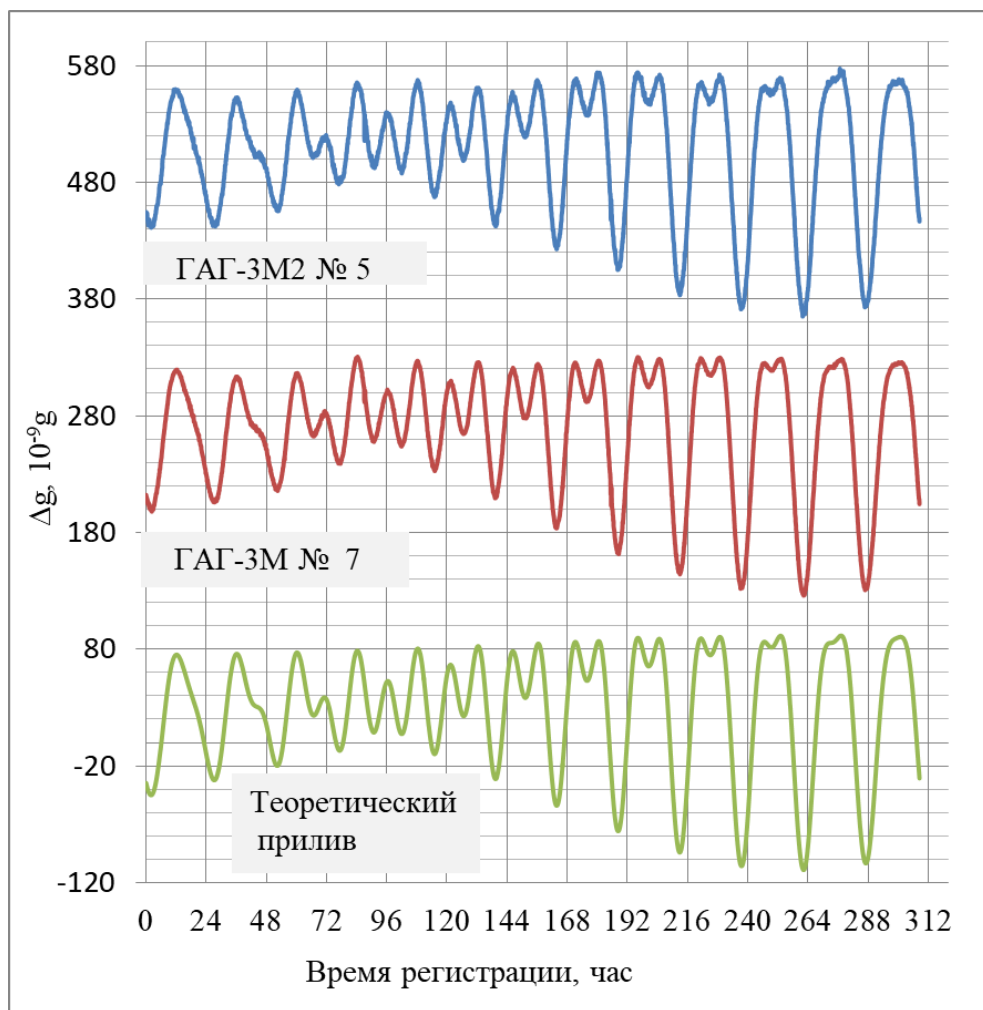


Рис. 1. Регистрация лунно-солнечного прилива гравиметрами ГАГ-3М №№ 5 и 7 в период с 27.04.2023 по 10.05.2023

Примером высокого качества работы относительных гравиметров может служить регистрация лунно-солнечных приливов гравиметрами ГАГ-3М разработки ИФЗ РАН. Усовершенствованный вариант гравиметра ГАГ-3 с антисейсмической защитой имеет рекордные характеристики для гравиметров этого типа и может конкурировать с одним из лучших гравиметров в мире Scintrex CG-6.

На рис. 1 приведена запись лунно-солнечного прилива в мае 2023 года двух гравиметров ГАГ-3М.

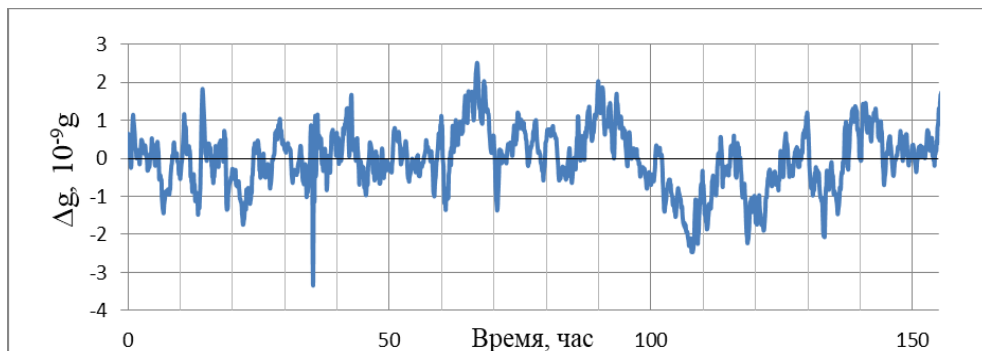


Рис. 2. Разность между измеренными значениями вариации силы тяжести гравиметром ГАГ-3М № 7 и теоретическим приливом

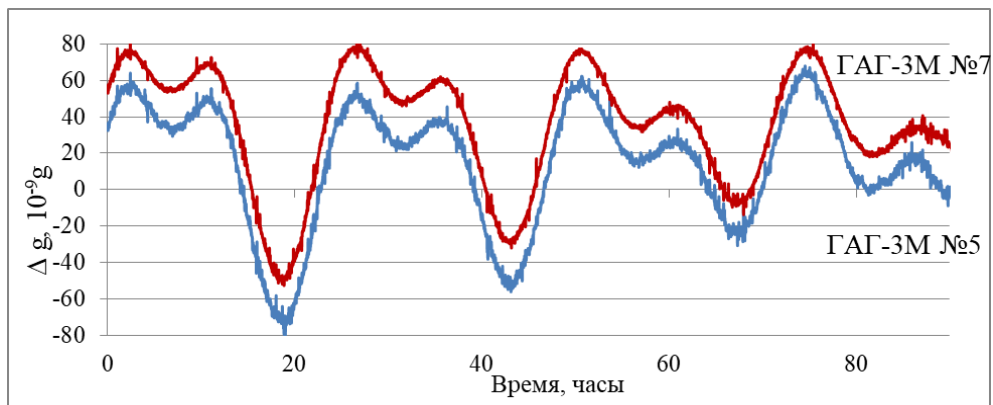


Рис. 3. Регистрация лунно-солнечных вариаций силы тяжести двумя гравиметрами ГАГ-3М

Разность между измеренными значениями вариации силы тяжести гравиметром ГАГ-3М № 7 и теоретическим приливом, рассчитанным с помощью программы ATLANTIDA31_2017, приведена на рис. 2.

В среднем разность между измеренными значениями вариации силы тяжести и теоретическим приливом составила величину $\pm 1 \text{ мкГал}$ (10^{-9} г). Отклонения в пределах $\pm 2 \text{ мкГал}$ обусловлены в основном вариациями температуры в помещении, где осуществлялась регистрация.

Ещё один пример регистрации лунно-солнечных вариаций силы тяжести двумя гравиметрами ГАГ-3М приведен на рис. 3.

Разность измеренных гравиметрами ГАГ-3М значений силы тяжести при регистрации лунно-солнечного прилива на коротком промежутке времени, которая характеризует собственные шумовые характеристики гравиметров, приведена на рис. 4.

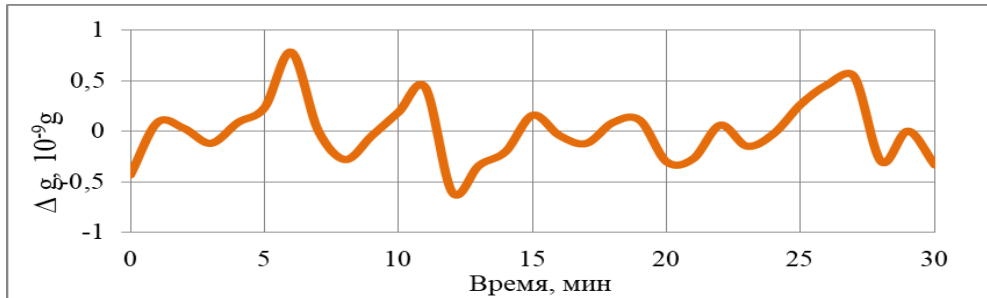


Рис. 4. Оценка шумовых характеристик гравиметров ГАГ-3М

Видно, что на коротких отрезках времени разброс показаний гравиметров ГАГ-3М находится в пределах $\pm 6 \cdot 10^{-10} \text{ г}$.

Следует обратить внимание, что измерения выполнялись в лабораторных условиях при наличии высокого уровня техногенных помех.

Физически возможное разрешение полезного сигнала гравиметром определяется Броуновскими шумами ($\sigma(\ddot{x})$) и для гравиметра ГАГ-3М они имеют следующее значение:

$$\sigma(\ddot{x}) = \sqrt{\frac{4kT\omega_0\Delta f}{mQ}} = 9 \cdot 10^{-10} \text{ г},$$

где $\sigma(\ddot{x})$ – ускорение, k – постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$), T – абсолютная температура ($300 \text{ }^\circ\text{K}$), ω_0 – собственная частота упругой системы (1 рад/с),

Δf – частота среза регистрируемого сигнала (0,1Гц), m – масса пробного тела ($40 \cdot 10^{-6}$ кг), Q – добротность упругой системы (0,5).

Таким образом, оценка шумовых характеристик гравиметров ГАГ-3М (рис. 4) показывает, что приборы работают на уровне физического запрета в условиях колебания температуры в помещении $5 - 6^\circ \text{C}$ и наличия высокого уровня техногенных вибропомех в центре Москвы.

В таблице приведено сравнение относительной точности измерений спутниковых и наземных приборов.

Сравнение относительной точности измерений спутниковых и наземных приборов

Измерительная аппаратура	Постоянная составляющая	Диапазон измерений	Разрешение аппаратуры	Относительная точность измерений относительно диапазона измерений
Гравиградиентометр GOCE	$4 \cdot 10^3 E$	$4 \cdot 10^3 E$	$2 \cdot 10^{-3} E$	$5 \cdot 10^{-7}$
Гравиметры CG-6, ГАГ-3М	g	$10^{-4} g$	$10^{-9} g$	10^{-5}
Гравиградиентометр на базе композиции гравиметров	$4 \cdot 10^3 E$	10E	$10^{-3} E$	10^{-4}

Из сравнения относительной точности регистрации полезного сигнала спутниковых акселерометров и наземных гравиметров видно, что при использовании системы компенсации постоянной составляющей ускорения силы тяжести на спутниковых приборах, разрешение полезного сигнала акселерометров можно повысить минимум на два порядка не увеличивая динамический диапазон датчиков. Тем самым повысить детализацию гравитационного поля Земли.

Предлагается в спутниковом гравиградиентометре использовать систему измерений наземных гравиметров, в которой заранее рассчитанное среднее суммарное воздействие на пробную массу измерительного прибора гравитационных и инерционных сил по каждой оси компенсируется упругим элементом гравиинерциального датчика, а вариации полезного сигнала – системой обратной связи акселерометра.

При такой организации системы измерений на два-три порядка понижаются требования системе обратной связи, но остаются высокие требования к

реологическим свойствам упругого элемента чувствительной системы прибора, его термостабилизации, к датчику перемещений, что достаточно глубоко проработано в чувствительных системах наземных гравиметров.

В докладе рассмотрены требования к компонентам такой системы измерений: упругим элементам, системе термостабилизации, системе аттестации приборов и датчику перемещений. Приводятся физические ограничения системы измерений, результаты испытаний высокоточных гравиметров, спутниковых акселерометров и гравиградиентометра совместной разработки ИФЗ РАН и НИИ КС им. А. А. Максимова.

Таким образом, использование в спутниковом гравиградиентометре акселерометров, построенных как композиция узкодиапазонных гравиметров позволит понизить требования к шумам чувствительной системы гравиинерциальных датчиков на два порядка (см. табл.) и в то же время повысить разрешение гравиградиентометра уменьшив уровень броуновского шума датчиков за счет увеличения их пробной массы и уменьшения упругой связи пробной массы датчика с корпусом прибора. При этом, практически не изменяя конструкцию прибора и его электронную часть.

СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Д. Г. Король

*(Московский авиационный институт (Национальный
исследовательский университет), г. Москва)*

Спутниковая связь занимает важное место для обеспечения полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Преимущество данной системы связи заключается в возможности дальнего полета на сотни километров от места запуска с высокой точностью построенного маршрута и получения информации в режиме реального времени. В таком точном позиционировании для выполнения своей миссии нуждаются военные БПЛА, переносящие различные нагрузки боевого назначения, медицинские БПЛА для доставки своего оборудования или же спасения пациента в труднодоступном месте.

Чаще всего для спутниковой связи с БПЛА применяют круговую поляризацию. Ее преимущество в обеспечении гарантированного приема и уменьшении межлучевой интерференции благодаря смене направления вращения отраженной волны. Приемная и передающая антенны должны иметь идентичные направления вращения электромагнитных волн.

Для дальнего полета очень важна спутниковая группировка для обеспечения высокой точности координат при навигации. Нужно преодолеть плохой прием со спутника и потери сигнала во время выполнения полетного задания. Даже при прерывании связи от центра управления можно обеспечить возвращение БПЛА в первоначальную точку запуска благодаря различным алгоритмам. Более простой способ построить путь по спутниковому навигационному сигналу, а более сложный – по выполненным снимкам с камеры определить географические признаки объектов до потери связи со спутником, а в дальнейшем по обработанной информации самостоятельно проложить обратный маршрут.

Потеря управления аппаратом может произойти не только из-за природных и случайных факторов, но и из-за устройств наведения помех, установленных в определенных местах, чтобы нарушить работу навигационных служб. Более сложная категория преднамеренных помех связана с системами перехвата управления, которые передают сигналы, чтобы получить контроль над навигационной системой цели. Поэтому важно обеспечить безопасность спутниковой навигации для подавления многолучевости, ослабления помех, защиты от перехвата управления, улучшения характеристик сигнала и повы-

шения точности получаемого местоположения приемника. Одним из решений является применение антенных решеток с встроенным алгоритмом формирования диаграммы направленности для размещения нуля в направлении помехи. Но перспективным направлением для работы является создание конформных антенных решений для уменьшения пространства размещения.

О ПОДХОДАХ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

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)

Современный мир переживает период интенсивного развития цифровых технологий, что приводит к увеличению важности цифровых двойников – компьютерных имитационных моделей реальных объектов и систем. Их использование охватывает множество областей, включая индустрию, здравоохранение, городское планирование и многие другие. Однако с ростом значимости цифровых двойников возникает необходимость обеспечения их информационной безопасности. В данной работе рассматриваются подходы к обеспечению информационной безопасности цифровых двойников и их роль в социально-экономическом развитии и функциональных исследованиях.

Обеспечение безопасности цифровых двойников представляет собой сложную задачу, требующую комплексного подхода. Важными аспектами являются защита от несанкционированного доступа, обеспечение целостности данных, аутентификация и авторизация пользователей, а также защита от вредоносных атак и утечек информации. Для достижения этих целей применяются различные методы, такие как криптографические протоколы, механизмы контроля доступа, мониторинг и анализ сетевого трафика.

Подходы к обеспечению информационной безопасности. Использование криптографии позволяет шифровать данные цифровых двойников и обеспечивать их конфиденциальность. Применение симметричных и асимметричных алгоритмов шифрования позволяет защитить данные на различных уровнях. Реализация надежных методов аутентификации и авторизации пользователей позволяет управлять доступом к цифровым двойникам, предотвращая несанкционированный доступ. Использование сетевых брандмауэров, интерфейсных фильтров и систем обнаружения вторжений способствует обнаружению и предотвращению атак на цифровых двойников. Размещение цифровых двойников в безопасных облаках позволяет управлять доступом и обеспечивать их безопасность через специализированные сервисы.

Цифровые двойники играют важную роль в современном обществе, оказывая положительное влияние на социально-экономическое развитие и функциональные исследования.

Обеспечение информационной безопасности цифровых двойников является важной задачей для их успешного применения в различных областях. Комплексный подход, включающий криптографические методы, механизмы аутентификации и авторизации, а также сетевые механизмы безопасности, позволяет минимизировать риски и обеспечить надежную защиту данных. Вместе с тем цифровые двойники играют значимую роль в социально-экономическом развитии и функциональных исследованиях, способствуя улучшению эффективности и качества различных процессов и систем.

НОВЫЙ КОЛЬЦЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ-МАХОВИК С МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ СТАТОРА

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

В настоящее время весьма актуальным является создание устройства, сочетающего в себе высокий управляющий момент гироскопа с простотой и надежностью двигателя-маховика. Для оптимального проектирования новых конструкций кольцевого двигателя-маховика (КДМ), в том числе с ротором, набранным из постоянных магнитов в виде цилиндров (или колец) и магнитных (или немагнитных) проставок [1], возможно применение схемы Хальбаха намагничивания ротора КДМ. Ротор при этом может являться подшипником скольжения и вращаться в трубке смазанной обычной или магнитной смазкой [2]. Для достижения более высоких скоростей вращения ротор может вращаться в подшипниках качения.

Задачей настоящей работы является создание КДМ с улучшенным за счет наличия магнитной системы статора удельным моментом, то есть моментом, отнесенным к длине вдоль оси ротора.

Конструкция КДМ с ротором, намагниченным по схеме Хальбаха, представлена на рис. 1. Ротор представляет собой тор, собранный из следующих элементов: постоянные магниты (3) чередующейся полярности, намагниченные в осевом направлении, и ферромагнитные проставки (4) между магнитами. Стрелками на рис. 1 показано направление намагничивания постоянных магнитов. Ротор КДМ располагается в полый трубке (1) и может свободно вращаться внутри нее. На поверхности трубки намотаны катушки (5) обмотки статора.

У этой встраиваемой конструкции отсутствуют подшипниковые щиты, подшипники качения и др. элементы конструкции, что позволяет уменьшить массу.

При диаметре постоянного магнита $d_m=10$ мм удельная магнитная сила составляет $F_{уд}=105 \div 115$ Н/м, а при диаметре магнита $d_m=20$ мм удельная магнитная сила составляет $F_{уд}=320 \div 350$ Н/м [3].

Недостатком конструкции [1, 2], согласно рис. 1, является отсутствие магнитной системы статора. Она, хотя и увеличивает массу КДМ, но существенным образом улучшает также вращающий момент. Для наименьшего увеличения массы разработана новая конструкция КДМ [4], имеющая специальную форму магнитопровода статора в виде скобы (рис. 2).

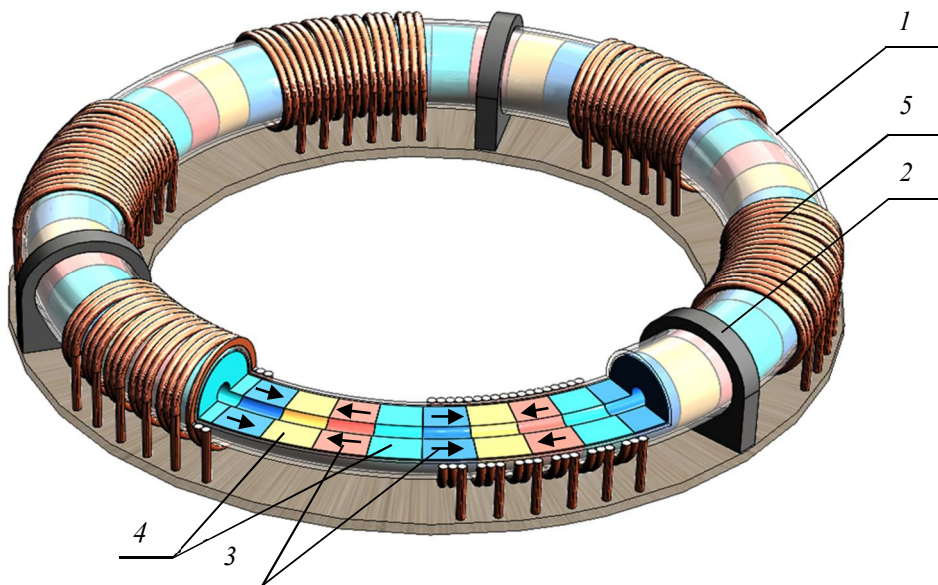


Рис. 1. Конструкция КДМ без магнитопровода статора:
 1 – трубка; 2 – опоры; 3 – постоянные магниты осевого намагничивания;
 4 – ферромагнитные проставки; 5 – катушки

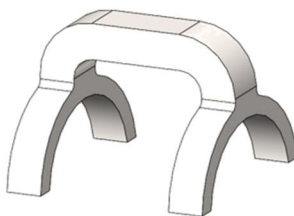


Рис. 2. Магнитопровод статора в виде скобы

На каждой скобе размещена катушка фазы обмотки статора. На скобах, расположенных друг напротив друга, размещены катушки одной и той же фазы.

На рис. 3 магнитопроводы в виде скоб (6) с обмотками (7) сосредоточены внутри сектора, это аналог дугостаторный КДМ. Скобы (6) с катушками (7) обмотки якоря могут быть равномерно распределены по окружности статора, как показано на рис. 3.

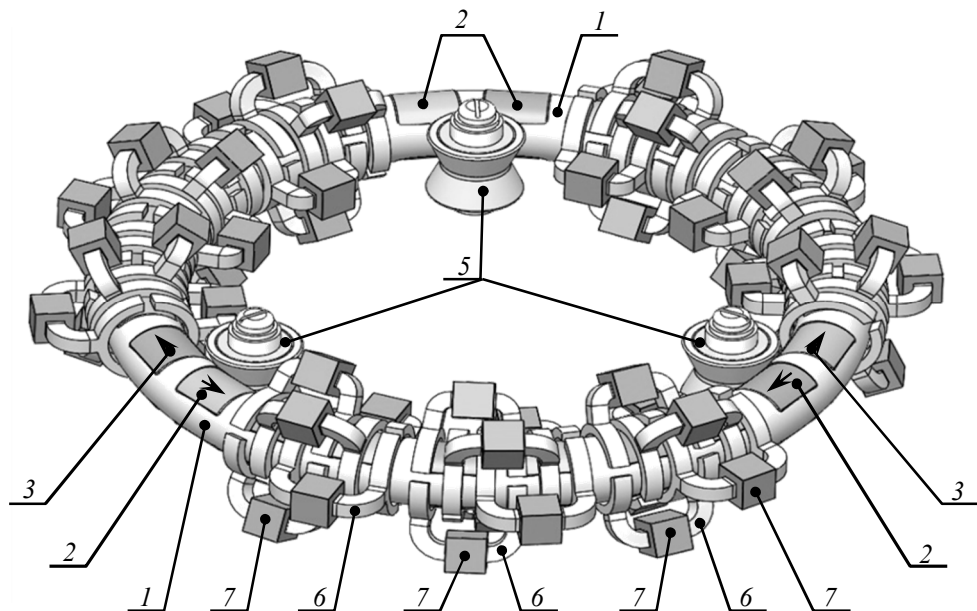


Рис. 3. КДМ с расположенными по окружности магнитопроводами статора

На рис. 1, 3 показана конструкция КДМ с трехфазной обмоткой статора ($m = 3$), согласно патенту [3]. Фазы обозначены A , B , C . Ротор в форме тора круглого сечения кольцевого двигателя-маховика состоит из сепаратора (1). Сепаратор (1) ротора выполнен из немагнитного материала, например, высоколегированной немагнитной стали. Внутри сепаратора (1) ротора размещаются постоянные магниты (2) индуктора, намагниченные в осевом направлении. С помощью сепаратора (1) постоянные магниты (2) скреплены между собой. Число постоянных магнитов (2) индуктора ротора является четным. Направления намагниченности постоянных магнитов (2) чередуются и показаны стрелками (3) для традиционного варианта намагничивания. Возможен вариант намагничивания ротора по схеме Хальбаха. На корпусе (4) крепятся подшипники (5) качения. Ротор вращается в подшипниках (5) относительно статора, являющегося якорем. Статор состоит из магнитопроводов и катушек обмотки якоря. Магнитопроводы, закрепленные в корпусе (4), представляют собой скобы (6) из магнитомягкого материала, например, железа Армко (ГОСТ Р 8.992-2020). Скобы (6) охватывают ротор на половине дли-

ны дуги окружности поперечного сечения тора ротора. Имеется немагнитный зазор между скобой статора и ротором δ . При этом, для снижения потоков рассеяния статора расстояния между соседними скобами должны быть больше 3δ .

Оптимизацию конструкции КДМ, согласно рис. 3, планируется проводить с использованием метода планирования эксперимента. В результате планируется увеличение удельного момента не менее чем на 10%.

Литература

1. Патент № 2650178 Российская Федерация. Двигатель-маховик: по заявке № 2017131262: опубл. 11.04.2018 / Геча В. Я., Захаренко А.Б., Пугач И. Ю., Белокурова Н. А., Красова Н. А. – 13 с.
2. Патент № 2658061 Российская Федерация. Маховик с магнитной смазкой (варианты): по заявке № 2017129257 : опубл. 19.06.2018 / Белокурова Н. А., Геча В. Я., Захаренко А. Б. – 12 с.
3. Белокурова Н. А., Захаренко А. Б. Выбор схемы намагничивания ротора кольцевого двигателя-маховика / Н. А. Белокурова, А. Б. Захаренко // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2023. – Т. 192. – № 4. – С. 3 – 6.
4. Патент № 2799371 Российская Федерация. Кольцевой двигатель-маховик. по заявке № 2023105104 : опубл.: 05.07.2023 / Белокурова Н. А., Захаренко А. Б. – 13 с.

ПРОЕКТ ПО СОЗДАНИЮ МАЛОБЮДЖЕТНОГО НИЗКООРБИТАЛЬНОГО СТУДЕНЧЕСКОГО МКА ДЗЗ

В. Н. Блинов, В. В. Косицын

*(АО «Государственный космический научно-производственный центр
им. М. В. Хруничева», конструкторское бюро «Салют»
им. В. М. Мясищева, г. Омск)*

Целью настоящего проекта является подготовка инженерных кадров для центра Хруничева путем участия студенческого конструкторского бюро (СКБ) «ОмГТУ, Полет – малое КБ» в пилотном проекте создания летного образца низкоорбитального МКА ДЗЗ. Основным назначением МКА-Демонстратора является демонстрация возможности создания МКА минимальной стоимости для решения задач ДЗЗ, в том числе:

- геопозиционирования стационарных и подвижных радиоисточников, съемка поверхности Земли в видимом диапазоне;
- съемки поверхности Земли в видимом диапазоне в панхроматическом (не более 1 м) и мультиспектральном (не более 2,5 м) режимах;
- возможности создания приборов бортовой аппаратуры МКА с использованием ЭРИ класса industrial и покупных функциональных блоков общепромышленного назначения.

Определена этапность создания МКА по принципу «от простого к сложному»:

1. Вариант № 1 (МКА 80ПС1): МКА ДЗЗ с целевой аппаратурой геопозиционирования стационарных и подвижных радиоисточников, съемка поверхности Земли в видимом диапазоне.

2. Вариант № 2 (МКА 80ПС2): МКА ДЗЗ с оптико-электронным комплексом съемки поверхности Земли в видимом диапазоне с разрешением менее 1 м в панхроматическом режиме, менее 2,5 м в мультиспектральном режиме.

Сформулированы следующие принципы создания МКА:

– МКА создается как экспериментальный с минимальной стоимостью на этапе серийного изготовления (основной критерий при формировании состава и систем), ожидаемая стоимость серийного образца составляет не более 12 млн рублей, при этом масса МКА не минимизируется и определяется в ходе работ;

– выведение МКА осуществляется на РН «Ангара-1.2» (попутный запуск, боковое крепление в составе адаптера);

– требования к гарантийному сроку активного существования МКА не предъявляются, ожидаемый срок активного существования МКА – 3 года;

– требования Положения РК-11-КТ не предъявляются, наземная экспериментальная отработка МКА-Демонстратора проводится в минимальном объеме на штатном МКА в объеме комплексной программы экспериментальной отработки;

– МКА создается на основе рабочей 3D-модели. 3D-модель является первичным источником информации и используется на всех этапах жизненного цикла (при изготовлении, сборке, испытаниях, эксплуатации). Чертежная документация выпускается в минимальном объеме.

Параметры орбиты функционирования:

- высота орбиты для съемки поверхности Земли в видимом диапазоне – 380 – 400 км, для геопозиционирования – 550 км;
- солнечно-синхронная орбита.

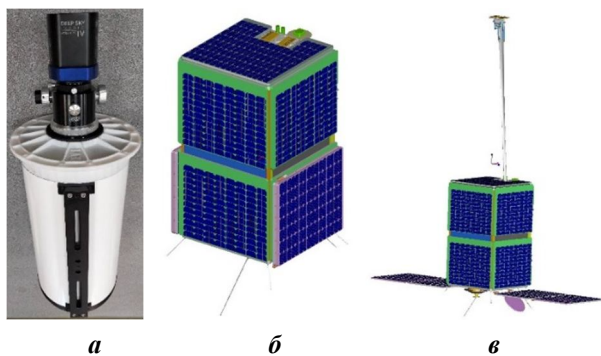
Концептуальный подход к созданию МКА с ОЭК основан на использовании покупной оптической трубы, покупной астрокамеры, их дооснащения и конструктивной доработке с целью адаптации в составе МКА. Принятый подход обеспечивает снижение стоимости создаваемого ОЭК.

Основу создания МКА составляет многоцелевой (унифицированный) подход к формированию облика МКА в виде множества значений вектора проектно-конструктивных параметров $\{SMKA_i\}$, определяющих структурный состав МКА:

$$\{SMKA_i\}: SB \times SI_i \times SK_i, \quad (1)$$

где SB – множество значений параметров, определяющих базовую структуру (состав) служебной платформы, используемую при решении всех принятых целевых задач – Ц1, Ц2; SI_i – множество значений параметров, определяющих комплектующие структуры в виде целевой аппаратуры Ц1 или Ц2; SK_i – множество значений параметров, определяющих комплектующие структуры при решении отдельных целевых задач.

Помимо ОЭК, проектный облик маневрирующей низкоорбитальной платформы ДЗЗ в основном определяется электротермической двигательной установкой, гравитационным устройством, расположением стационарных и раскрывающихся солнечных панелей, расположением и видом боковой системы отделения (рисунок).



Проектный облик МКА с ОЭК

ИННОВАЦИОННАЯ ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ДУГООБРАЗОВАНИЮ

Ю. А. Иванова, В. Д. Власов,
А. И. Груздев, Д. Ю. Носов
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Разработаны инновационные технические решения, повышающие устойчивость к дугообразованию высоковольтных систем электроснабжения космических аппаратов. В системе электроснабжения аккумуляторная батарея выполнена из соединенных последовательно аккумуляторных модулей и используется как основной источник электрической энергии на борту космического аппарата. При этом солнечная батарея непосредственно не подключена к бортовой шине электропитания, а разделена на отдельные низковольтные солнечные генераторы, выполняющие функцию подзарядных устройств для аккумуляторных модулей. Благодаря низкому рабочему напряжению (не более 5 – 10 В) исключается возможность электрического пробоя и дугообразования в аккумуляторных модулях и солнечной батарее.

Ключевые слова: космический аппарат, высоковольтная система электроснабжения, аккумуляторная батарея, солнечная батарея, электрический пробой, дугообразование.

Для проектирования системы электроснабжения (СЭС) космического аппарата (КА) в [1] предложено использовать аккумуляторную батарею (АБ), состоящую из соединенных последовательно аккумуляторных модулей (АМ), к каждому из которых через диодную развязку подключен свой солнечный генератор (СГ), конструктивно интегрированных в солнечную батарею (БС), но электрически непосредственно не соединенных между собой и с бортовой шиной электропитания. Бортовая аппаратура подключена к выходу АБ, которая в СЭС является не электрическим накопителем, а основным источником электроэнергии на всех участках орбиты КА. При этом СГ используются как подзарядные устройства, а алгоритм работы СЭС предполагает поддержание не одновиткового, а суточного энергобаланса.

Для построения АБ используются малогабаритные литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), снабженные встроенным одноразовым механическим размыкателем токовой цепи CID (Current Interrupt Device) и соединенные в АМ по параллельной или последовательно-параллельной (2SnP) схеме. БС построено

ны на основе трехпереходных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе структуры InGaP2/InGaAs/Ge. Диодная развязка реализована на диодах Шоттки, соединенных по последовательно-параллельной схеме и размещенных на посадочной поверхности совместно в АБ.

Использование такой конфигурации СЭС позволяет:

- за счет многократного уменьшения количества последовательно соединенных ФЭП и, соответственно, снижения рабочих напряжений, избежать электрического пробоя и дугообразования в СГ;

- исключить, благодаря параллельному подключению большого количества ЛИА в АМ, возможность появления в них дуговых разрядов, в том числе и при отказах ЛИА, связанных со срабатыванием встроенных в них одноразовых механических прерывателей силовой цепи, которые могут иметь место уже при напряжениях выше 17 В [2].

Проведенное в [3] математическое моделирование работы такой СЭС показало, что за счет индивидуального подзаряда каждого АМ от своего СГ имеет место автоматическая балансировка их напряжений, что позволяет в АБ, не имеющей электронных блоков выравнивания, полностью решить проблемы появления разбаланса напряжений, связанного с различиями в токах саморазряда единичных ЛИА.

Снижение напряженности электрического поля ниже порога дугообразования в конструктивных элементах АБ достигается ее построением по блочному принципу и обеспечением при их проектировании безопасных расстояний между элементами с большой разницей электрических потенциалов.

Литература

1. Патент № 2778262 Российская Федерация. Система электроснабжения космического аппарата: опублик. 17.08.2022 / Груздев А. И., Давыдов С. В., Прокофьев Е. Н., Пушко С. В., Шевцов М. С.
2. Klein E. New approach for controlling a cell soft short failure in a Li-ion spacecraft battery / E. Klein ; Thales AleniaSpace // Ref. 0005-0008989790 – NASA Aerospace Battery Workshop, 14 – 16/11/2017. – DOI : 10.13140/RG.2.2.35564.46724.
3. Груздев А. И. Система электроснабжения космического аппарата с распределенной модульной структурой на базе фотоэлектрических преобразователей, интегрированных с литий-ионными аккумуляторами / А. И. Груздев, М. С. Шевцов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2022. – Т. 189. – № 4. – С. 15 – 20.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ВАРИАНТА ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ

Е.А. Федюнина, Е.С. Кузнецова
(АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва)

В работе представлена многокритериальная модель оценки и выбора варианта хранения электронной структуры изделия (ЭСИ). Приведены оцениваемые критерии и возможные варианты хранения. Проведена нормированная оценка альтернатив, определены весовые коэффициенты для критериев и разработана оценка альтернатив методом простого аддитивного взвешивания для выбора варианта хранения ЭСИ бортовой аппаратуры. Таким образом выбор варианта хранения был математически обоснован.

Ключевые слова: ЭСИ, версионирование ЭСИ, метод простого аддитивного взвешивания.

В процессе использования ЭСИ при проектировании и производстве изделий бортовых информационных комплексов и средств наблюдения появилась необходимость в хранении ранее созданных версий ЭСИ для возможности отслеживания состава изделия на определенную дату и упрощения процесса закупки электронных компонентов.

Была проведена многокритериальная оценка методом простого аддитивного взвешивания (SAW). Основным преимуществом метода является компенсирование низких оценок объекта одной части критерием, высокими оценками в другой. Суть метода заключается в анализе альтернатив, присвоении веса критериям, их нормирование и составление рейтинга альтернатив на основании ранжирования значений, полученных путем перемножения значений критериев с их весами. Получившийся рейтинг позволяет принять решение в пользу той или иной альтернативы. При составлении рейтинга применяются показатели, которые выбираются методом экспертной оценки: эксперты, основываясь на 5-бальной шкале, выставляют оценки тому или иному критерию. Применяется алгоритм расчета методом SAW, состоящий из трёх этапов [5, 6].

На первом этапе была проведена оценка альтернатив. Оценены критерии для альтернатив по пятибалльной шкале от 1 до 5, где 1 – функциональная возможность отсутствует, а 5 – присутствует.

На втором этапе было проведено нормирование значений с использованием формулы максимизации критериев.

Этап 3.

На третьем этапе на основании экспертной оценки были выведены новые коэффициенты для критериев, а также подсчитаны значения оценок с учетом выделенных весовых коэффициентов. Данные представлены в таблице.

Так, самым оптимальным вариантом считается альтернатива, которой соответствует наибольшее значение рейтинга. Максимальное значение рейтинга – 0,75 указывает, что версионирование ЭСИ является самым оптимальным вариантом для решения поставленной проблемы.

Анализ альтернатив позволил выделить ключевые аспекты, что позволило сформировать общее представление о требуемом функционале и наметить дальнейшие пути развития использования ЭСИ.

Таблица

Оценка альтернатив с учётом весовых коэффициентов

Альтернатива	Без ЭСИ	Хранение только архивной версии ЭСИ	Хранение всех версий ЭСИ	Версионирование ЭСИ
Критерий	Оценка	Оценка	Оценка	Оценка
Возможность сравнения версий документа	0,00	0,00	0,15	0,15
Возможность выгрузки в закупку элементов спецификации	0,00	0,30	0,00	0,30
Возможность проследить историю изменений документа	0,00	0,00	0,00	0,05
Возможность ремонта ранее изготовленных изделий	0,00	0,00	0,25	0,00
Возможность проводить верификацию и согласовывать документы в электронной форме	0,00	0,15	0,25	0,25
Рейтинг	0,00	0,45	0,65	0,75

Таким образом, применение метода простого аддитивного взвешивания позволило математически обосновать выбор варианта хранения ЭСИ б изделий бортовых информационных комплексов и средств наблюдения. Это поз-

волило изменить вариант хранения ЭСИ в организации, таким образом были расширены возможности использования ЭСИ. Особыми преимуществами стали: возможность сравнений версий документов методом сравнения ЭСИ, возможность проследить историю изменений состава изделия и возможность согласования документов в электронной форме.

Литература

1. Разработка алгоритма процесса согласования документов в 1С:PLM / Е. С. Кузнецова, Е. А. Федюнина, И. А. Орлов, П.Е. Чукин // Электронные информационные системы, Москва, 2022, 1, с. 48 – 59.
2. Федюнина Е. А., Кузнецова Е. С. Согласование извещений об изменении технологических документов с помощью PLM систем // Актуальные проблемы информатизации в цифровой экономике и научных исследованиях. Международная научно-практическая конференция. Тезисы докладов, Москва, 2021, с. 47.
3. Автоматизация процесса закладки конструкторских документов в архив методом интеграции в 1С:PLM / Е. С. Кузнецова, Е. А. Федюнина, И. А. Орлов, П. Е. Чукин // Тезисы докладов V Всероссийской научно-технической конференции «Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами», Москва, 2022, с. 124 – 126.
4. Федюнина Е. А., Archive automation using PLM system // Научно-практическая онлайн конференция-конкурс на английском языке на тему «Crucial issues of science and technology». Материалы конференции, Москва, 2021, с. 57.
5. Herrera F., Martínez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. IEEE Transactions on fuzzy systems, vol. 8, i. 6, pp. 746 – 52.
6. Wei Cuiping, Huchang Liao. A Multigranularity Linguistic Group Decision-Making Method Based on Hesitant 2-Tuple Sets. International Journal of Intelligent Systems. Vol. 31, i. 6, pp. 612 – 634.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ АФС КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Ю. П. Борщев

(АО «НПО Лавочкина», г. Химки)

Введение

Создание эффективной и конкурентной космической техники в современных условиях требует разработки и внедрения новых технологий и материалов, которые позволят специалистам решать задачи проектирования и изготовления изделий, конструкция которых максимально соответствует требованиям функциональности, а сами изделия имеют минимальную массу, высокие качественные характеристики и низкую стоимость.

Наибольшим потенциалом для достижения указанной цели обладает аддитивная технология СЛС. Основное преимущество СЛС: возможность единичного и мелкосерийного изготовления элементов АФС при кратном сокращении цикла и стоимости изготовления относительно существующих технологий.

Таким образом, внедрение технологии СЛС в производство элементов АФС является актуальным.

Содержание работы

Проведен анализ существующего состояния разработки и изготовления элементов АФС КА, оценена возможность применения технологии СЛС:

- выбран и паспортизирован отечественный материал для изготовления элементов АФС КА;
- проведены исследования влияния шероховатости поверхностей каналов волноводов, изготовленных с применением технологии СЛС на их РТХ;
- разработана комплексная методика проектирования и изготовления элементов АФС КА с применением технологии СЛС и проведена ее апробация на примере рупорной антенны с эллиптическим поляризатором.

Изготовлены элементы АФС КА (рупорная антенна с эллиптическим поляризатором, коническая спиральная антенна, угловые волноводы), проведен анализ технико-экономической эффективности применения технологии СЛС.

Заключение

При выполнении работы получены следующие результаты:

- РТХ изготовленных изделий соответствуют ТЗ;

- для определенных типоразмеров волноводов шероховатость каналов не требует дополнительной обработки;
- масса изделий снижена на 25 – 40 %;
- трудоемкость и цикл производства снижены в 1,5 – 3 раза.

Литература

1. Борщев Ю. П. Опыт применения технологии селективного лазерного сплавления при изготовлении элементов антенно-фидерных устройств космических аппаратов / Ю. П. Борщев // V Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее» (22 марта 2019 г.) : сборник материалов конференции. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов. – С. 29 – 38.
2. Патент RU2778279 С1 Российская Федерация. Рупорная антенна с эллиптическим поляризатором: дата регистрации 17.08.2022 / Борщев Ю. П., Камышанов И. В., Макушев Д. И.
3. Борщев Ю. П. Изучение свойств материала, получаемого методом селективного лазерного сплавления металлопорошковой композиции $AlSi10Mg$, на примере изготовления волноводов / Борщев Ю. П., Сысоев В. К., Камышанов И. В. // Вестник МАИ. – 2023. – № 2.
4. Борщев Ю. П., Сысоев В. К. Интегрированная методика проектирования элементов антенно-фидерных систем космических аппаратов и технологических процессов их изготовления с применением селективного лазерного сплавления / Ю. П. Борщев, В. К. Сысоев // Вестник Московского авиационного института. – 2022. – Т. 29. – № 2. – С. 35 – 44.
5. Ермаков А. С. Опыт 3D-печати элементов волноводных СВЧ-трактов и рупорных антенн диапазона 8,5 – 31 ГГц / А. С. Ермаков, В. Калинин, А. Нисан, Е. Потапов, А. Фролова // Вектор высоких технологий. – 2018. – №2. – С. 8 – 13.
6. Тюлин А. Е. Применение 3D-печати для изготовления элементов радиоэлектронной аппаратуры космического назначения / А. Е. Тюлин, Г. А. Ерохин и др. // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2022. – Т. 9. – Вып. 3. – С. 76 – 90.

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОРИЕНТАЦИИ ПО ЗВЕЗДАМ

В. В. Барке, А. А. Венкстерн, В. А. Котцов

(Институт космических исследований РАН, г. Москва)

Определение ориентации по звездам имеет долгую историю. Однако появление твердотельных матричных фотоприемников произвело революцию в создании и применении приборов звездной ориентации. Определение ориентации выполняют сегодня автономно, используя для этого современные компьютерные технологии с отождествлением конфигураций звезд наблюдаемых на получаемых изображениях. Для этого звездные датчики снабжены входным оптико-электронным узлом и процессорным блоком с бортовым каталогом звездных данных. Но некоторые технологические проблемы достались в наследство от старых методов работы с астроприборами [1].

Наиболее значимую проблему вызывает необходимость выполнения перебора при поиске звезд в бортовом каталоге, хотя мы сразу и легко узнаем созвездия на небе. Минимальное созвездие составят любые три близкие звезды, а его определяющими признаками будут расстояния между звездами в треугольнике. Они однозначно определяют его положение в трехмерном признаковом пространстве расстояний и не требуют для этого перебора данных бортового каталога при поиске [2].

Бортовой каталог содержит большой объем информации о звездах допустимой звездной величины. Структура такого каталога звезд требует значительного места в памяти для его хранения, хотя сами звезды на небе существенно разрежены. Заметим, что наблюдаемые межзвездные расстояния всегда будут ограничены углом поля зрения входной оптики. Это ограничивает и размеры допустимого признакового пространства расстояний. Тогда переход к модулярным оценкам по модулю выбранного оптимального числа, позволил уменьшить необходимый объем хранения данных в бортовом каталоге. Для экспериментальных данных было получено его уменьшение более чем в двадцать раз [3].

Еще одну проблему составляет противоречие между выбором размера поля зрения необходимого для быстрого определения ориентации по ярким звездам и выбором достаточного увеличения изображения неба для получения требуемой точности ориентации. Для повышения точности ориентации необходимо увеличить масштаб формируемого изображения неба, соответственно умень-

шив поле зрения, что требует использовать наблюдения звезд меньшей яркости. При этом требуемый размер бортового каталога увеличится в разы.

Эта проблема решается при получении двух изображений с разным полем зрения и масштабом, а затем двухэтапном определении по ним ориентации. Сначала ее предварительно определяют по ярким звездам, а затем по полученным данным для изображения с большим разрешением ограничивают область поиска в дополнительном каталоге слабых звезд. Затем по полученным данным уточняют ориентацию [4].

Эффективность предложенных решений подтверждается результатами экспериментальной проверки, полученной при наблюдениях реальных звезд.

Литература

1. Воробьев Л. М. Астрономическая навигация летательных аппаратов / Л. М. Воробьев. – Москва: Машиностроение, 1968. – 280 с.
2. Патент № 638077 Российской Федерации. Способ определения ориентации по изображениям участков звездного неба / Барке В. В., Венкстерн А. А., Захаров А. И., Котцов В. А.
3. Патент № 2749580 Российская Федерация. Способ определения ориентации по изображениям участков звездного неба / Барке В. В., Венкстерн А. А., Котцов В. А.
4. Заявка на изобретение № 2023106081/28 от 15.03.2023 с положительным решением от 06.06.2023. Способ определения ориентации по изображениям участков звездного неба / Барке В. В., Венкстерн А. А., Котцов В. А.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО СРОКА СУЩЕСТВОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Н. И. Сидняев, Э. Баттулга

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

Доклад посвящен достаточно актуальной теме, а именно методам математической статистики, позволяющим следить за качеством космических систем в ходе ее производства и заблаговременно сигнализировать о возможных нарушениях при контроле качества. Статистико-математические методы контроля дают возможность контролировать непосредственно самый ход производства космических аппаратов с точки зрения его устойчивости в соблюдении заданных технических условий и на основании непрерывного наблюдения за качеством изготавливаемой продукции упреждать дефекты [1]. Это предупреждение брака возможно потому, что статистический метод контроля указывает на необходимость вмешательства в производственный процесс тогда, когда количество дефектов еще не возросло, когда выпускаемая продукция удовлетворяет техническим условиям КА, но когда определенные статистические характеристики дают основание подозревать появление систематических ошибок, нарушающих устойчивое состояние процесса. Такое предупреждение брака особенно важно в высокотехнологичном производстве космических аппаратов при изготовлении деталей, где задача контроля заключается в том, чтобы не допускать просачивания дефектных деталей. Кроме того, статистико-математические методы позволяют надежно пользоваться выборочным контролем и получать достаточно обоснованные выводы относительно всего парка КА, исходя из данных анализа сравнительно небольшой выборки. Уменьшение объема выборки удешевляет организацию контроля и позволяет более тщательно производить отдельные измерения, что приводит часто к лучшим результатам, чем сплошной контроль. Если процесс производства приведен в устойчивое состояние, то методы математической статистики довольно эффективно используются для того, чтобы заблаговременно определить возможные нарушения этого состояния. При испытаниях космической техники наиболее типичными являются многократно усеченные планы, когда некоторые изделия РКТ снимают с испытаний еще до

исчерпания ресурса или до достижения предельного состояния. Прогнозирование ресурса изделий КС по ресурсным отказам представляет наибольшие трудности именно при многократно усеченных планах испытаний. В этом случае моменты отказов объектов КС и моменты устранения с испытаний не отказавших объектов образуют многократно усеченную выборку.

Наиболее распространенными методами сценки ресурса по многократно усеченным выборкам являются метод Джонсона и метод максимума правдоподобия. Метод Джонсона рассчитан на ручной счет. Вместе с положительными сторонами у него есть и недостаток, заключающийся в том, что он не учитывает конкретные моменты снятия с испытаний неотказавших объектов КС, а использует только расположение их наработок между конкретными наработками отказавших КА.

Все методы определения характеристик ресурса по результатам испытаний (наблюдений) можно разделить на параметрические и непараметрические. Параметрические методы предполагают известным вид закона распределения ресурса, а отыскиваются только параметры закона распределения. Параметрические методы определения характеристик ресурса позволяют оценивать как гамма-ресурс, так и средний ресурс. В непараметрических методах определения характеристик ресурса невозможно оценить средний ресурс по результатам усеченных или многократно усеченных испытаний (наблюдений), поскольку невозможно оценить характеристики ресурса снятых с испытаний изделий КС. Но, пользуясь непараметрическими методами, можно оценить гамма-ресурс. Метод является развитием метода нахождения оценок гамма-ресурса, изложенного в ГОСТ 70.23.2.8-73.

Параметрические методы могут быть рассчитаны как на использование ручного счета, так и на использование компьютерной обработки. В свою очередь параметрические методы, рассчитанные на применение ручного счета, могут быть графическими и аналитическими. В графических методах широко применяется вероятностная сетка для нормального закона и для закона Вейбулла, для экспоненциального закона.

Аналитические методы для ручного счета основываются на следующем положении. Выбирают такое количество наработок, сколько неизвестных параметров в распределении. Находят эмпирические частности, где количество исчерпавших ресурс объектов КС в интервале наработки. После этого решают систему уравнений. В этой системе количество уравнений равно количеству неизвестных параметров в распределении, а теоретическая функция рас-

пределению ресурса. Следует отметить, что такой способ применим только к полным и усеченным выборкам.

Литература

1. Макриденко Л. А. Обзор космических факторов влияющих на эксплуатационные характеристики низкоорбитальных спутников / Л. А. Макриденко, В. Я. Геча, Н. И. Сидняев, В. В. Онуфриев // Проблемы создания и применения малых космических аппаратов и робототехнических средств в интересах Вооруженных сил Российской Федерации : Труды Всероссийской научно-практической конференции (12-13 апреля 2016г.) / под общ. ред. Ю. В. Кулешова. – Спб.: ВКА им А. Ф. Можайского, 2016. – Т. 2. – С. 234 – 239.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ СУЩЕСТВОВАНИЯ НА СВЕРХНИЗКИХ ОРБИТАХ

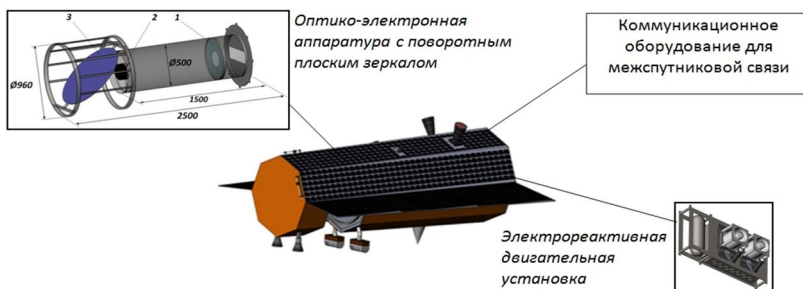
В. В. Волоцуев

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

К настоящему времени прослеживается тенденция размещения космических аппаратов (КА) с оптико-электронной аппаратурой наблюдения на рабочих орбитах в диапазоне высот от пятисот до семисот километров. При этом для получения космических снимков сверхвысокого разрешения диаметр апертур оптических систем варьируется от полуметра до метра [1]. Альтернативой может быть вариант размещения КА на сверхнизких орбитах с высотой порядка 250 – 300 км. Снижение высоты полета спутника позволяет снизить массогабаритные характеристики оптической системы наблюдения для получения снимков сверхвысокого разрешения.

На орбитах с высотами порядка 300 км ощутимо аэродинамическое сопротивление остаточной атмосферы Земли, которое приводит к эволюции параметров орбиты в сторону уменьшения радиуса орбиты. Для обеспечения длительного существования КА на указанных орбитах, в процессе разработки следует учитывать влияние остаточной атмосферы на проектный облик спутника.

Одним из вариантов реализации является КА продольно-вытянутой геометрической формы, ориентированный продольной осью вдоль трансверсальной оси орбитальной системы координат в процессе всего срока существования. Для размещения на таком КА подходит оптическая система с поворотным зеркалом переотражения (рисунок), которая при диаметре апертуры порядка полуметра позволяет получать снимки со сверхвысоким пространственным разрешением.



Проектный облик сверхнизкоорбитального КА ДЗЗ

Для поддержания радиуса орбиты предлагается использовать электрореактивную двигательную установку (ЭРДУ). Проведенный анализ показывает, что в большинстве случаев для поддержания радиуса низкой орбиты высотой порядка 300 км в течение 5 – 7 лет достаточно ЭРДУ с силой тяги не более 20 мН и запасом рабочего тела (ксенона, криптона) не более 50 кг.

Литература

1. Бакланов А. И. Новые горизонты космических систем оптико-электронного наблюдения Земли высокого разрешения / А. И. Бакланов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2018. – Т. 5. – Вып. 3. – С. 17 – 28.

УГЛОВАЯ ПРИВЯЗКА ОСИ ВИЗИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КА К СИСТЕМЕ КООРДИНАТ, ФОРМИРУЕМОЙ ПО ИНФОРМАЦИИ ПРИБОРОВ ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

В. И. Федосеев

*(А О «Научно-производственное предприятие
«Геофизика-Космос», г. Москва)*

Сегодня решение проблемы геодезической привязки объектов, наблюдаемых целевой аппаратурой (ЦА) КА в системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), достигается комплексированием информации от различных измерителей угловой ориентации спутника, включая приборы звездной ориентации, результатов навигационных измерений, уточнением параметров целевой аппаратуры в полете с использованием опорных наземных полигонов [1].

По материалам [1] достигнутая погрешность геодезической привязки изображения, регистрируемого системой ДЗЗ, сегодня находится на уровне 6 – 8 м, что в пересчете в угловую меру составит 2,5 – 3,5 угл. с. При этом процедура такой привязки включает ряд сложных технических, метрологических и организационных мероприятий с использованием специального оборудования опорных наземных полигонов.

Представляется, что эта процедура может быть упрощена, если обеспечить на борту КА точную угловую привязку оси визирования целевой аппаратуры и системы координат звездного прибора (ЗП). Для этого может быть использован существующий в наиболее точных ЗП канал геометрического эталонирования (КГЭ), работающий по внешнему источнику. Внутренний КГЭ в ЗП сегодня служит для оперативного определения поправок к отсчетам, снимаемым с фотоприемного тракта, с целью учета их изменения в процессе эксплуатации.

В настоящее время сопряжение оси визирования ЦА с системой координат ЗП обеспечивается путем жесткой механической установки ЗП относительно корпуса ЦА, точного измерения углов начальной установки на заводе-изготовителе КА и в отдельных случаях введением дополнительных поправок к этим углам по результатам комплекса измерений в полете, включая измерения по наземным опорным полигонам. В новом варианте предлагается формировать в полете поправки к углам взаимной установки ЦА и ЗП, а также к уходу при эксплуатации отдельных элементов ЦА, средствами самого ЗП, используя при этом уже существующие элементы внутренней калибровки ЗП и специально введенный в ЦА калибровочный элемент.

Для оценки возможности построения такой системы и выработки конкретных технических требований в этой части к ЗП и ЦА целесообразно проведение совместной научно-исследовательской работы с участием предприятий-разработчиков звездных приборов и целевой аппаратуры.

Литература

1. Ахметов Р. Н. Современные направления развития наземных средств обработки данных от систем ДЗЗ разработки ракетно-космического центра «Прогресс» / Р. Н. Ахметов, В. В. Еремеев и др. // Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного наблюдения Земли: сб. мат. конференции (Крым, Алушта, 16 – 21 сентября 2018). – С. 24 – 31.

ЭВОЛЮЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КА ДЗЗ

М. С. Бородин, М. Ю. Жиленев
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

За последние 50 лет становления и развития космических средств оптико-электронного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) существенно изменилась методология задания требований к системам ориентации и стабилизации (СОС), обеспечивающим условия функционирования целевой аппаратуры. Это вызвано расширением перечня задач, решаемых с помощью оптико-электронного ДЗЗ.

На начальном этапе (70 – 80-е года XX века) требования по точности ориентации и стабилизации космических платформ определялись исходя из сопоставимости на частоте Найквиста значений функции передачи модуляции (ФПМ) оптико-электронного приемника (ОЭП), обусловленной отклонением движения изображения от номинального, и ФПМ, обусловленной влиянием дискретностью преобразования оптического сигнала в электрический. При таком подходе допустимый сдвиг изображения составлял $1/3$ пикселя за время накопления заряда, что в пересчете с учетом размера пикселя, числа шагов накопления и фокусного расстояния позволяло задать погрешности ориентации и стабилизации.

Дальнейшее развитие методологии было связано с учетом всех составляющих ФПМ сквозного информационного тракта (СИТ) приема и обработки оптического сигнала, передаче его в закодированном виде и конечном отображении на наземных средствах [1, 2]. Предельно допустимое значение ФПМ СИТ и его составляющей, обусловленной смещением изображения из-за погрешности ориентации и стабилизации, определялось из условий обеспечения требуемого соотношения сигнал – шум, обеспечивающего заданную вероятность распознавания тестовой миры. Такой подход повышает требования к смещению изображения, типовые значения которого составляют от $1/4$ до $1/10$ размера пикселя, что ужесточает соответственно требования к системе ориентации и стабилизации.

На современном этапе широкое применение мультиспектральной аппаратуры, методов индексной классификации и других методов дешифрирования снимков местности должно обеспечивать метрическую точность кодов ярко-

сти изображения [3, 4]. Метричность оцифрованного изображения может быть обеспечена в том числе путем выполнения требований по точности ориентации и стабилизации космического аппарата. Один из возможных методов задания требований по ориентации и стабилизации основан на оценке сопоставимости погрешности светосигнальной характеристики приемника и недопустимого смещения изображения при мультиспектральной съемке. Такой подход дает ограничения на сдвиг изображения в диапазоне от 1/10 до 1/20 пиксела, что накладывает еще более жесткие требования на точность ориентации и стабилизации.

Эволюция рассмотренной методологии наглядно отражается на примере характеристик ряда космических аппаратов зарубежного и отечественного производства.

Для достижения точности ориентации и стабилизации, обеспечивающей эффективное применение современной оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ, должно быть выполнены как оснащение СОС высокоточными датчиками и исполнительными органами с высоким временным разрешением, так и реализация в вычислительных средствах СОС алгоритмов прецизионного сканирования земной поверхности [5, 6].

Литература

1. А. С. Батраков. Математическая модель для прогнозирования линейного разрешения космических оптико-электронных систем дистанционного зондирования. «Оптический журнал» том 67, № 7 с. 92 – 97, 2000 г.
2. Pléiades Imagery – User Guide. Airbus Defence and Space Intelligence. Ustrphr-dt-125-Spot-2.0. October 18, 2012 (2018). 106 p. p. 72.
3. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. М.: «Техносфера», 2010 г., – 560с, 32 с цв. вкл.
4. Жиленев М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинации при цифровой обработке. Журнал «Геоматика», № 3, 2009.
5. Бородин М. С. Технология трехосного сканирования в оптико-электронной космической съемке // Космонавтика и ракетостроение. № 2, 2008.
6. Геча В. Я., Жиленев М. Ю., Федоров В. Б., Хрычев Д. А., Худак Ю. И., Шатина А. В. Поле скоростей движения точек изображения при орбитальной съемке поверхности планеты. // Российский технологический журнал 2020; 8(1):97 – 109. ISSN 2500-316X (Online)

ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГРАФИТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА

Н. И. Сидняев, Л. С. Складчинский

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

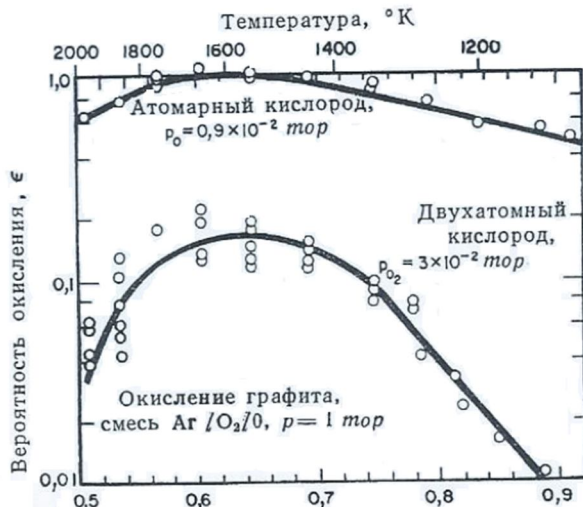
В докладе представлены результаты расчетов поведения аблирующей тепловой защиты из графита и коксующихся пластиков при входе космических аппаратов в плотные слои атмосферы. Принятая физическая модель согласно которой различают три принципиально отличных режима:

- гетерогенно окисление, определяемое скоростью химической реакции;
- гетерогенное окисление, определяемое скоростью диффузии;
- режим сублимации, при котором реакции окисления графита «оттеснены» от поверхности.

Среди тех предположений, которые обычно используют для анализа положения и структуры зоны перехода от определяющей роли химических реакций к определяющей роли диффузии при гетерогенном окислении, особенно ведут себя два предположения, а именно: первое предположение о том, что поведение удельной реакционной способности графита описывается простым законом Аррениуса и второе предположение о том, что атомы кислорода не играют никакой роли в кинетике окисления графита. В докладе отмечено, что отход от них приводит значительным эффектам, особенно для случая входа в атмосферу с орбиты спутника Земли при наличии подъемной силы, так как значительная часть траектории космических аппаратов при входе в атмосферу лежит в кинетическо-диффузионном режиме. Преждевременное попадание в область режима, при котором определяющую роль играет диффузия, получается лишь по оценкам, которые выполнены с использованием нереального верхнего предела для реакционной способности коммерческого графита в атмосфере O_2 . В подтверждение этого факта можно заметить, что вероятность окисления ϵ , соответствующая такой «быстрой» кинетике, при температурах поверхности порядка 1200 К превышает единицу. В действительности ϵ по величине не может превышать числа порядка единицы, и, следовательно, простой закон Аррениуса нельзя использовать до таких температур. Предположение о том, что атомы О, если они присутствуют, не должны играть роли в кинетике противоречит имеющимся данным [1] для этой и аналогичных поверхностных реакций. Действительно, для входящих в атмосфе-

ру космических аппаратов, которые охлаждаются за счет излучения, ожидается, что концентрация атомов О на поверхности раздела газ – твердое тело будет неравновесной, так как рекомбинация атомов кислорода внутри пограничного слоя будет несущественной вследствие как низкой плотности, так и высокой температуры поверхности. По этим причинам авторами было начато изучение действительной кинетики окисления графита и связанных с ним теплозащитных материалов атомами и молекулами кислорода при высоких температурах.

На рисунке показаны предварительные результаты для температурной зависимости вероятности окисления ϵ , которая определяется здесь как отношение потока атомов углерода (независимо от того, в виде какого химического соединения они находятся), направленного от поверхности, к потоку атомов О или молекул O_2 , соударяющихся с поверхностью. На нижней оси отложена величина $10^3/T, K^{-1}$, на верхней – температура, К, по оси ординат – вероятность окисления. Эти данные предполагают, что значения скорости реакции $C + O$ (атомы) при низких температурах, приведенные в работе [1] занижены более чем на порядок. Падающие атомы О либо рекомбинируют, либо отражаются, либо приводят к окислению, поэтому очевидно, что при увеличении температуры поверхности графита окисление становится наиболее благоприятным путем реакции.



Вероятность окисления для разрушения графита под воздействием атомарного и молекулярного кислорода

Очевидно, что в пределах указанного диапазона изменения температуры вероятность удаления углерода в результате соударений атомов О более чем в 300 раз превышает аналогичную вероятность для случая соударений атомов N, что приводит к образованию в основном C_2N_2 .

Представленные предварительные результаты, помимо того, что они имеют отношение к поведению тепловой защиты возвращаемых космических аппаратов и к проблемам моделирования входа в атмосферу, применимы также к возвращаемым баллистическим аппаратам, особенно в связи с проблемой обнаружения на больших высотах. Полученные данные, которые не искажены влиянием газодинамических параметров и параметров переноса, необходимы для того, чтобы создать основу для более реалистичных расчетов абляции теплозащитных материалов.

Литература

1. Сидняев Н. И. Аккомодационные факторы и механизмы разрушения композиционного материала на основе углерода и керамики / Н. И. Сидняев // Теоретическая и математическая физика. – Т. 213, №3. – С. 555 – 578. – DOI: <https://doi.org/10.4213/tmf10322>.

ОБТЕКАНИЕ ИОНОСФЕРНЫМ ПОТОКОМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Н. И. Сидняев

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

В статье изучается влияние электромагнитного поля космического пространства на космические аппараты. Получены аналитические зависимости для энергии, излучаемой спутником с учетом направления распространения волн Альвена. Постулируется, что линейный член в уравнении энергии влияет на индукцию при произвольном законе распределения тока в спутнике в электромагнитном поле. Доказано, что при движении спутника на средних высотах распределение тока в магнитосферной плазме может быть удовлетворительно аппроксимировано отрезками прямых линий с максимумом в точке нулевого потенциала, причем индуцированные компоненты магнитного поля можно определить интегрированием. Определена индуцированная компонента магнитного поля. Отмечено, что в отсутствие диссипации энергии полная энергия излучения выражается в виде произведения скорости спутника на индуктивное сопротивление.

Ключевые слова: космический аппарат, температура, давление, вакуум, энергия, скорость, спутник, ионосфера, волны, сопротивление, электроны, энергия, метод.

Введение

В космическом пространстве на КА в полете воздействует обширный комплекс факторов: потоки нейтральных атомов (О): $F \approx 10^{18} - 10^{20} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при вакууме $P \approx 10^{-4} - 10^{-11} \text{ Па}$ вызывают сублимацию материалов, эрозию и потерю массы полимерных материалов, загрязнение поверхности, рассеяние света в окрестности КА, снижение прочности и надежности оборудования. Вторичные (индуцированные факторы), такие как электризация КА ($0,1 - 10^4 \text{ В}$), объемное заряджение диэлектриков и собственная внутренняя атмосфера КА, вызывает электрические заряды, электромагнитные помехи [1 – 3]. Холодная и горячая космическая плазма в ионосфере, магнитосфере (авроральные области) и плазмосфере Земли, солнечное электромагнитное излучение, электростатическое поле, метеорная материя, твердые частицы искусственного происхождения и другие факторы вызывают разнообразные физико-химические процессы. [13 – 16].

Факторы космического пространства и вызываемые ими эффекты

Факторы космического пространства	Области локализации и происхождения	Вызываемые эффекты
Поток нейтральных атомов (О): $F \sim 10^{18} - 10^{20} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ Вакуум $P \sim 10^{-4} - 10^{-11} \text{ Па}$ Электромагнитное солнечное излучение: $F = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Верхняя атмосфера Земли, межпланетное пространство Межпланетное и околоземное пространство	• Сублимация материалов. • Эрозия и потеря массы полимерных материалов • Усиление потерь массы. • Изменение механических, оптических и электрофизических свойств материалов. • Фотозлектронная эмиссия. • Нагрев, термоциклирование
Холодная плазма: $T \sim 10^3 - 10^5 \text{ К}$ $n \sim 10^6 - 10^{12} \text{ м}^{-3}$	Ионосфера и плазмосфера Земли	• Заряжение материалов: $\varphi \sim 0,1 - 10 \text{ В}$. • Токи утечки. • Свечение в окрестности КА
Плазма межпланетного пространства: $T \sim 10^5 \text{ К}$, $n \sim 10^7 \text{ м}^{-3}$ $v \sim 5 \cdot 10^5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	Солнечный ветер	• То же, что холодная плазма, а также радиационное воздействие на приповерхностные слои материалов
Горячая магнитосферная плазма: $T \sim 10^3 - 10^5 \text{ эВ}$ $n \sim 10^6 \text{ м}^{-3}$	Магнитосфера Земли: область ГСО, плазменный слой, авроральные области	• Заряжение материалов: $\varphi \sim 1 - 30 \text{ кВ}$. • Радиационные эффекты
Электроны и ионы РПЗ: $E \sim 0,1 - 30 \text{ МэВ}$ $F \sim 10^8 - 10^{12} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Область захваченной радиации внутри магнитосферы Земли	• Радиационные эффекты (эффекты дозы и мощности дозы): изменение электрофизических, оптических и механических свойств
Протоны солнечных вспышек: $E \sim 1 - 10^4 \text{ МэВ}$ $F \sim 10^7 - 10^8 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	СКЛ	• Радиационные эффекты
Потоки ядер высоких энергий: $E \sim 10^3 - 10^{14} \text{ МэВ}$ $F \sim 10^2 - 10^4 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	ГКЛ	• Локальные радиационные повреждения. • Сбои в элементах микроэлектроники. • Световые вспышки
Потоки твердых частиц и тел: $F \sim 10^{-4} - 10^{-2} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ $v \sim 10^3 - 10^5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	Метеороиды, газопылевые оболочки ядра комет, космический мусор в ОКП	• Образование кратеров, эрозия поверхности, сквозной пробой стенок. • Образование вторичных продуктов, эмиссионные явления, инициирование электрических разрядов
Вторичные (индуцированные) факторы: • электризация КА $\varphi \sim 0,1 - 10^4 \text{ В}$; • объемное заряджение диэлектриков; • СВА КА; • собственная внутренняя атмосфера КА	Область пространства в окрестности КА, поверхность КА и его внутренние отсеки	• Электрические разряды: электромагнитные помехи, паразитные сигналы в кабелях, разрушение элементов оборудования и конструкции. • Загрязнение поверхности, рассеяние света в окрестности КА, снижение электрической прочности оборудования. • Окисление и коррозия элементов электронного оборудования

Некоторые из воздействующих космических факторов, например, космическая плазма и солнечное ультрафиолетовое излучение, оказывают влияние лишь на приповерхностные слои материалов [4 – 8]. Другие, такие как заряженные частицы высокой энергии вместе с создаваемыми ими в элементах конструкции КА вторичными частицами и квантами, способны проникать глубоко в толщу материалов, а также во внутренние отсеки КА [9 – 12]. При этом воздействие космических микрочастиц может приводить как к постепенному ухудшению свойств материалов и характеристик бортовых систем и, как следствие, – к отказам в работе КА по истечении некоторого периода эксплуатации, так и к возникновению внезапных отказов в работе бортовой аппаратуры, непосредственно сопровождающих воздействие.

Геомагнитную зону заряженных частиц космического излучения называют радиационным поясом (или поясами) Земли. Электроны с энергией 100 кэВ и больше образуют в геомагнитной области две зоны. Эти зоны получили название внутреннего и внешнего естественного радиационного пояса Земли (ЕРПЗ) [3]. Между внутренним и внешним поясами наблюдается пространство в интенсивности потока электронов. Внутренний пояс располагается на высоте от 1000 км над поверхностью Земли до 13000 км. Выше 13000 км и примерно до 65000 км располагается внешний радиационный пояс Земли с максимумом потока электронов ($E > 40$ кэВ) порядка 500000000 частиц/см²с на высоте около 16500 км. Электростатические пояса представляют собой непрерывно изменяющуюся, динамичную систему, состояние которой зависит от состояния солнечной активности и процессов, которые реализуются в настоящий момент в магнитосфере Земли. Экспериментальные данные указывают на то, что увеличение скорости солнечного ветра приводит к увеличению потока высокоэнергичных электронов на границе магнитосферы и усиливается диффузия этих электронов внутрь радиационных поясов (см. рис. 1).

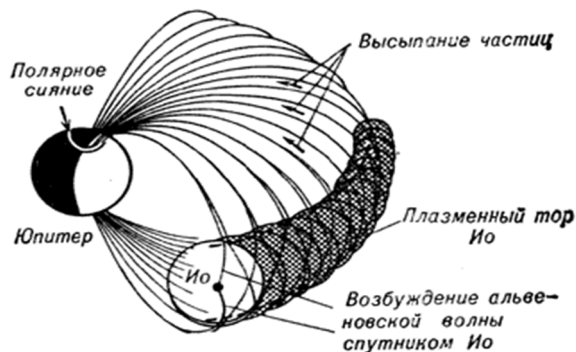


Рис. 1. Схема распределения альвееновской волны в межпланетном пространстве

Ионосфера, часть атмосферы планеты Земля, содержащая в значительном количестве свободные электроны и ионы, появляющиеся под воздействием идущего от Солнца ультрафиолетового излучения и рентгеновских лучей [4 – 6]. Степень ионизации в значительной степени зависит от солнечной активности. Протяженность ионосферы Земли – от 80 км до 1000 км над земной поверхностью (в пределах атмосферы в радиационных поясах Ван Альвена) [2, 3, 9]. Состоит из нескольких условных слоев, которые отличаются степенью концентрации в них электронов. Их принято обозначать по порядку снизу вверх: *D*, *E*, *F1*, *F2*, *G*. В самых нижних слоях *D* и *E* (слои Хевисайда-Кеннелли) ионизации подвергаются молекулы, в то время как в верхнем слое *F* ионизируются атомы [3]. На расстоянии 80 – 100 км над Землей расположен слой, называемый ионосферой, который обладает электропроводимостью (благодаря наличию ионизированных газов).

Целью исследования является выявления механизма возникновения индуцированного сопротивления спутников, а также индуцированных компонент магнитного поля в условиях электризации КА при воздействии вторичных индуцированных факторов.

Поскольку магнитное и электростатическое поля планеты полагаются неподвижными в пространстве, а поверхность спутника вращается относительно геомагнитных и геоэлектрических силовых линий, то униполярная и электродинамическая ЭДС наводится во всех токопроводящих контурах спутника, пересекающих геомагнитные силовые линии. Вполне понятно, что в любом искусственном электропроводном проводнике спутника также будет наводиться униполярная ЭДС. Ее величина зависит от протяжности проводника, параметров геомагнитного поля и от ориентации спутника относительно геомагнитных силовых линий и электростатического поля. Так, при обтекании спутника невозмущенным ионизированным потоком возникает разность давлений над спутником и под ним, в результате часть ионоплазмы на концах спутника перетекает из зоны большего давления в зону меньшего давления. Поток ионосферы перетекает с нижней поверхности спутника на верхнюю и накладывается на ионизированный поток, набегающий на верхнюю часть спутника, что приводит к образованию завихрений массы ионоплазмы за задней кромкой, то есть образуется вихревой жгут. Ионосфера в вихревом жгуте вращается. Скорость вращения вихревого жгута различна, в центре она наибольшая, а по мере удаления от оси вихря – уменьшается.

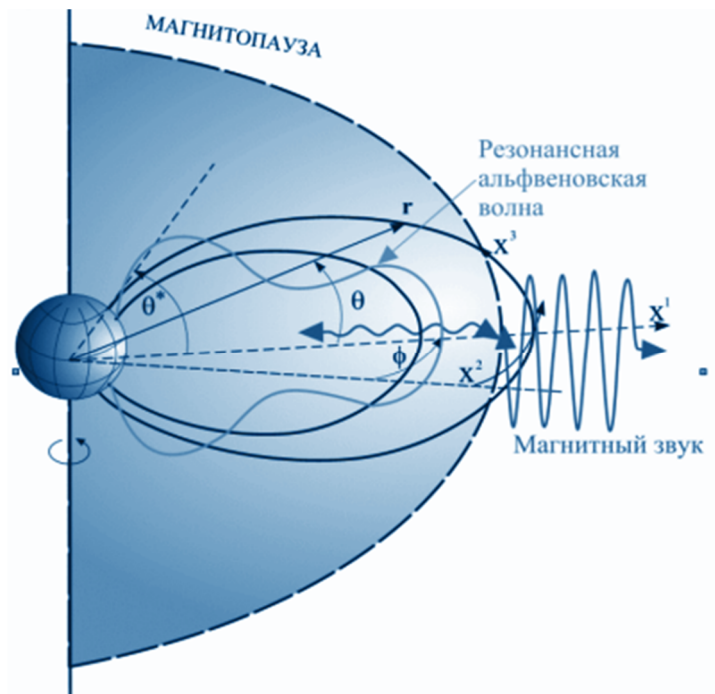


Рис. 2. Энергия, излучаемая волнами Альвена

Определение индуцированных компонент магнитного поля

В работах [1 – 2] были выполнены приближенные расчеты величины тока, поступающего в спутник из ионосферы, и на основании полученного распределения тока с использованием закона Био – Савара было рассчитано индуцируемое магнитное поле. Величина сопротивления определялась численной оценкой интегралов, в подынтегральные выражения которых входили также и индуцированные магнитные поля. Значения этих интегралов представляли собой энергию, излучаемую волнами Альвена (рис. 2).

Вывод работы [1] состоит в том, что в отсутствие диссипации энергии в следе полная энергия излучения выражается в виде произведения скорости спутника на электростатическое поле и что динамика спутника, обусловленная волнами Альвена, входит в величину индукции, а не является дополнительной составляющей.

Энергия излучаемая спутником, определяется уравнением (1), которое приводится здесь (с учетом изменения обозначений осей) [1]:

$$P = V_A \mu \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[h_x^2 + 2h_y \left(\frac{B_0}{\mu} \right) \sin \alpha + h_y^2 \right] dx dy, \quad (1)$$

где

$$h_y = \frac{1}{2\pi} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{j(\xi)(x - \xi)}{(x - \xi)^2 + y^2} d\xi. \quad (2)$$

Здесь h_x выражается аналогичным образом при замене $x - \xi$ на $-y$, а α – малый угол между направлением поля B_0 (осью z) и направлением распространения волн Альвена.

Рассмотрим предварительно только часть уравнения (1), являющуюся линейной относительно h_y . После подстановки соотношения (2) будем иметь:

$$P' = \frac{B_0 V}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-l/2}^{l/2} \left[\frac{j(\xi)(x - \xi) d\xi}{(x - \xi)^2 + y^2} \right] dx dy, \quad (3)$$

где функция $j(\xi)$ является током в крыльях волн Альвена. Предполагается, что эта функция кусочно-непрерывная и может быть определена. Если интегрировать сперва по x , то можно отметить, что интеграл в этом случае не существует. Однако, если интегрировать сперва по y и переписать уравнение (3) в виде:

$$P' = \frac{B_0 V}{\pi} \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dy}{y^2 + (x - \xi)^2} \right] \times (x - \xi) dx \right\} j(x) d\xi, \quad (4)$$

то можно показать, что интеграл существует.

Рассмотрим несобственный интеграл:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dy}{y^2 + (x - \xi)^2}. \quad (5)$$

Здесь особые точки $y = \pm|x-\xi|i$ – простые полюса подынтегральной функции интеграла (5). В верхней полуплоскости располагается точка $y = |x-\xi|i$. Тогда по теореме вычетов получаем:

$$\begin{aligned}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dy}{y^2 + (x-\xi)^2} &= 2\pi i \operatorname{Res}_{y=|x-\xi|i} \frac{1}{y^2 + (x-\xi)^2} = 2\pi i \lim_{y \rightarrow |x-\xi|i} \left[(y - |x-\xi|i) \frac{1}{y^2 + (x-\xi)^2} \right] = \\ &= 2\pi i \lim_{y \rightarrow |x-\xi|i} \frac{1}{2y} = \frac{\pi}{|x-\xi|}.\end{aligned}$$

Уравнение(4), следовательно, приобретает вид:

$$P' = B_0 V \int_{-1/2}^{1/2} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{(x-\xi)}{|x-\xi|} dx \right] j(\xi) d\xi. \quad (6)$$

Интеграл по x все же не может быть взят до тех пор, пока не будет определено его главное значение следующим образом:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{(x-\xi)}{|x-\xi|} dx = \lim_{A \rightarrow \infty} \left[\int_{-A}^{\xi} (-dx) + \int_{\xi}^A dx \right] = \lim_{A \rightarrow \infty} \left[-x \Big|_{-A}^{\xi} + x \Big|_{\xi}^A \right] = \lim_{A \rightarrow \infty} [-\xi - A + A - \xi] = -2\xi.$$

Следовательно, уравнение **Ошибка! Источник ссылки не найден.** может быть представлено в форме:

$$P' = -B_0 V \int_{-1/2}^{1/2} 2\xi j(\xi) d\xi, \quad (7)$$

но, согласно работе [1],

$$j(\xi) = \frac{d}{d\xi} \frac{I(\xi)}{2}, \quad (8)$$

где $I(\xi)$ – ток в спутнике.

Таким образом, подставляя выражение для $j(\xi)$ в уравнение (7), интегрируя его по частям, имея при этом в виду, что $I(\pm l/2)=0$, получим:

$$\begin{aligned} P' &= -B_0 V \int_{-l/2}^{l/2} \xi \frac{d}{d\xi} I(\xi) d\xi = -B_0 V \xi I(\xi) \Big|_{-l/2}^{l/2} + B_0 V \int_{-l/2}^{l/2} I(\xi) d\xi = \\ &= VB_0 \int_{-l/2}^{l/2} I(\xi) d\xi \equiv VD, \end{aligned} \quad (9)$$

где D – по определению индуктивное сопротивление.

Этот результат показывает, что линейный относительно h_y член в уравнении (1) дает индуктивное сопротивление космического аппарата при произвольном законе распределения тока $I(\xi)$ в спутнике. Два других члена в уравнении (1) положительны, и поэтому ясно, что полное сопротивление будет больше индуктивного. В работах [1, 2] было показано, что при движении спутника на малых высотах распределение тока может быть удовлетворительно аппроксимировано отрезками прямых линий с максимумом в точке нулевого потенциала, то есть в точке, где потенциал спутника равен потенциалу плазмы. Математически это можно записать в виде:

$$I = \begin{cases} I_{\max} \frac{l/2 + \xi}{l/2 + a}, & -l/2 \leq \xi \leq a; \\ I_{\max} \frac{l/2 - \xi}{l/2 - a}, & a \leq \xi \leq l/2. \end{cases} \quad (10)$$

Из соотношения (8) получаем:

$$j(\xi) = \begin{cases} \frac{I_{\max}}{2(l/2 + a)}, & -l/2 \leq \xi \leq a; \\ \frac{I_{\max}}{2(l/2 - a)}, & a \leq \xi \leq l/2. \end{cases} \quad (11)$$

Таким образом, индуцированные компоненты магнитного поля можно определить интегрированием. Предварительно рассмотрим компоненту h_x , с учетом выражения (11):

$$h_x = \frac{1}{2\pi} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{y j(\xi)}{(x-\xi)^2 + y^2} d\xi = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \int_{-l/2}^a \frac{y}{(x-\xi)^2 + y^2} d\xi + \right. \\ \left. + \frac{1}{l/2-a} \int_a^{l/2} \frac{y}{(x-\xi)^2 + y^2} d\xi \right].$$

Произведем замену $t = \xi - x$:

$$h_x = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \int_{-x-l/2}^{-x+a} \frac{y}{t^2 + y^2} dt + \frac{1}{l/2-a} \int_{-x+a}^{-x+l/2} \frac{y}{t^2 + y^2} dt \right] = \\ = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \operatorname{arctg} \frac{t}{y} \Big|_{t=-x-l/2}^{-x+a} + \frac{1}{l/2-a} \operatorname{arctg} \frac{t}{y} \Big|_{t=-x+a}^{x+l/2} \right] = \\ = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \left(\operatorname{arctg} \frac{-x+a}{y} - \operatorname{arctg} \frac{-x-l/2}{y} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{l/2-a} \left(\operatorname{arctg} \frac{-x+l/2}{y} - \operatorname{arctg} \frac{-x+a}{y} \right) \right].$$

Для упрощения полученного выражения возьмем арктангенс тангенса от разности арктангенсов и используем формулу разности тангенсов:

$$h_x = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \operatorname{arctg} \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{-x+a}{y} - \operatorname{arctg} \frac{-x-l/2}{y} \right) + \frac{1}{l/2-a} \operatorname{arctg} \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{-x+l/2}{y} - \operatorname{arctg} \frac{-x+a}{y} \right) \right] = \\ = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \operatorname{arctg} [(-x+a)/y] - \operatorname{tg} \operatorname{arctg} [(-x-l/2)/y]}{1 + \operatorname{tg} \operatorname{arctg} [(-x+a)(-x-l/2)/y^2]} + \right. \\ \left. + \frac{1}{l/2-a} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \operatorname{arctg} [(-x+l/2)/y] - \operatorname{tg} \operatorname{arctg} [(-x+a)/y]}{1 + \operatorname{tg} \operatorname{arctg} [(-x+l/2)(-x+a)/y^2]} \right] = \\ = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \operatorname{arctg} \frac{(-x+a)/y - (-x-l/2)/y}{1 + (-x+a)(-x-l/2)/y^2} + \frac{1}{l/2-a} \operatorname{arctg} \frac{(-x+l/2)/y - (-x+a)/y}{1 + (-x+l/2)(-x+a)/y^2} \right] = \\ = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \operatorname{arctg} \frac{y(a+l/2)}{y^2 + (-x+a)(-x-l/2)} + \frac{1}{l/2-a} \operatorname{arctg} \frac{y(l/2-a)}{y^2 + (-x+l/2)(-x+a)} \right].$$

Внеся минус под знак арктангенса, в итоге получим:

$$h_x = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[\frac{1}{l/2+a} \operatorname{arctg} \frac{y(-a-l/2)}{y^2 + (x-a)(x+l/2)} - \frac{1}{l/2-a} \operatorname{arctg} \frac{y(a-l/2)}{y^2 + (x-a)(x-l/2)} \right].$$

Аналогично ищем индуцированную компоненту магнитного поля h_y :

$$h_y = \frac{1}{2\pi} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{j(\xi)(x-\xi)}{(x-\xi)^2 + y^2} d\xi = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[\frac{1}{l/2+a} \int_{-l/2}^a \frac{x-\xi}{(x-\xi)^2 + y^2} d\xi - \frac{1}{l/2-a} \int_a^{l/2} \frac{x-\xi}{(x-\xi)^2 + y^2} d\xi \right]. \quad (12)$$

Делая замену вида $t = \xi - x$, получим:

$$h_y = \frac{I_{\max}}{4\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \int_{-x-l/2}^{-x+a} \frac{t}{t^2 + y^2} dt + \frac{1}{l/2-a} \int_{-x+a}^{-x+l/2} \frac{t}{t^2 + y^2} dt \right].$$

Используя неопределенный интеграл вида:

$$\int \frac{t}{t^2 + y^2} dt = \frac{1}{2} \int \frac{d(t^2)}{t^2 + y^2} = \frac{1}{2} \ln[t^2 + y^2].$$

Выражение (12) примет вид:

$$\begin{aligned} h_y &= \frac{I_{\max}}{8\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \ln[t^2 + y^2] \Big|_{t=-x-l/2}^{-x+a} + \frac{1}{l/2-a} \ln[t^2 + y^2] \Big|_{t=-x+a}^{-x+l/2} \right] = \\ &= \frac{I_{\max}}{8\pi} \left[-\frac{1}{l/2+a} \ln \frac{(-x+a)^2 + y^2}{(x+l/2)^2 + y^2} + \frac{1}{l/2-a} \ln \frac{(-x+l/2)^2 + y^2}{(-x+a)^2 + y^2} \right]. \end{aligned}$$

Окончательно получим выражение:

$$h_y = \frac{I_{\max}}{8\pi} \left[\frac{1}{l/2-a} \ln \frac{(x-l/2)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2} - \frac{1}{l/2+a} \ln \frac{(x-a)^2 + y^2}{(x+l/2)^2 + y^2} \right]. \quad (13)$$

Подставляя выражение (13) в (9), получим:

$$\begin{aligned}
P' &= VB_0 \int_{-l/2}^{l/2} I(\xi) d\xi = VB_0 I_{\max} \left[\frac{1}{l/2+a} \int_{-l/2}^a (l/2+\xi) d\xi + \frac{1}{l/2-a} \int_a^{l/2} (l/2-\xi) d\xi \right] = \\
&= \frac{VB_0 I_{\max}}{2} \left[\frac{1}{l/2+a} \left(al+a^2+\frac{l^2}{4} \right) + \frac{1}{l/2-a} \left(\frac{l^2}{4}-al+a^2 \right) \right] = \frac{VB_0 I_{\max}}{2} \left[\frac{(l/2+a)^2}{l/2+a} + \frac{(l/2-a)^2}{l/2-a} \right] = \\
&= \frac{I_{\max} B_0 l V}{2}.
\end{aligned}$$

Необходимо отметить, что исследуемая величина, как следует из уравнения (9), тождественно равна произведению индуктивного сопротивления на скорость. При интегрировании сначала по x (при определении главного значения), а затем по y , величина энергии даст другие результаты, что не является необычным, так как это зависит от применения главного значения интеграла к физической проблеме. В работе преобразования сделаны так, чтобы результат имел определенный физический смысл.

Так, например, два члена в уравнении (1), включающие h_x^2 и h_y^2 , для типичных условий движения спутника обычно на несколько порядков величины меньше, чем индуктивное сопротивление. Так как в работе [1] результаты были получены на основании только численных расчетов (численной оценки расходящегося интеграла) и оценки каждого из трех членов, по-видимому, не производились, то ясно, почему в [1] пришли к выводу, что волновое сопротивление КА является частью индуктивного сопротивления. Представленные в статье аналитические исследования дают понять, что их заключение ошибочно.

Дополнительно можно отметить, что в работах [4, 9] предложен механизм генерации узкополосного электромагнитного излучения в ультранизкочастотном диапазоне, сопровождающего полет КА на активном участке горизонтальной траектории полета. Такое излучение многократно регистрировалось как во время запуска, так и во время посадки КА наземной сетью электромагнитных обсерваторий на территории США (Rauscher and Van Bise, 1999). Рассмотренный механизм связывает регистрируемые колебания магнитного поля с распространением в нижней ионосфере гиротропных волн, генерируемых когерентными источниками (см. рис. 2). Такими источниками служат электростатические поля, наведенные фоновым электрическим полем в горизонтальных неоднородностях ионосферной проводимости.

Аналитические модели дают хорошую оценку этого принципа при условии спокойной геомагнитной обстановки, но в случае возмущенной ионосферы оценка полного электронного содержания становится существенно менее

точной, что негативно сказывается на работе различных (в частности магнитных) спутниковых систем [15 – 18].

Методика определения распределения потенциала электромагнитного поля в космическом пространстве

Сложность исследования заключается в том, что все космические тела одновременно взаимодействуют между собой. Известно, что на заряженные частицы, которые движутся в магнитном поле, действует сила Лоренца. Такая же сила действует на заряженный спутник, который движется в магнитном поле Земли. Эта сила зависит от положения спутника и геометрии орбиты. Направление силы всегда перпендикулярно скорости аппарата. При зарядке в магнитосферной плазме характерные величины первичных токов составляют $\approx 10^{-10} - 10^{-8} \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$, ток фотоэлектронной эмиссии для большинства материалов лежит в пределах $(1 - 5) 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$, характерное время общего заряжения КА составляет 0,3 – 0,5 с, а дифференциальное заряджение – от единицы до десятков минут.

Для КА различной формы учет магнитосферной плазмы для определения сил сопротивления является крайне важным. Простейшая модель такого взаимодействия со спутником представляет собой Землю радиуса r_1 , который находится в поле двух полусферических ионосферных полей радиуса r_2 , разделенных между собой узким промежутком и имеющих потенциалы $+V_0$ и $-V_0$. Расчет электромагнитного поля, действующего на КА в пространстве между Землей и ионосферными полями $r_1 < r < r_2$ проведем для случая, когда центры Земли и ионосферных полей совпадают и потенциал Земли, предположим, не учитывается. В рассматриваемом случае нахождение потенциала $\varphi = \varphi(r_1, \theta)$ поля в космическом пространстве сводится к решению краевой задачи для уравнения Лапласа, которая с учетом осевой симметрии поля может быть записана в следующем виде:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) = 0, r_1 < r < r_2, 0 \leq \theta \leq \pi; \quad (14)$$

$$\varphi(r_1, \theta) = 0; \quad (15)$$

$$\varphi(r_2, \theta) = U(\theta) = \begin{cases} +V_0, & 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}; \\ -V_0, & \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi. \end{cases} \quad (16)$$

Используя метод разделения переменных, когда $\varphi(r, \theta) = R(r)\Phi(\theta)$, получаем

$$\frac{\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right)}{R(r)} = - \frac{\frac{1}{\sin \theta} \frac{d}{d\theta} \left(\sin \theta \frac{d\Phi}{d\theta} \right)}{\Phi(\theta)} = \lambda = \text{const.} \quad (17)$$

Отсюда для нахождения функций $R(r)$ и $\Phi(\theta)$ получаем уравнения

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) - \lambda R = 0; \quad (18)$$

$$\frac{1}{\sin \theta} \frac{d}{d\theta} \left(\sin \theta \frac{d\Phi}{d\theta} \right) + \lambda \Phi = 0. \quad (19)$$

Если в уравнении (14) сделать замену переменного $\cos(\theta) = x$ и положить $\Phi(\theta) = X(x)$, то оно примет вид:

$$-\frac{d}{dx} \left[(1-x^2) \frac{dX}{dx} \right] = \lambda X, \quad -1 < x < 1. \quad (20)$$

Задача отыскания ограниченного решения уравнения (20), удовлетворяющего условиям $|X(\pm 1)| < \infty$, соответствует задаче Штурма – Лиувилля. Эта задача имеет нетривиальное решение $X_n(x)$ лишь при $\lambda = \lambda_n = n(n+1)$. Эти решения (собственные функции) являются полиномами Лежандра n -го порядка, то есть $X_n(x) = P_n(x)$ или $\Phi(\theta) = P_n(\cos \theta)$, для $n = 0, 1, 2, \dots$

Как собственная функция задачи Штурма – Лиувилля полиномы Лежандра удовлетворяют условию ортогональности:

$$\int_{-1}^1 P_n(x) P_m(x) dx = \int_0^\pi P_n(\cos \theta) P_m(\cos \theta) \sin \theta d\theta = \begin{cases} 0, & n \neq m; \\ \frac{2}{2n+1}, & n = m. \end{cases} \quad (21)$$

При $\lambda = \lambda_n = n(n+1)$ из уравнения (14) находим $R(r) = a_n r^n + \frac{b_n}{r^{n+1}}$

$$\text{или } R(\rho) = A_n \rho^n + \frac{B_n}{\rho^{n+1}}, \text{ где } \rho = \frac{r}{r_1}; A_n, B_n = \text{const.} \quad (22)$$

Используя принцип суперпозиции решений для линейного уравнения (14), представим его решение рядом

$$\text{где } \rho = \frac{r}{r_1}; \gamma = \frac{r_2}{r_1} > 1.$$

Удовлетворяя при $\rho = 1$ граничному условию (15), получаем $A_n + B_n = 0$, то есть

$$\varphi(\rho, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \left(\rho^n - \frac{1}{\rho^{n+1}} \right) P_n(\cos \theta). \quad (23)$$

Теперь с учетом граничного условия (16) получаем соотношение

$$\sum_{n=0}^{\infty} A_n \Gamma_n P_n(\cos \theta) = U(\theta), \Gamma_n = \frac{\gamma^{2n+1} - 1}{\gamma^{n+1}}. \quad (24)$$

Теперь найдем коэффициенты разложения Фурье. Заметим, что равенство (24) представляет собой разложение функции $U(\theta)$, заданной формулой (16), в ряд Фурье по полиномам Лежандра. Возможность такого разложения по собственным функциям задачи Штурма – Лиувилля (20) следует из теоремы Стеклова. С учетом условия ортогональности (21) находим коэффициенты этого разложения:

$$A_n \Gamma_n = \frac{2n+1}{2} \int_0^{\pi} U(\theta) P_n(\cos \theta) \sin \theta d\theta = \frac{2n+1}{2} \int_{-1}^1 U(x) P_n(x) dx, \quad (25)$$

$$\bar{U}(x) = \begin{cases} -V_0, & -1 < x < 0; \\ +V_0, & 0 < x < 1. \end{cases}$$

Учитывая правила изменения знака аргумента для полиномов Лежандра $P_n(-x) = (-1)^n P_n(x)$, из (25) для искомых коэффициентов A_n разложения (22) получим формулы:

$$A_n \text{ для } n=2k;$$

$$A_n = V_0 \frac{2n+1}{\Gamma_n} \int_0^1 P_n(x) dx \text{ для } n=2k+1.$$

Используя известные для полиномов Лежандра формулы:

$$P_n(1) = 1; P_{n+1}(0) = -\frac{n}{n+1} P_{n-1}(0); \quad P_n(x) = \frac{1}{2n+1} [P'_{n+1}(x) - P'_{n-1}(x)],$$

можно вычислить квадратуру

$$\int_0^1 P_n(x) dx = \frac{1}{n+1} P_{n-1}(0);$$

$$P_0(0) = 1; P_{2k+1}(0) = 0; P_{2k}(0) = (-1)^k \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2k-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots 2k}, k \geq 1.$$

Таким образом, окончательно решение краевой задачи (14) – (16), описывающее распределение потенциала в космическом пространстве, запишем в виде:

$$\varphi(\rho, \theta) = V_0 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(4k+3)P_{2k}(0)}{2(k+1)\Gamma_{2k+1}} \left(\rho^{2k+1} - \frac{1}{\rho^{2k+2}} \right) P_{2k+1}(\cos \theta), 1 \leq \rho = \frac{r}{r_1} \leq \gamma, 0 \leq \theta \leq \pi. \quad (26)$$

Используя известную формулу электродинамики

$$\sigma = \varepsilon_0 E_n = -\varepsilon_0 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) \Big|_{r=r_1} = -\frac{e_0}{r_1} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \rho} \right) \Big|_{\rho=1},$$

с помощью решения (26) можно определить распределение индуцированных зарядов на определенном участке траектории КА и других произвольных космических объектов.

Необходимо отметить, что распределение электрического заряда около 1000 ионов на кубический сантиметр можно найти у поверхности Земли, причем один кубический сантиметр содержит $3 \cdot 10^{19}$ молекул при нормальном давлении. Поэтому атмосфера там слабо ионизирована, она содержит как положительные, так и отрицательные ионы. Однако количество положительных ионов преобладает. Плотность ионов увеличивается с высотой и имеет максимум в ионосфере. Здесь значительная часть молекул газа ионизирована УФ-излучением Солнца. Из-за избытка положительных зарядов в нижних слоях атмосферы электрическое поле Земли частично экранировано, так что напряженность поля быстро уменьшается с высотой над землей, намного быстрее, чем в контексте. На уровне ионосферы и магнитосферы напряженность поля падает до нескольких вольт на километр.

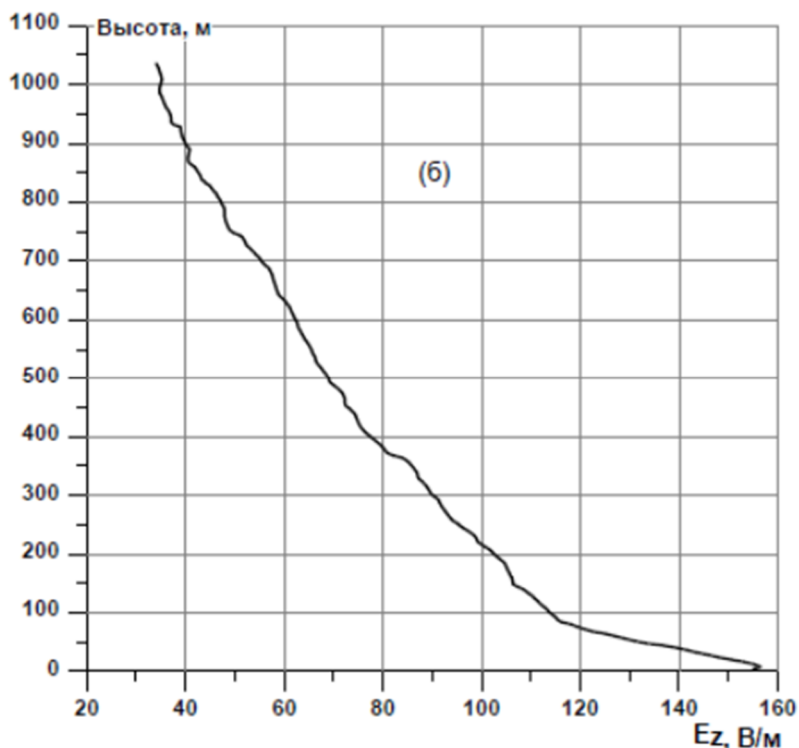


Рис. 3. Напряженность поля в зависимости от высоты.

Максимальные напряженности характерны для низких, приповерхностных слоев атмосферы, по мере увеличения высоты напряженность падает.

В результате было получено решение краевой задачи для уравнения Лапласа, описывающее распределение потенциала поля в космическом пространстве между Землей и ионосферой.

Заключение

Исследована аналитическая зависимость для энергии, излучаемой спутником с учетом направления распространения волн Альвена. Доказано, что порядок интегрирования влияет на существование интеграла для определения индуктивного сопротивления спутника и других удлинённых тел (например электродинамического троса для уводки с траектории). Отмечено, что линейный член в уравнении энергии влияет на индукцию при произвольном законе распределения тока в спутнике в электромагнитном поле и полное сопротивление будет больше индуктивного. В результате исследований показано, что при движении спутника на средних высотах распределение тока в магнитосферной плазме может быть удовлетворительно аппроксимировано отрезками прямых линий с максимумом в точке нулевого потенциала, то есть в точке, где потенциал спутника равен потенциалу ионоплазмы. Выявлено, что индуцированные компоненты магнитного поля можно определить интегрированием. Определена индуцированная компонента магнитного поля. Необходимо отметить, что сила гравитационного притяжения Земли на три порядка превосходит силу кулоновского взаимодействия. Сила гравитационного притяжения и сила Лоренца, действующая на КА со стороны электромагнитного поля Земли одного порядка. Динамика частиц массой примерно 5 – 8 г определяется, в первую очередь, не гравитационной силой, а сложным движением в электромагнитном поле Земли. Альвеновская концепция магнитоплазмы справедлива при рассмотрении космических частиц. Для КА можно использовать одночастичное приближение, для массового компонента справедливо представление о континууме как о сплошной среде. Микрочастица в плазме заряжена отрицательно из-за столкновений с плазменными электронами. Однако она может «утратить» этот заряд за счет фотоэффекта, а также под действием автоэлектронной эмиссии и ударов положительных ионов. Частицы ионосферной плазмы относительно космического пространства имеют положительный или отрицательный потенциал порядка 1... 10 В. На частицу, обладающую электрическим зарядом, действует электромагнитная сила и электрическое и магнитное поля. Когда КА попадает в область плазмы с большим количеством надтепловых электронов, ее заряд может резко возрасти примерно в 1000 раз, в результате чего она окажется захваченной плазмой.

К основным факторам, приводящим к электризации, следует отнести потоки электронов и ионов околоземной космической плазмы, жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца, вакуум, термоциклирование. Все перечисленное особенно существенно для высокоорбитальных КА во время суббурь в магнитосфере Земли. В результате происходит общее и дифференциальное заряджение поверхности КА.

Заряжение элементов КА в космической плазме происходит по причине значительного превышения электронного диффузионного тока над ионным током. При такой плотности тока время электризации КА, имеющего типичные размеры, до потенциала 10 кВ составляет всего 5 мс. Таким образом, общая зарядка КА происходит практически мгновенно в поле.

Литература

1. Chu C. K., Gross R. A. Alfvén Waves and Induction Drag on Long Cylindrical Satellites / C. K. Chu, R. A. Gross // *AIAA Journal*. – Dec. 1966. – Vol. 4, No. 12. – P. 2209 – 2214.
2. Drell S. D. Drag and Propulsion of Large Satellites in the Ionosphere: An Alfvén Propulsion Engine in Space / S. D. Drell, H. M. Foley, M. A. Ruderman // *Journal of Geophysical Research*. – 1965. – Vol. 70. – P. 3131 – 3145.
3. Модель космоса: Научно-информационное издание: В 2 т./ Под ред. М. И. Панасюка, Л. С. Новикова. – Т.2: Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. – Москва: КДУ, 2007. – 1144 с.
4. Афраймович Э. Л. Регистрация ионосферных откликов на ударно – акустические волны, генерируемые при запусках ракет – носителей / Э. Л. Афраймович, Н. П. Перевалова, А. В. Плотников // *Геомагнетизм и аэрономия*, 2002. – Т. 42, № 6. – С. 790 – 797.
5. Сидняев Н. И. Методики расчета влияния электродинамического поля в ионосфере на космический аппарат / Н. И. Сидняев // *Космические исследования*. – 2022. – Т. 60, № 3. – С. 196 – 205.
6. Пулинец С. А. Изменчивость ионосферы и глобальная электрическая цепь / С. А. Пулинец, Д. В. Давиденко // *Глобальная электрическая цепь: Материалы Всероссийской конференции / Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта*. – Ярославль, 2013. – 16 с.
7. Sidnyaev N. I. Study of heat and mass transfer for hypersonic flow past a complex body of revolution / N. I. Sidnyaev // *Thermophysics and Aeromechanics*, 2006. – Vol. 13, No. 1. – P. 2 – 16.
8. Sidnyaev N. I. Investigation of aerodynamic characteristics of a hypersonic flow around bodies of revolution with a permeable tip / N. I. Sidnyaev // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. – 2007. – Vol. 48, No. 2. – P. 19 – 26.
9. Сорокин В. М. Волновые процессы в ионосфере, связанные с геомагнитным полем / В. М. Сорокин // *Изв. ВУЗов. Радиофизика*. – 1988. – Т. 31. – С. 1169 – 1180.
10. Sidnyaev N. I. Aerodynamic Performances of Hypersonic Aircrafts with Surface Mass Transfer / N. I. Sidnyaev // *Mathematical Models and Computer Simulations*. – 2009. – Vol. 1, No. 3. – P. 343 – 352.

11. Сидняев Н. И. Изменение поверхностных и объемных свойств космического аппарата при адсорбции и рекомбинация атомов кислорода и азота / Н. И. Сидняев, Н. С. Климова // Космические исследования. – 2020. – Т. 58, № 3. – С. 208 – 222.
12. Альвен Х. Космическая плазма: Пер. с англ. – Москва: Мир, 1983. – 216 с.
13. Сидняев Н. И. Физические принципы и математическая модель управления индуктивным сопротивлением спутников в ионосфере планеты / Н. И. Сидняев, В. П. Савченко, Д. В. Клочкова // Физические основы приборостроения. – 2012. – Т. 1, № 4. – С. 98 – 105.
14. Основы теории полета космических аппаратов / В. С. Авдеевский, Б. М. Антонов, Н.А. Анфимов и др.; под ред. Г. С. Нариманова и М. К. Тихонравова. – М.: Машиностроение, 1972. – 607 с.
15. Сидняев Н. И. Аэромеханика низкоорбитальных космических аппаратов / Н. И. Сидняев, Л. А. Макриденко, В. Я. Геча и др. // Тезисы докладов IV Международной научно-технической конференции : Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли. – Москва: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – С. 62 – 65.
16. Сидняев Н. И. Исследование разрушения поверхности КА при контактном взаимодействии с микрочастицами космической среды / Н. И. Сидняев // Космические исследования. – 2018. – Т. 56, №3. – С. 233 – 242.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ И 3D-ПЕЧАТИ, ПРИ ПРОТОТИПИРОВАНИИ АНТЕНН И УСТРОЙСТВ СВЧ

П. А. Бадаев, С. Г. Кондратьева

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

В данной работе рассматривается способ создания прототипов антенн при помощи печати каркаса на 3D-принтере с последующей гальванизацией полученной заготовки. Также проведено сравнение антенны, изготовленной «классическим» способом (гибкой), с гальванизированной копией антенны.

Целью данной работы является рассмотрение нового подхода при изготовлении опытных образцов антенн и устройств СВЧ. При классическом методе изготовления прототипов требуется много материалов, специализированного оборудования и станков, что удорожает производство, а также при изготовлении сложных образцов требуется заказывать изготовление прототипа на производстве, что несет дополнительные финансовые и временные затраты.

Технология 3D-печати с последующей гальванизацией имеет следующие достоинства:

- уменьшение трудоемкости создания прототипов антенн со сложной геометрией каркаса, так как 3D-принтер позволяет печатать объекты со сложной формой;
- уменьшение затрат на производство, благодаря более низкой цене на сырье;
- возможность уменьшения веса изделия;
- ускорение процесса производства прототипа.

Таким образом, в данной работе рассмотрен способ производства предварительных прототипов антенн и устройств-СВЧ и проведено сравнение оригинального образца с его гальванизированной копией, результаты измерений, свидетельствуют о эквивалентности этих образцов.

Литература

1. Воскресенский Д. И. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев // Издательство: Радиотехника 2006. – 376 с.

2. Казначей Б. Я. Гальванопластика в промышленности. – Москва: Государственное издательство местной промышленности РСФСР, 1955. – 174 с.
3. Овчинникова Е. В. Многофункциональная антенная решетка для бортовой РЛС / Е. В. Овчинникова, С. Г. Кондратьева // Труды 7-й международной молодёжной научно-технической конференции : Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011 (Севастополь, 11 – 15 апреля, 2011).
4. Овчинникова Е. В. Печатная антенная решетка для бортовой РЛС сантиметрового диапазона / Е. В. Овчинникова, А. М. Рыбаков // Труды 7-й международной молодёжной научно-технической конференции : Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011. (Севастополь, 11 – 15 апреля, 2011).
5. Мелашенко Н. Ф. Гальванические покрытия диэлектриков / Н. Ф. Мелашенко. – Минск: Беларусь, 1987. – 176 с.
6. Панченко Б. А. Микрополосковые антенны / Б. А. Панченко, Е. И. Нефедов // Радио и связь, 1986. – 143 с.
7. Кондратьева С. Г. Многофункциональная бортовая антенная решётка интегрированного радиоэлектронного комплекса // Электронный журнал «Труды МАИ», 2012. – URL: <https://trudymai.ru/upload/iblock/4aa/mnogofunktsionalnaya-bortovaya-antennaya-reshetka-integrirovannogo-radioelektronnogo-kompleksa.pdf?ysclid=ln6aa4d0uq218951527&referer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F>.
8. Бадаев П. А. Предварительное прототипирование СВЧ-устройств с использованием аддитивных технологий. // XLIX Гагаринские чтения, 2023.

БОРТОВАЯ АНТЕННАЯ СИСТЕМА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ «КАНОПУС-В»

¹А. Б. Захаренко, ¹А. Ю. Федотов,

^{1,2}Э. В. Гаджиев, ¹П. П. Телепнев

(¹АО «Корпорация ВНИИЭМ», г. Москва;

²МАИ (НИУ), г. Москва)

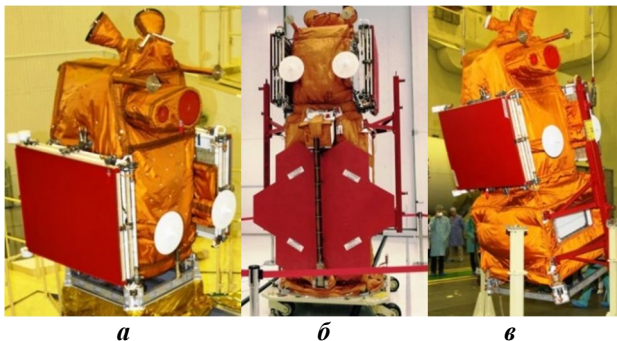
В данной работе рассмотрены бортовые антенные системы малых космических аппаратов, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В». Приведен состав антенно-фидерных устройств, применяемых в составе бортовых систем и комплексов аппаратов, а также представлены их энергетические параметры. Проведен анализ текущего состояния бортовых антенных систем малых космических аппаратов, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В». Показаны перспективные направления дальнейшего развития антенно-фидерных устройств малых космических аппаратов, разработанных на базе космической платформы «Канопус-В», с учетом современных требований, предъявляемых к бортовым антенным системам.

Ключевые слова: космический аппарат, космическая платформа, бортовая антенна, антенно-фидерное устройство.

Введение

Космический аппарат (КА) «Канопус-В» входит в состав космического комплекса (КК) оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» [1].

На рисунке представлены малые КА, спроектированные на базе космической платформы «Канопус-В».



Малые КА на базе космической платформы «Канопус-В»:

***а* – КА «Канопус-В»; *б* – КА «Ломоносов»; *в* – КА «Канопус-В-ИК»**

КК «Канопус-В» включает в себя пять КА «Канопус-В» (№ 1, № 3, № 4, № 5, № 6) и КА «Канопус-В-ИК».

Более подробно предназначение и состав бортовой аппаратуры КА «Ломоносов» и КА «Канопус-В-ИК» приведены в [2].

Цель данной работы заключается в анализе текущего состояния и выявление тенденций дальнейшего развития бортовых антенных систем малых КА, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В».

Основная часть

В составе бортовых систем малых КА, разработанных на базе космической платформы «КанопусВ», спроектированы и успешно применяются антенно-фидерные устройства (АФУ) для телекомандной системы (ТКС); радиолинии передачи целевой информации (РЛЦИ); аппаратуры спутниковой навигации (АСН). В работе приведены АФУ, входящие в состав бортовых систем и комплексов аппаратов, а также представлены их энергетические параметры [3].

Заключение

В работе рассмотрены и подробно представлены бортовые антенны, входящие в состав антенной системы малых КА, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В». Показаны перспективы развития, предложены возможные пути модернизации антенн.

Литература

1. Макриденко Л. А. КА «Канопус-В» № 1 – первый российский малый космический аппарат высокодетального дистанционного зондирования Земли нового поколения / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 156, № 1. – С. 10 – 20.
2. Макриденко Л. А. Научный космический аппарат «Ломоносов» / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 161, № 6. – С. 28 – 44.
3. Гаджиев Э. В. Бортовые антенные системы малых космических аппаратов, спроектированных на базе космической платформы «Канопус-В» / Э. В. Гаджиев, А. Б. Захаренко, П. П. Телепнев, А. Ю. Федотов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2023. – Т. 192, № 1. – С. 7 – 13.

ЕТРИС ДЗЗ: АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ (АПОИ) КАК ДЕЙСТВУЮЩАЯ АЛЬТЕРНАТИВА НКПОР И ОСНОВА ФЕДЕРАЛЬНОГО ФОНДА ДАННЫХ ДЗЗ

**Е. Н. Боровенский, Д. В. Сысенко,
Д. И. Федоткин, А. В. Ядыкин**

В докладе рассмотрены предпосылки создания унифицированного комплекса автоматической потоковой обработки информации (АПОИ) как ключевого элемента единой территориально-распределенной информационной системы дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ), представляющей собой обновленный российский наземный сегмент ДЗЗ. Представлены основные недостатки действующих наземных комплексов приема, обработки и распространения информации (НКПОР), сдерживающие развитие отечественного наземного сегмента ДЗЗ. Представлены ключевые технологические подходы реализованные в комплексе АПОИ. Приведены статистические результаты успешного функционирования комплекса АПОИ в рамках эксплуатации федерального фонда данных ДЗЗ (ФФД ДЗЗ) и выполнения заявок потребителей. Показаны очевидные и неоспоримые преимущества новых технологических решений комплекса АПОИ относительно технически устаревших методов обработки информации, используемых в отечественных НКПОР на протяжении последних лет.

Стремительный рост объемов данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) по причине роста потребления этих данных различными отраслями экономики, увеличения разрешающей способности, а также повышения требований к оперативности и качеству получаемой потребителем информации предъявляют строгие требования к реализации современных наземных комплексов обработки данных ДЗЗ.

Устаревшая парадигма создания под каждый космический аппарат (КА) или, максимум, серию однотипных КА, собственного наземного комплекса приема, обработки и распространения информации (НКПОР) не может отвечать данным требованиям [1]. Технологии, заложенные в НКПОР еще два десятка лет назад, и которые продолжают использоваться в качестве «задела» при производстве НКПОР по сей день (автоматизированная обработка оператором на АРМ), изначально не были предназначены для обработки больших объемов данных в режиме близкому к реальному времени.

Все это привело к тому, что к 2018 г. только для обработки информации всего лишь с десятка КА ДЗЗ в наземном сегменте Оператора КС ДЗЗ построенном на базе нескольких НКПОР присутствовало не эффективное задействование огромного количества технических средств (более сотни единиц, преимущественно АРМ) и задействование большого количества операторов (более полусотни), приводившее к существенным ежегодным эксплуатационным затратам, при этом оперативность обработки данных составляла несколько суток [2]. Очевидно, что в современных условиях, когда речь идет о создании перспективных многоспутниковых группировок КА ДЗЗ, состоящих из десятков и сотен КА, и сотнях, даже тысячах потребителей информации, использование устаревшей парадигмы НКПОР неминуемо привело бы к еще большему увеличению штата операторов, дозакупке дополнительных технических средств (преимущественно АРМ) и, как следствие, еще большему увеличению стоимости эксплуатации.

Поэтому в рамках единой территориально-распределенной информационной системы (ЕТРИС) ДЗЗ был взят курс на максимальную унификацию и стандартизацию технологических процессов посредством создания унифицированных (универсальных, единых) комплексов обеспечивающих тот или иной этап наземной обработки, в идеале, для всей отечественной орбитальной группировки КА ДЗЗ [3]:

- унифицированный комплекс целевого планирования;
- унифицированный комплекс приема информации;
- унифицированный комплекс вычислительных ресурсов;
- унифицированный комплекс обработки информации;
- унифицированный архив и каталог данных;
- унифицированный геопортал доступа к данным.

Как альтернатива НКПОР в АО «НИИ ТП» по заказу Госкорпорации «Роскосмос» был разработан и успешно прошел испытания унифицированный комплекс автоматической потоковой обработки информации (АПОИ), спроектированный как единый комплекс обработки информации со всей орбитальной группировки КА ДЗЗ [4].

В период с сентября 2020 г. по октябрь 2021 г. АПОИ проходил опытную эксплуатацию в ходе которой автоматически выполнял обработку заявок потребителей, в том числе обеспечивал обработку 10 пилотных регионов РФ для отработки проекта «Цифровая Земля – сервисы», созданного АО «Терра Тех» [5, 6].

С октября 2021 г. комплекс АПОИ введен в штатную эксплуатацию в контуре Оператора КС ДЗЗ и полностью в автоматическом режиме осуществляет

обработку всех заявок российских потребителей в рамках эксплуатации Федерального Фонда Данных дистанционного зондирования Земли (ФФД ДЗЗ), обеспечивая, в том числе, заявки федеральных и региональных органов государственной власти [7, 8], а так же обеспечивая работу проекта «Цифровая Земля – сервисы», созданного по заказу ГК «Роскосмос» в рамках национальной программы «Цифровая Экономика РФ» [6, 9].

При разработке комплекса АПОИ были учтены все известные недостатки и узкие места используемых, но уже технически устаревших технологий обработки информации НКПОР. Так основными особенностями обработки данных ДЗЗ, реализованными в комплексе АПОИ стали:

- унифицированная обработка данных с различной целевой аппаратуры различных КА ДЗЗ в едином комплексе;
- полная обработка от «сырого» сигнала до стандартных потребительских продуктов ДЗЗ в едином технологическом цикле;
- обработка на едином комплекте технических средств (распределенные кластерные вычисления);
- полностью автоматическая обработка без участия оператора;
- высокопроизводительная обработка в течении нескольких минут;
- формирование качественных стандартных информационных продуктов (со сведенными спектральными каналами, в том числе продуктов типа BUNDLE, PANSARP) на основе строгих и точных математических моделей съемки;
- сокращение необходимых для обработки технических средства в десятки раз;
- масштабируемость под сколь угодно большие потоки данных;
- автоматическая коррекция геопривязки данных ДЗЗ до единиц метров за счет уточнения бортовой навигационной информации.

Комплекс АПОИ осуществляет высокоскоростную обработку больших объемов данных ДЗЗ на вычислительном кластере, расположенном в ЦОД АО «Российские космические системы. Обработка производится в распределенном режиме полностью автоматически, при этом распределение обработки производится как на уровне маршрутов – разные маршруты распределяются на разные сервера, так и в пределах маршрута – обработка распределяется сразу на несколько серверов. Такая реализация обработки позволила существенно снизить время получения готовой информационной продукции [4, 7], а также намного более эффективно использовать ресурсы задействованных технических средств.

Комплекс обеспечивает обработку панхроматических и мультиспектраль-

ных данных съемочных систем ГЕОТОН, ШМСА-ВР/СР с КА «Ресурс-П» № 1, № 2, № 3, данных панхроматической камеры и мультиспектральной камеры КА «Канопус-В» № 1, № 3, № 4, № 5, № 6, ИК, данных съемочных систем КМСС и МСУ-МР КА «Метеор-М» № 2-0, № 2-2. Комплекс выполняет полный цикл обработки от распаковки «сырого» сеанса съемки (RAW) и формирования архивных продуктов уровня 0 до стандартной обработки и формирования продуктов уровня 1 и 2 [10], поставляемых потребителям, включая ортокорректированные продукты «BUNDLE» и «PANSHARP». Вся обработка данных ДЗЗ с различных сенсоров и КА выполняется в едином технологическом цикле на едином комплексе технических средств и полностью в автоматическом режиме без участия оператора.

Реализованные алгоритмы уточнения бортовых параметров баллистического движения КА и его ориентации с использованием глобального опорного покрытия обеспечили существенное улучшение качества геопривязки продуктов ДЗЗ и сведения спектральных каналов в процессе наземной обработки информации комплексом АПОИ. Согласно статистике обработки более 17 000 маршрутов за 9-ти месячный период наблюдения работы АПОИ в составе ФФД ДЗЗ, коррекция геопривязки данных приводит к улучшению точности в среднем на один – два порядка [11, 12, 13].

Так, например, для данных КА «Канопус-В» ИК, № 3, № 4, № 5, № 6 средняя точность геопривязки была повышена с 63.4 м до 5.9 м. Соответствующие результаты выборочной статистики представлены на рис. 1 (по оси X представлены уникальные маршруты съемки, по оси Y красным цветом ошибка геопривязки по бортовым навигационным данным и зеленым цветом ошибка геопривязки по автоматически уточненным навигационным данным).



Рис. 1. Статистика уточнения геопривязки для данных КА «Канопус-В» ИК, №3, №4, №5, №6

Сводная статистика по коррекции геопривязки архивных данных различных КА представлена в табл. 1.

Статистика уточнения геопривязки комплексом АПОИ на многотысячной выборке архивных маршрутов на различные территории и сезоны съемки показала, что процент успешно скорректированных в автоматическом режиме маршрутов составил 99,3%, при этом для оставшихся 0,7% съемки не было выполнено уточнение по причине фактически некондиционности данных: сплошная облачность, сплошной океан, сплошной лед (при этом эти 0,7% данных также были успешно обработаны, но с исходными точностями бортовых данных АСН).

Таблица 1

Статистика уточнения комплекса АПОИ

Космический аппарат	Средняя точность геопривязки в метрах до коррекции (по бортовым данным), м	Средняя точность геопривязки в метрах после коррекции (с использованием опоры), м
«Канопус-В» № 3, 4, 5, 6, ИК	63,4	5,9
«Ресурс-П» № 2, 3	22,4	4,2
«Канопус-В» № 1, БКА*	3236,0	19,4
«Ресурс-П» №1 *	3823,9	7,2

* данные КА имели проблемы в бортовой аппаратуре

Комплекс АПОИ в рамках ФФД ДЗЗ функционирует на вычислительном кластере, состоящем всего из 10 серверов без графических процессоров GPU (CPU 2x Intel Xeon Gold 6144 3.50 ГГц, RAM 512 MB, HDD 12x8 TB), размещенных в центре обработки данных (ЦОД). Стоит обратить внимание, что за год опытной эксплуатации АПОИ на фоне увеличения общего количества заявок потребителей (по причине их автоматической и более оперативной обработки) все они были выполнены всего лишь при 10% средней загрузке вышеупомянутого 10-ти серверного кластера (технология НКПОР задействовала более сотни единиц техники). При пиковой загрузке комплекс АПОИ на приведенном выше кластере выдает следующие характеристики производительности (табл. 2).

Таблица 2

Статистика скорости обработки комплекса АПОИ

Среднее количество маршрутов в сутки	359 маршрута (эквивалентно 4 минутам на маршрут)
Среднее количество продуктов (сцен) в сутки	3346 продуктов (эквивалентно 25 секундам на маршрут)
Средняя площадь обработанной территории в сутки	1,5 млн. кв. км
Средний объем созданной продукции в сутки	3 – 7 ТБ (в зависимости от типа КА)

На рис. 3 и рис. 4 представлена статистика за 9 месяцев наблюдения работы АПОИ в рамках ФФД ДЗЗ. За указанный период суммарно было обработано 315 980 продуктов (сцен), объемом 226,7 ТБ.

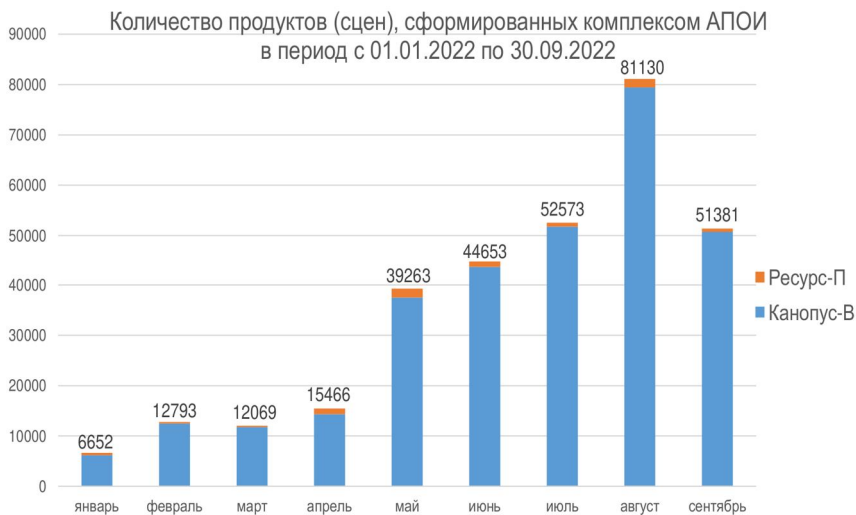


Рис. 3. Количество сцен, выданных потребителям за 9 месяцев наблюдения работы АПОИ в ходе эксплуатации ФФД ДЗЗ



Рис. 4. Объем данных (ТБ), выданных потребителям за 9 месяцев наблюдения работы АПОИ в ходе эксплуатации ФФД ДЗЗ

Таким образом, разработанный комплекс АПОИ позволил произвести качественный скачок в наземной обработке данных с отечественной ОГ КА ДЗЗ:

- от более полусотни задействованных в обработке операторов до полного автомата обработки;
- от более сотни единиц техники (преимущественно АРМ) до нескольких серверов;
- от обработки в течении нескольких часов и суток до обработки в течение нескольких минут;
- от точности геопривязки в десятки и сотни метров до единиц метров.

Однако помимо вышеперечисленных очевидных преимуществ технологии АПОИ над НКПОР нельзя не отметить и другие немаловажные факты. С началом эксплуатации АПОИ российские потребители впервые получили возможность в автоматическом режиме оперативно, в больших объемах и на значительные территории получать:

- мультиспектральные продукты с качественно сведенными спектральными каналами;
- продукты BUNDLE, в которых геометрически сведены не только спектральные каналы между собой, но и спектральные каналы с каналом панхроматической съемки;
- продукты PANSARP как в уровне L1(BASIC), так и в уровне L2(ORTHO Ready, ORTHO);

- продукты КА типа «Канопус-В» с радиометрическим разрешением 12 бит, в том числе в уровне L1(BASIC);
- расширенный состав продуктов (маски качества, облаков и подстилающей поверхности);
- расширенный состав метаданных продуктов по стандарту OGC (Open Geospatial Consortium);
- более высокое качество внутренней геометрии продуктов за счет применения более строгих математических моделей обработки [14];

Доказательством востребованности и эффективности технологий АПОИ служит многократно увеличенный спрос на отечественные данные ДЗЗ со стороны российских потребителей с момента начала эксплуатации ФФД ДЗЗ, функционирующего на базе обработки АПОИ. При этом, как показала статистика (рис. 5) наиболее востребованными стали продукты BUNDLE и PANSARP (суммарно 73% заявок), которые практически не создавались ранее для потребителей средствами НКПОР ввиду существенной трудоемкости ручной обработки и огромных временных затрат на это.

Соотношение продуктов MS, PAN, BUNDLE и PANSARP за период с 01.01.2022 по 30.09.2022

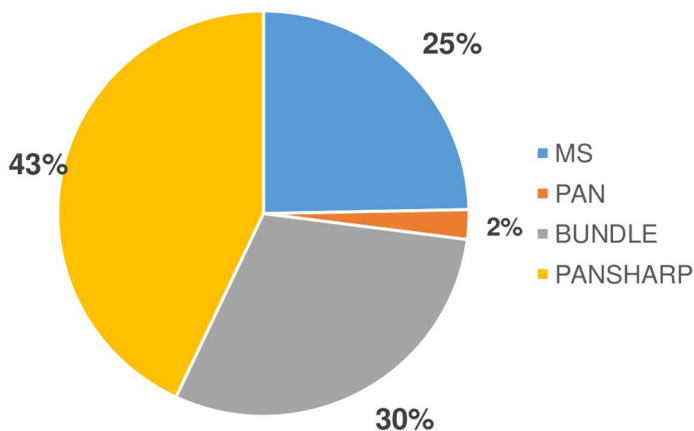


Рис. 5. Соотношение типов продуктов, заказанных потребителям за 9 месяцев наблюдения работы АПОИ в ходе эксплуатации ФФД ДЗЗ

Технологии комплекса АПОИ легли в основу подсистемы обработки данных информационной системы «Цифровая Земля», создаваемой по заказу ГК «Роскосмос» в рамках национальной программы «Цифровая Экономика РФ».

Литература

1. Федоткин Д. И., Тохиян О. О. Перспективные подходы к построению комплексов обработки данных // Журнал «Дистанционное зондирование Земли из космоса в России». 2018 г., № 1. С. 34 – 43.
<https://www.roscosmos.ru/media/pdf/dzz/dzz-2018-01.pdf>
2. Кушнырь О. В. Возможности Российской космической системы ДЗЗ для решения социально-экономических задач // Материалы 8-й Международной научно-практической конференции «Геодезия. Маркшейдерия. Аэросъемка. На рубеже веков». Москва: ГМА, 2017.
<https://con-fig.com/wp-content/uploads/2018/11/kushnyr.pdf>.
3. В. В. Ромашкин, П. А. Лошкарев, Д. И. Федоткин, О. О. Тохиян, Т. А. Арефьева, В. А. Мусиенко. ЕТРИС ДЗЗ – современные решения в развитии отечественной наземной космической инфраструктуры дистанционного зондирования Земли из космоса // Журнал Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 220 – 227.
<http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=2009>
4. 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.
<https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2019/11/Programma-vyezdnogo-zasedaniya-2019.pdf>.
5. 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.
<http://conf.rse.geosmis.ru/files/books/2020/8488.htm>.
6. Болтачёв М. Н. Предоставление региональным потребителям информационных продуктов посредством комплекса «Цифровая Земля – Сервисы // Материалы 2-й Совместной международной научно-технической конференции «Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки». Санкт-Петербург, 2022.
<https://conf.racurs.ru/conf2022/programma/speakers.php>.
7. Павлов А. В., Никитин И. А., Гронь А. В., Головина Т. Ю. Федеральный фонд дан-

- ных ДЗЗ из космоса. Особенности предоставления данных ДЗЗ физическим и юридическим лицам // Приложение к сборнику информационных материалов «Дистанционное зондирование Земли из космоса» № 18 (77), 2021
<https://www.roscosmos.ru/media/files/2022/Dec/18..77..10.21.pdf>.
8. 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
<https://www.roscosmos.ru/39506/>.
9. Натарова Е. В. О практических результатах реализации проекта «Цифровая Земля» в рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в пилотных регионах Российской Федерации // Материалы 6-го заседания МВК РКД. 18 – 19 мая 2023 г., Тула.
<https://www.roscosmos.ru/39506/>.
10. ГОСТ Р 59480-2021 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Уровни обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса.”
<https://files.stroyinf.ru/Data/762/76232.pdf>.
11. Федоткин Д. И., Боровенский Е. Н., Сысенко Д. В., Ядыкин А.В. Комплекс автоматической потоковой обработки информации – результаты эксплуатации в интересах потребителей Федерального фонда данных дистанционного зондирования Земли (ФФД ДЗЗ) // Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2022. С. 72. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a.
<http://conf.rse.geosmis.ru/files/books/2022/9153.htm>.
12. Д. И. Федоткин, А. В. Ядыкин, Е. Н. Боровенский, Д. В. Сысенко. Результаты эксплуатации комплекса автоматической потоковой обработки информации в интересах потребителей федерального фонда данных дистанционного зондирования Земли РФ // Материалы 10-й международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». Москва, ВНИИЭМ, 2022
https://www.vniiem.ru/ru/uploads/files/conferences/220929/materialy_2022.pdf.
13. 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.
14. Федоткин Д. И., Боровенский Е. Н., Сысенко Д. В., Ядыкин А. В. Комплекс автоматической потоковой обработки информации (АПОИ) – новый уровень скорости и качества обработки данных ДЗЗ. // Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2022. С. 73. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a.
<http://conf.rse.geosmis.ru/files/books/2022/9160.htm>

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ АНТЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ – МЕТОД «СОЛНЕЧНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ»

А. К. Гончаров

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

Вопросы измерения коэффициента усиления антенных комплексов являются одной из самых востребованных и одновременно непростых задач. Комплексы приема информации с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли имеют в своем составе большой парк антенных систем с разными диаметрами антенн (от 2 до 12 м) и, следовательно, коэффициентами усиления. При изготовлении антенных комплексов необходимо обеспечить подтверждение требований ТЗ по коэффициенту усиления. Работы эти достаточно трудоемки и требуют использования специальных полигонов или заглушенных камер [1]. При проведении модернизации антенных комплексов, например, замены облучателя, требуется подтверждение сохранности коэффициента усиления. При эксплуатации антенных комплексов необходимо проверять неизменность коэффициента усиления, что требует разработки специальных, желательно нетрудоемких методов. В данной работе предлагается к рассмотрению такой метод.

В основе метода лежит использование Солнца как источника СВЧ-излучения. В работе [2] рассмотрен метод измерения коэффициента усиления на основе использования СВЧ-излучения Солнца и формирования так называемой солнечной кривой АК. При этом «солнечная кривая» формируется на основе предварительного знания коэффициентов усиления набора антенных комплексов разного диаметра. Использование «солнечной кривой» позволяет по С/Ш от солнца определить значение коэффициента усиления аттестуемой антенны.

Предлагаемый к рассмотрению метод основан на регистрации отклика антенного комплекса при наведении его на Солнце и выходе его из солнечного диска, аппроксимации полученного отклика и получении первой производной функции отклика. По максимальным значениям производной для антенных комплексов с известными коэффициентами усиления строится зависимость, которая и будет использоваться для определения коэффициента усиления вновь вводимых антенных комплексов. Предлагаемый метод определения коэффициента усиления антенных комплексов назван методом «солнечной производной». Применение этого метода расширяет возможности ука-

занного ранее метода [2] для измерения высоких значений коэффициентов усиления. Этот метод не требует проведения абсолютных измерений уровня сигнала.

Литература

1. Метод измерения характеристик антенн СВЧ / Под редакцией Н. М. Цейтлина. – Москва: Радио и связь, 1985. – 368 с.
2. Гончаров А. К. Метод измерения коэффициента усиления антенных комплексов – метод «солнечной кривой АК» / А. К. Гончаров // Материалы десятой международной научно-технической конференции: Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования земли. – С. 95.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

А. И. Андреев, В. Д. Блощинский, Л. С. Крамарева
(Дальневосточный центр ФГБУ «Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета», г. Хабаровск)

Развитие и совершенствование методов обработки и интерпретации спутниковых данных значительно расширили возможности их применения в повседневной практике, в том числе в гидрометеорологии для анализа и прогноза погоды. Это объясняется тем, что спутниковые приборы дистанционного зондирования обеспечивают повторяющиеся наблюдения за состоянием атмосферы и поверхности Земли в круглосуточном режиме и с высокой периодичностью. Важным преимуществом таких приборов является возможность вертикального зондирования атмосферы в районах, недоступных для наземных измерительных приборов, особенно над океанами. Намечившееся в настоящее время увеличение числа гидрометеорологических спутников позволяет решать множество научных и оперативных задач, связанных с мониторингом окружающей среды. Однако параллельно с увеличением возможностей возрастает и количество ограничений, связанных с обработкой большого объема разнородных данных, которые часто не имеют логической связи между собой.

Использование методов искусственного интеллекта (ИИ), таких как нейронные сети, позволяет обрабатывать и учитывать большое количество зависимых и независимых данных. В Научно-исследовательском центре космической гидрометеорологии «Планета» (НИЦ «Планета») тема применения технологий ИИ в задаче обработки и интерпретации спутниковых данных развивается не первый год, в том числе и для российских КА. Для совершенствования алгоритмов и сокращения времени на их разработку в 2022 году в НИЦ «Планета» был установлен сервер для высокопроизводительных вычислений с двумя центральными процессорами и графическими картами в количестве 8 штук. Использование такого аппаратного обеспечения позволило значительно сократить время обучения нейронных сетей и многократно увеличить объем используемых данных для обучения. Все это в совокупности позволяет в короткие сроки разрабатывать высокоточные алгоритмы по расчету метеорологических параметров с использованием больших объемов данных.

Методы ИИ в НИЦ «Планета» используются в таких областях, как предварительная обработка спутниковых данных и расчет информационных продук-

тов. Например, для высокоэллиптического космического аппарата (КА) «Арктика-М» № 1 был разработан алгоритм коррекции данных, а именно минимизации полос в инфракрасных каналах, на основе применения сверточной нейронной сети. Полученное программное обеспечение внедрено в оперативную обработку в комплексе обработки информации с КА «Арктика-М» № 1 в составе наземного комплекса приема и обработки информации (НКПОР-АМ) Росгидромета.

В рамках получения тематической продукции разработаны и внедрены алгоритмы на базе сверточных нейронных сетей для более точного детектирования облачности, снежного и ледяного покровов. Эти алгоритмы реализованы для приборов МСУ-МР, МСУ-ГС и АНІ, установленных на КА серий «Метеор-М», «Арктика-М» и «Электро-Л», Himawari, соответственно. Помимо этого с применением методов ИИ по данным прибора АНІ рассчитываются типы облачности и интенсивность осадков для территории Азиатско-Тихоокеанского региона, которые являются важным дополнением к аэросиноптическому материалу, особенно над территориями, где отсутствуют наземные наблюдения. Одной из последних разработок является определение вертикальных профилей температуры и влажности в атмосфере по измерениям прибора МТВЗА-ГЯ, установленного на КА серии «Метеор-М». Особенностью разработки является то, что для обучения сети прямого распространения на основе многослойного персептрона используется обучающая выборка, которая содержит в себе практически все вариации атмосферных параметров за несколько лет.

Таким образом, подходы к решению типовых задач гидрометеорологии с использованием методов ИИ позволяют учесть большое количество различных зависимых и независимых величин, что повышает точность конечного результата, которая сравнима с классическими подходами, а по ряду параметров их превосходит. При этом обеспечивается высокая скорость обработки поступающей спутниковой информации с использованием современных аппаратных средств и полностью автоматизированными процедурами получения информационных продуктов.

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ ДЛЯ РАБОТЫ С ДАННЫМИ ПРИБОРА МСУ-МР

Д. В. Лозин, А. М. Матвеев, Е. А. Лупян
(Институт космических исследований РАН, г. Москва)

В докладе представлены результаты решения задачи создания метода достоверного детектирования пожаров на основе данных с прибора МСУ-МР, функционирующего на борту спутника «Метеор-М» № 2-2. Настоящая работа является полноценным развитием труда, подробно описанного в статье [1]. Для решения поставленной задачи используется алгоритм детектирования пожаров MOD14, рассчитанный на работу с данными прибора MODIS, установленного на спутниках TERRA и AQUA. Данный алгоритм был модифицирован для работы с данными МСУ-МР и показывал приемлемый результат детектирования на некоторых из доступных сцен. Вместе с тем были обнаружены проблемы работоспособности алгоритма, связанные с ложным детектированием и функциональностью предложенного метода на низкотемпературных пожарах. Так же отдельной проблемой являлась фильтрация сеансов с некорректными данными. Все это не позволяло говорить об устойчивости и достоверности получаемого результата детектирования. В связи с этим был проведен ряд работ, который условно можно разбить на следующие блоки:

1. Фильтрация шумов. Реализованы фильтры, применяемые к исходным данным МСУ-МР и исключающие сканы с выявленными помехами.

2. Устранение пропусков. Выявлены основные причины пропусков (ложная фильтрация облачности и пропуски пожарных пикселей на кромке больших пожаров), изменены параметры в соответствующих тестовых секциях.

3. Детектирование низкотемпературных пожаров ($280\text{K} < T_4 < 300\text{K}$). Определение времени возникновения таких пожаров (только на ночных сеансах), доработка параметров для ночных сеансов для детектирования соответствующих случаев.

4. Маскирование воды. Построение маски воды, аналогичной используемой в MOD14.

5. Фильтрация ложных срабатываний на горячих поверхностях. Создание специальной секции фильтрации горячих поверхностей, учитывающий специфику данных МСУ-МР, ввиду невозможности использования аналогичной секции фильтрации из оригинального MOD14.

Проделанные работы позволили перейти к оценке достоверности работы алгоритма при обработке большого объема данных. Для этого алгоритмом

была произведена обработка всех доступных сеансов МСУ-МР за 2022 год, покрывающих территорию РФ. Принимая пожарные пиксели (горячие точки ГТ) MODIS за ожидаемый результат работы модифицированного MOD14 на сценах МСУ-МР, появилась возможность оценить ошибку ложных детектирований и ошибку пропусков алгоритма на долгоиграющих пожарах. Результат сравнения представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Сопоставление ГТ МСУ-МР и MODIS, принадлежащих пожарам
длительностью больше 7 дней на территории РФ за 2022 год**

	ГТ МСУ-МР		ГТ MODIS		Ошибки для МСУ-МР	
	Сопост. с MODIS	Несопост. с MODIS	Сопост. с МСУ-МР	Несопост. с МСУ-МР	Ошибка ЛД	Ошибка недостатка детектирования
всего	40322		50715	42	0,00%	0,08%
лесных	38212		46262	40	0,00%	0,09%

Еще одним способом проверки получаемого результата детектирования ГТ по данным МСУ-МР является сравнение величин интегральных площадей, пораженных пожарами на территории РФ за 2022, посчитанными по данным МСУ-МР и MODIS (табл. 2).

Таблица 2

**Сопоставление интегральных площадей пожаров [га] на территории РФ
за 2022 год, сформированных на основе ГТ МСУ-МР и MODIS**

Прибор	Число пожаров	Число лесных пожаров	Площадь пожаров	Лесная площадь пожаров	Площадь пожаров без коррекции	Лесная площадь пожаров без коррекции
МСУ-МР	8 322	4 275	4 579 434	2 444 469	8 797 278	4 070 852
MODIS	24 334	11 519	7 478 517	3 077 908	16 284 384	5 458 536

Полученные цифры, безусловно, позволяют говорить о применимости модификации MOD14 для детектирования ГТ по данным МСУ-МР. Что более важно, разработанный метод показывает устойчивый результат детектирования при обработке данных за год, что так же делает возможным его применение для глобального мониторинга лесных пожаров на территории РФ.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8.

Литература

1. Лозин Д. В. Разработка методов детектирования пожаров по данным МСУ-МР на основе обучающей выборке с использованием данных MODIS / Д. В. Лозин, А. В. Кашницкий, Е. А. Лупян // Материалы десятой научно-технической конференции: Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли. – С. 126 – 132.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ СТРОЕНИЙ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ КАМЕРЫ LEICA ADS100

А. А. Золотой, К. Э. Верчак, Д. И. Новиков

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

Семантическая сегментация изображений является одной из задач слабого искусственного интеллекта и заключается в разделении изображения на области, соответствующие классам объектов, с одновременным определением типов объектов в каждой области изображения. В отличие от традиционных задач классификации и детектирования объектов на изображениях семантическая сегментация изображений предполагает не только определение класса объектов, но и обозначение их пространственных границ на изображении. От задач обычной сегментации изображений, когда области объединяются по принципам цветового, яркостного или текстурного сходства, данная задача отличается необходимостью сегментации только областей изображения, которые относятся к объектам целевого класса.

Источником данных для семантической сегментации объектов класса «Строения» в данной работе являлись аэрофотоснимки (АФС) полученные камерой Leica ADS100, которые представляют собой трехканальные RGB-изображения с пространственным разрешением 0,3 м на пиксель. Для семантической сегментации строений на АФС 0,3 м на пиксель использовались модели, построенные на основе искусственных нейронных сетей сверточного типа (CNN – Convolutional Neural Net-work). Было рассмотрено несколько популярных архитектур CNN: U-Net, Mask-R, Autoencoder, UTransNet. По соотношению сложности архитектуры и качеству ее работы для семантической сегментации строений на АФС была выбрана модель CNN с архитектурой U-Net, которая была разработана для семантической сегментации медицинских изображений. Архитектура U-Net основана на идее сквозных соединений слоев энкодера и декодера, благодаря чему модель начала показывать лучшие результаты, по сравнению с обычными архитектурами типа Autoencoder, и требовать меньшего объема данных для обучения.

Для обучения модели были подготовлены данные в виде фрагментов АФС размером 3200 на 3200 пикселей, с ручной разметкой на них целевых объектов класса «Строения». На первом этапе ручной разметки выполнялась пер-

вичная разметка снимков одним оператором и визуальная проверка другим оператором. Целью первого этапа являлось получение первично размеченных снимков и исправление грубых ошибок, связанных с невнимательностью операторов. На втором этапе анализировались отклики моделей, обученных на данных, которые были подготовлены на первом этапе. Целью второго этапа являлся более глубокий анализ и исправление разметки.

По данным размеченных фрагментов АФС была сформирована обучающая выборка объектов класса «Строения» объемом более 28000 образцов без аугментации. Обучена модель U-Net с упрощенной архитектурой. Получены отклики модели для каждого пикселя образцов обучающей выборки.

Элементы масок, образующихся в выходных каналах модели R_1 и R_2 , содержат значения в диапазоне от 0 до 1, которые характеризуют степень уверенности модели в том, что данный пиксель на входном изображении принадлежит объекту целевого класса (канал R_1) или не принадлежит объекту целевого класса (канал R_2).

Мнение модели $C(x, y, k)$ о принадлежности пикселя $[x, y]$ на k -м образце обучающей выборки к объекту целевого класса, нормированное в диапазон значений от 0 до 1, вычислялось по формуле:

$$C(x, y, k) = \frac{1 + R_1(x, y, k) - R_2(x, y, k)}{2}. \quad (1)$$

Отклонения $D(x, y, k)$ мнения модели $C(x, y, k)$ от маски ручной разметки образцов обучающей выборки $M(x, y, k)$ для каждого пикселя изображений образцов вычислялось по формуле:

$$D(x, y, k) = |M(x, y, k) - C(x, y, k)|. \quad (2)$$

По вычисленным значениям $D(x, y, k)$ для всех образцов обучающей выборки строилась гистограмма H_1 и график кумулятивной суммы G_1 , нормированные в диапазон от 0 до 1. По графику G_1 выбирался порог T_1 для отсеечения мусорных пикселей с большими значениями $D(x, y, k)$. Первичная оценка при выборе порога T_1 строилась на основе матрицы конфузий (Confusion Matrix), нормированной в диапазон от 0 до 1. Для вычисления матрицы конфузий мнения модели категоризировались до значений 0 или 1 и для каждого образца обучающей выборки рассчитывалась метрика assigency.

Определение очагов ошибок в образцах обучающей выборки выполнялось путем гридовки образцов с размером ячеек сетки, минимально достаточным для захвата статистически значимого числа пикселей. Для каждой ячейки сетки вычислялось отношение $A(i, j, k)$ числа мусорных пикселей, захваченных ячейкой к числу всех пикселей в ячейке, где i, j – координаты ячейки на k -м образце.

По значениям $A(i, j, k)$ для всех образцов строилась гистограмма H_2 и график кумулятивной суммы G_2 , в диапазоне от 0 до 1. По графику G_2 выбирался порог T_2 для отсеечения мусорных ячеек сетки с большими значениями $A(i, j, k)$, то есть очагов ошибок, содержащих много мусорных пикселей. Образцы, содержащие очаги ошибок, исключались из рабочей обучающей выборки и отправлялись на анализ и корректировку разметки.

В результате из исходной обучающей выборки было исключено 3,7% образцов, содержащих очаги ошибок. Объем рабочей обучающей выборки с учетом аугментации составил более 180000 образцов, на которых была обучена модель U-Net. Разделение обучающей выборки на части train/valid/test при обучении модели выполнялось в соотношении 0,7/0,15/0,15. Точность, показываемая рабочей моделью на тестовых данных, составила 0,91.

КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

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

Геокодирование изображений от космических аппаратов (КА) высокого пространственного разрешения выполняется на основе измерительной информации, поступающей от астродатчиков, датчиков угловых скоростей и приемников ГЛОНАСС/GPS. При штатной работе измерительных систем и регулярном проведении калибровочных мероприятий обеспечивается высокоточная геопривязка материалов съемки [1]. Однако в процессе эксплуатации КА возможно возникновение нештатных ситуаций, приводящих, например, к сбоям или поломке астродатчиков [2]. В результате точность измерения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования снижается и, как следствие, снижается точность геокодирования получаемых в ходе наземной обработки информационных продуктов. Поэтому для сохранения измерительных свойств распространяемых потребителям видеоданных в процессе обработки должна привлекаться опорная информация, на основе которой будет уточняться строгая модель съемки.

В работе [3] для повышения точности геопривязки используется опорное растровое покрытие, полученное по снимкам от КА Landsat-8, а в работе [4] – приобретаются геокодированные снимки зарубежного производства. Оба этих решения имеют очевидные недостатки, связанные с невысокой точностью опоры и зависимостью от зарубежных поставщиков соответственно.

В докладе предлагается концепция поддержания точностных характеристик материалов съемки на основе банка опорных сюжетов (абрисов), формируемых при штатной работе измерительных систем КА. Абрис представляет собой фрагмент ортотрансформированного снимка с известными географическими координатами и высотой характерного объекта.

В рамках предлагаемой концепции представлены следующие технические решения.

Во-первых, автоматическое наполнение банка абрисов с использованием алгоритма детектирования на панхроматических снимках контрастных прямоугольных объектов с ровными границами, таких как крыши малоэтажных домов, навесы, бассейны и т.п. Алгоритм основан на морфологическом ана-

лизе текстуры изображения и обладает преимуществами перед известным алгоритмом детектора Харриса.

Во-вторых, комплекс мер по обеспечению актуальности и равномерности распределения абрисов по поверхности суши, расположенных в ячейках географической сетки. Освещен вопрос ведения статистики по использованию абрисов для своевременной очистки базы от избыточных объектов. Старые абрисы необходимо хранить для возможности обработки архивных маршрутов съемки, а абрисы, имеющие большое количество неуспешных идентификаций должны удаляться.

В завершении доклада приведены результаты апробации предложенных алгоритмических решений на натурных данных от КА «Ресурс-П» № 3. Подчеркивается, что весьма перспективным является подход по созданию банка абрисов на основе данных стереосъемки за счет получения трехмерных координат характерных объектов с гарантированной точностью.

Литература

1. Точностные характеристики выходной продукции высокого разрешения КА «Ресурс-П» / Р. Н. Ахметов, И. И. Зинина, А. А. Юдаков [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 41-47.
2. Технология потоковой обработки данных ДЗЗ высокого разрешения / В. В. Еремеев, И. И. Зинина, А. Е. Кузнецов [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 11 – 18.
3. Технология автоматического контроля точности геопривязки спутниковых изображений по опорным снимкам от КА «LANDSAT-8» / А. Е. Кузнецов, В. И. Пошехонов, А. С. Рыжиков // Цифровая обработка сигналов. – 2015. – № 3. – С. 37 – 42.
4. Особенности обработки данных сенсора «Геотон-Л1» космического аппарата «Ресурс-П» при формировании бесшовных сплошных покрытий регионов РФ / А. Н. Марков, А. И. Васильев, А. В. Крылов [и др.] // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 72 – 83.

ТЕХНОЛОГИЯ БЕСШОВНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ ДАННЫХ ПЛОЩАДНОЙ СЪЕМКИ

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

Для получения ортоплана высокого разрешения целевой площади, не захватываемой одним снимком, применяется метод площадной съемки. В соответствии с этим методом на одном витке территория снимается несколько раз под разными углами крена и тангажа. Результатом выполнения площадной съемки является набор перекрывающихся снимков, которые затем объединяются в одно мозаичное изображение. Особенность решения этой задачи состоит в том, что из-за ошибок внешнего ориентирования камеры координатные рассогласования одноименных объектов на объединяемых изображениях могут достигать десятков пикселей. Традиционно для минимизации взаимных рассогласований выполняется уточнение геопривязки мозаичных изображений с использованием опоры и процедуры блочного уравнивания. А для маскирования остаточных рассогласований, в соответствии с инструкцией по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов ГКИНП 02-036-02, оператором проводится линия пореза в перекрывающихся частях изображений.

В докладе предлагается автоматическая технология бесшовного объединения данных площадной съемки, не требующая участия оператора и использования опорной информации. Рассматриваются 2 подхода к выполнению блочного уравнивания: по строгой модели или по RPC-модели съемки. Для уравнивания по строгой модели используются изображения уровня обработки 1 данных ДЗЗ (L1). В этом случае алгоритм уравнивания учитывает особенности функционирования конкретной съемочной аппаратуры. Унифицированной моделью съемки является RPC-модель, использование которой позволяет разрабатывать обобщенные алгоритмы обработки. Показано, что RPC-модель изображений уровня L1 аппроксимирует строгую модель с недостаточной точностью вследствие сложного углового движения спутника в процессе съемки [1]. Поэтому для выполнения уравнивания по RPC-модели целесообразно использовать трансформированные на среднюю высоту изображения уровня обработки 2 (L2) данных ДЗЗ.

Предлагаемая технология позволяет применять оба подхода, выбор которого определяется входными данными, представленными набором изображений уровня L1 или L2. Технология основана на выполнении 5 этапов.

На первом этапе осуществляется поиск одноименных точек пар объединяемых изображений по алгоритму корреляционно-экстремального отождествления [2].

На втором этапе используется блочное уравнивание. Изображения блока уравниваются одновременно, что позволяет устранить накопление ошибки попарного уравнивания. Для уравнивания по RPC-модели применяется алгоритм блочного уравнивания изображений без опорной информации [3]. Алгоритм включает уточнение геодезических координат одноименных точек и поиск параметров уравнивания с использованием одноименных точек в качестве опорных. В результате уравнивания случайные ошибки геопривязки ортоплана будут уменьшены. В качестве метода оптимизации нелинейной регрессии используется алгоритм Левенберга – Марквардта, показавший наилучшую сходимость системы нелинейных уравнений невязок на тестовых данных.

На третьем этапе изображения блока ортотрансформируются с учетом введенных поправок блочного уравнивания.

На четвертом этапе выполняется автоматический поиск линий пореза в соответствии с алгоритмом порядко-независимого формирования мозаичного изображения [4]. Алгоритм позволяет выполнять поиск линий пореза для произвольного числа изображений и учитывает особенности работы с изображениями высокого пространственного разрешения. В рамках алгоритма на основе растровых данных в областях пересечения изображений строится стоимостная функция, которая затем передается алгоритму маркированной сегментации. Стоимостная функция в точке задает величину целесообразности проведения линии совмещения в этой точке: принимает малые значения в тех элементах изображения, через которые прохождение линии возможно, и большие – через которые нежелательно. Поиск линии совмещения осуществляется алгоритмом маркированной сегментации, который относит пиксели тому или иному изображению мозаики, на основе результата применения стоимостной функции. В рамках работы рассматривается морфологический градиент и морфологический водораздел в качестве стоимостной функции и алгоритма маркированной сегментации соответственно.

На пятом этапе с учетом найденных линий пореза осуществляется трансформирование изображений в единый мозаичный снимок. При этом допускается включение ретуширования плавным переходом изображений вдоль линий пореза.

Предлагаемая технология апробирована на данных площадной съемки, полученных с датчика «Геотон» космического аппарата (КА) «Ресурс-П» с пространственным разрешением 0,7 метра. Технология готовится к внедре-

нию в программные комплексы обработки данных от КА «Ресурс-П» и «Аист-2Т», разработанные для операционной системы Astra Linux.

Литература

1. Пошехонов В. И. Оценка точности аппроксимации строгой модели космической съемки рациональными полиномами / В. И. Пошехонов, А. Е. Кузнецов, М. М. Егин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2023. – № 83. – С. 95 – 101.
2. Кузнецов А. Е. Исследование быстродействия алгоритмов поиска на изображениях одноименных точек с использование современной вычислительной техники / А. Е. Кузнецов, А. С. Рыжиков // Цифровая обработка сигналов. – 2017. – №3. – С. 40 – 44.
3. Егин М. М. Алгоритм блочного уравнивания снимков, привязанных по RPC-модели / М. М. Егин, А. Е. Кузнецов, В. И. Пошехонов // Сборник трудов IV Международного научно-технического форума : Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021 : в 10 т. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – 2021. – С. 43 – 48.
4. Егин М. М. Разработка алгоритма определения линий стыковки фрагментов мозаичных изображений земной поверхности / М. М. Егин // Материалы XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов : Новые информационные технологии в научных исследованиях. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – 2019. – С. 268 – 269.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И НЕЙРОСЕТЕЙ

В. А. Еремеев

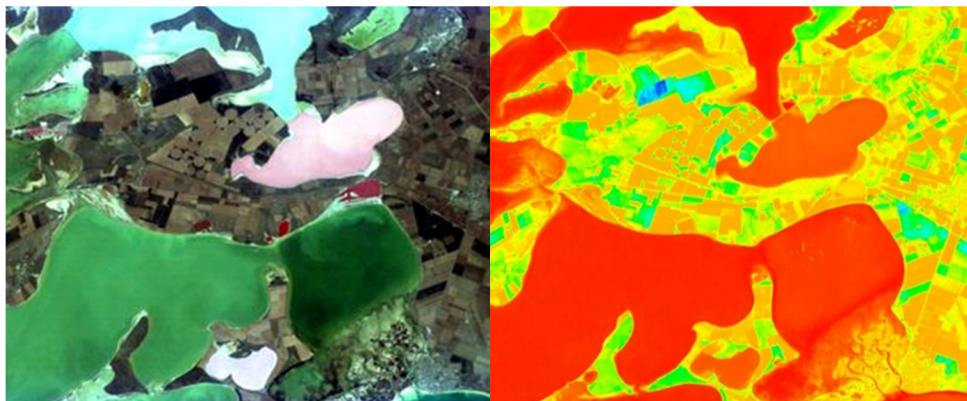
*(Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В. Ф. Уткина, г. Рязань)*

Гиперспектральная съемка Земли позволяет получить детальную информацию о спектральной отражательной способности объектов наблюдаемой сцены в зависимости от длины волны падающего излучения. Индексные изображения строятся с учетом знаний о характерных особенностях спектральной отражательной способности для конкретного природного объекта (растительность, водная поверхность, пески, лесные массивы и т. п.). Такие изображения позволяют оперировать не с многомерными данными о спектрах наблюдаемых объектов, а с одномерными индексами, определяющими характерные свойства их спектральных характеристик.

В докладе рассматривается подход, основанный на формировании для каждого из заданных объектов соответствующего индексного изображения, описывающего характерные особенности его спектральной отражательной способности. Космические снимки, содержащие объекты интереса, совместно с индексными изображениями предъявляются нейронной сети на этапах обучения и экзамена в виде двух наборов, сформированных по различным изображениям для этих наборов.

Представлен обзор подходов к формированию индексных изображений по материалам зарубежных публикаций [1], они касаются идентификации и анализа сельскохозяйственных культур, растительности, водных объектов и др. Приводится структура программного комплекса формирования индексных изображений, ориентированного на использование гиперспектральных снимков от российского космического аппарата «Ресурс-П» и нейросети U-Net [2].

На рисунке представлен пример: исходный гиперспектральный снимок в формате RGB (слева) и индексное изображение (справа).



Литература

1. Еремеев В. А. Программный комплекс формирования индексных изображений по данным гиперспектрального зондирования Земли из космоса / В. А. Еремеев, П. А. Князьков // Современные технологии в науке и образовании : Труды IV Междунар. науч. - техн. форума. – Рязань: РГРТУ, 2021. – Т. 6. – С. 35 – 38.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Российской Федерации № 2023613667 : Программа формирования индексных изображений по данным гиперспектральной съёмки.: заявл. 03.02.2023 : опубл. 17.02.2023 / Еремеев В. А. – 1с.

СОВМЕСТНЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ И МОРСКОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РЕГИСТРАЦИИ СЛЕДА НАДВОДНОГО СУДНА

¹В. Н. Носов, ²А. Н. Ядренцев, ¹С. Г. Иванов,
³С. Б. Каледин, ¹Т. В. Глебова, ⁴А. А. Шпаковский

*(¹Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского РАН, Москва;*

²ЦГБУ НИИ ЦПК им. Ю. А. Гагарина, Моск. обл.;

³МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва;

⁴НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ ВМА, г. Санкт-Петербург)

ГЕОХИ РАН в период 2013 – 2015 гг. был участником космического эксперимента (КЭ) «Экон-Л», выполненного в рамках НИР «Русло-2020» совместно с ОАО «РКК «Энергия» им. С. П. Королева, ЦГБУ НИИ ЦПК им. Ю. А. Гагарина и НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ ВМА. Целью данных работ являлось исследование возможностей цифровой фоторегистрации с борта МКС следных аномалий от движущихся надводных судов. В соответствии с ТЗ на НИР ГЕОХИ РАН выполнял морскую составляющую эксперимента, которая включала организацию движения выделенного ВМФ корабельного обеспечения, своевременное инициирование светодымовых маркеров для ориентации космонавтов на борту МКС и контрольное измерение следных аномалий с помощью судового лазерно-оптического комплекса ГЕОХИ РАН, расположенного на судне-постановщике следа. Кроме того, на ГЕОХИ РАН возлагалась разработка алгоритмов и программного обеспечения обработки полученных космических снимков. ОАО «РКК «Энергия» выполняла необходимые баллистические расчеты, ЦПК им. Ю. А. Гагарина – обучение экипажей космонавтов и информационный обмен с ними в период проведения экспериментов, НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ ВМА – контролировало выделение судового обеспечения и измерений гидрометеорологических параметров в районе проведения работ.

Эксперименты проводились на морском полигоне вблизи г. Феодосия. Его местоположение обозначено на карте крымского побережья, приведенной на рис. 1. Траектории полета МКС показаны: синей линией – восходящая ветвь орбиты, красной линией – нисходящая ветвь. Положение выделенных судов на акватории в разные моменты выполнения эксперимента обозначено отметками НК-1 (гидрографическое судно) и НК-2 (постановщик следа).

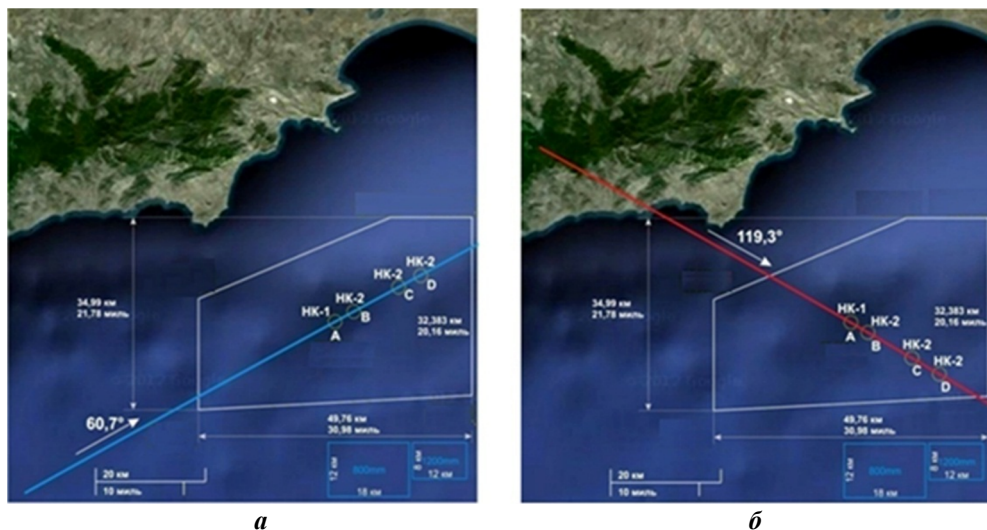


Рис. 1. Место проведения КЭ и направления полета МКС: восходящий (а) и нисходящий (б) витки МКС

Съемка с борта МКС выполнялась цифровыми фотокамерами, входящими в оснащение станции. При съемке использовалась короткая выдержка 1/8000 с. Размер экспонируемого кадра составлял от $8 \times 12 \text{ км}^2$, пространственное разрешение – от 2,5 м.

Всего было выполнено 18 сеансов КЭ. Из них 5 – в 2013 г., 7 – в 2014 г. и 6 – в 2015 г. В общей сложности на трех этапах НИР было получено 930 снимков из них 578 снимков района полигона (509 в полутоновом изображении и 69 в зеркальном блике). К третьему этапу с помощью коррекции методики проведения эксперимента вероятность получения снимков района полигона была повышена до 99% (в 2013 г. она составляла 3%, в 2014 г. – 65%). На полутоновых снимках следные аномалии выделены на 17 снимках, то есть в 3,4% случаев, а на зеркально-бликовых снимках – на 52 снимках, то есть в 75,4% случаев. Это позволило сделать вывод об оптимальности регистрации следных аномалий на морской поверхности в зоне зеркального блика.

В состав лазерно-оптической аппаратуры контроля следных образований с борта судна – постановщика входили: сканирующий лазерный локатор для измерения статистических характеристик морского волнения, аэрозольный лидар – для регистрации параметров приводного аэрозоля и фотометр ярко-

сти моря – для измерения оптических характеристик приповерхностного слоя морской среды.

В процессе выполнения работ проводились гидрофизические измерения с борта судна БГК-774 (НК-1): измерялись температура толщи морской среды и воздуха, влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЛЕДА СУДНА НА СНИМКАХ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

¹В. Н. Носов, ²В. И. Тимонин, ²Н. И. Сидняев,

¹С. Г. Иванов, ²С. Б. Каледин

¹ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) РАН, г. Москва;

²ФГБОУ МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Москва)

В работе предлагается модификация метода обнаружения аномалий на космических снимках морской поверхности (МП), обусловленных прохождением морских судов. Основные положения метода изложены в [1].

Метод основан на выделении аномальных участков на снимках МП, обладающих сходной структурой, которая значимо отличается от структуры остальных участков поверхности. При этом не имеет значения, какой конкретно вид имеют эти аномальные структуры – важно лишь их отличие от фоновых. В методе для каждого скользящего по снимку фрагмента вычисляются определенные статистические характеристики, а затем геометрическая конфигурация совокупности фрагментов с экстремальными схожими характеристиками проверяется на соответствие геометрической конфигурации, соответствующей предполагаемому явлению (например, следу судна). Обобщенная структура следа судна, включающая в себя два боковых следа, турбулентный слой и некоторые другие его составляющие, приведена, например, в [2]. В качестве статистических характеристик фрагментов снимка МП, характеризующих его структуру, предлагалось использовать коэффициенты корреляции $r(\text{grad}X(\omega, \alpha), \text{grad}X(\omega, \beta)) = r(\alpha, \beta)$ градиентов показателя X (скоростей изменения X) в направлениях, составляющих углы α, β с фиксированной осью (например, горизонтальной осью снимка). Для краткости изложения под градиентом понимается производная по соответствующему направлению (то есть скаляр). Характеристика X может быть интенсивностью какого – либо цвета, главной компонентой этих интенсивностей или другим параметром. Скорость $\text{grad}X(\omega, \alpha)$ для конкретного пикселя ω в направлении α рассчитывается с помощью стандартных дифференциальных операторов [2], оценки коэффициентов корреляции по каждому фрагменту Δ вычисляются по совокупности векторов $(\text{grad}X(\omega, \alpha), \text{grad}X(\omega, \beta))$, $\omega \in \Delta$.

На рис. 1, а приведен снимок МП, на котором визуально четко выделяется турбулентный след судна, несколько хуже правый боковик следа и не идентифицируется левый боковик.

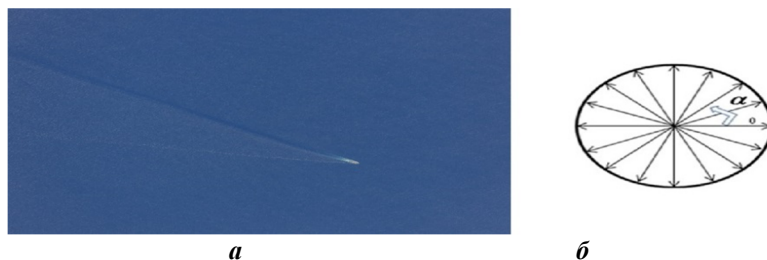


Рис. 1. Снимок МП – (а); поле направлений, вдоль которых рассчитываются градиенты скоростей интенсивности цвета B – (б)

На рис. 1, б показаны направления, вдоль которых вычислялись градиенты скоростей интенсивности цвета B снимка. Коэффициенты корреляции $r(\alpha, \beta)$ рассчитывались для значений $\beta = \alpha + 180^\circ$. Размер фрагментов снимка составлял (15×15) пикселей. Анализ результатов обработки показал, что качество идентификации структуры следа зависит от направления α , по которому вычисляются градиенты интенсивностей. При этом оптимальные направления для определения боковых следов различались для разных боковиков.

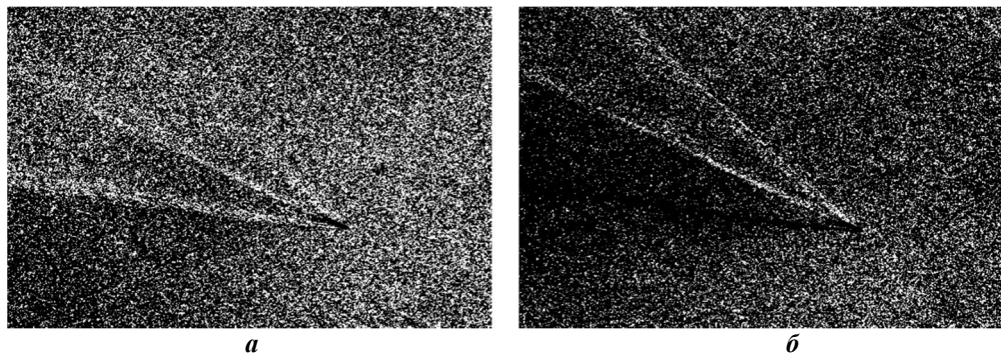


Рис. 2. Инфограммы корреляционных картин снимка МП при $a - \alpha = 116^\circ$; $0,4 < r < 0,6$; б – $\alpha = 154^\circ$; $0,4 < r < 0,6$

На рис. 2 представлены инфограммы корреляционных картин снимка МП, построенные следующим образом. В отличие от применяемых ранее методов, на этих инфограммах использован «двоичный» код для обозначения величин коэффициентов корреляции – белый цвет для коэффициентов корреляции из заданного интервала $r_1 < r < r_2$, черный цвет – для остальных значений.

Данный прием позволил значительно уменьшить «шум» при идентификации структуры следа и повысить точность прогноза местоположения судна. В частности, при направлении $\alpha = 154^\circ$ четко идентифицируется левый боковик, хотя на самом снимке он не просматривается (см. рис. 2, б). Также идентифицируется и правый боковой след, оптимальным для него является направление $\alpha = 116^\circ$, что показано на рис. 2, а.

Литература

1. Тимонин В.И., Тянникова Н.Д., Носов В.Н., Иванов С.Г., Климентьев М.К., 2018. Применение многомерных корреляционных процедур для идентификации следных структур на космических снимках морской поверхности. Процессы в геосредах. 4.: 1221–1225.
2. Шовенгердт Р. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

ПОДХОД К РАСЧЕТУ И АНАЛИЗУ ПЛОЩАДИ ЗЕРКАЛА СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ «КАНОПУС-В»

¹Я. В. Алексеенко, ²А. А. Антонова, ²В. И. Карташев, ³Ш. С. Фахми

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

²АО «Российские космические системы», г. Москва;

³Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко, г. Санкт-Петербург)

Водохранилище представляет собой крупный искусственный водоем, который создан для накопления воды. Основными задачами водохранилищ являются водоснабжение населенных пунктов, орошение сельскохозяйственных угодий, развитие гидроэнергетики и водного транспорта. Одним из основных параметров водохранилища является площадь зеркала водохранилища. Оценка площади зеркала водохранилища позволяет оценить запасы воды в водохранилище.

Симферопольское водохранилище (СВ) является одним из крупнейших искусственных водоемов Республики Крым и предназначено для водоснабжения населенных пунктов, орошения полей и обеспечения нужд Симферопольской ТЭЦ. Водохранилище находится южнее города Симферополь и имеет вытянутую форму. СВ обеспечивает водой город Симферополь и населенные пункты Симферопольского района. Питание СВ происходит из реки Салгир. Максимальная ширина составляет 1 500 метров, площадь зеркала СВ – 3,17 км², средняя глубина – 11 метров, максимальная глубина достигает 32 метров. Полный объем водохранилища – 36,0 млн м³, полезный – 34,0 млн м³.

Для расчета площади зеркала СВ применялись космические снимки с космического аппарата типа «Канопус-В» (КВ). КВ позволяет осуществить съемку всего СВ за один сеанс, а наличие ближнего инфракрасного канала позволяет строить индексные изображения с последующей векторизацией зеркала водохранилища и расчета площади.

Предварительно был проведен анализ существующих спектральных индексов, а также методов оценки водоемов с использованием космических снимков. Выбор методики обработки космических снимков был выбран с учетом технических характеристик съемочной аппаратуры КВ. Снимки для данной работы были загружены с геопортала Госкорпорации «Роскосмос»

(www.next.gptl.ru). Обработка космических снимков выполнялась в специальном программном обеспечении Image Media Center (www.novacenter.ru/cmsms/features).

Расчет площади зеркала СВ осуществлялся на основе ансамблирования индексных изображений (индексы NDVI, NDWI) и классификации без учителя (нечеткая кластеризация и метода k-средних) с последующей визуальной проверкой оператором. На рис. 1 представлен пример итоговых векторных слоев зеркала водохранилища.



Рис. 1. Пример созданного векторного слоя зеркала водохранилища

Полученные значения площади зеркала СВ за дату наблюдения (даты съемки) записываются в базу данных. Для визуализации полученных данных использовалось открытое программное обеспечение для создания информационных панелей Apache Superset (AS). Использование AS позволяет повысить эффективность визуального анализа данных с использованием большого

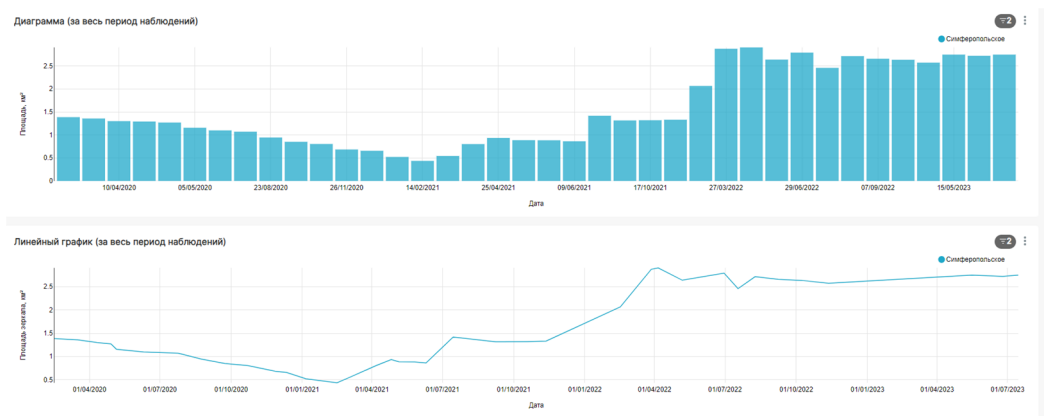


Рис. 2. Пример информационной панели

числа встроенных типов графиков и диаграмм. Пример информационной панели для визуализации данных представлен на рис. 2.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ФОРМЫ ОБЪЕКТОВ НА ЗЕМЛЕ И КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ

Н. И. Сидняев, Е. С. Казанцева

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

Доклад посвящен достаточно актуальной теме, а именно совершенствованию существующих методов зондирования Земли. Представлен метод анализа ранжировок обработки информации при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ), а также упорядочения объектов по степени обладания ими определенных свойств. Постулируются модели ранжировок со связями, табулируются точные распределения статистик ранговых критериев и строятся приближенные критерии, использующие те или иные приближения соответствующих точных распределений. Рассматривается проблема использования определенных коэффициентов ранговой корреляции, сравнение их друг с другом. Приведены результаты таблиц распределения, рассмотрена сложность вычисления критериев и свойства коэффициентов, соответствующих им параметров.

Рассмотрены физические и математические модели дешифрирования объектов земной поверхности. Показано, что дешифрирование данных ДЗЗ становится одним из важнейших методов для большинства наук о Земле. В настоящее время методы дистанционного зондирования становятся основным источником поставки оперативных пространственных данных для информационного обеспечения важных государственных задач. В работе достаточно глубоко систематизированы и обобщены материалы с помощью которого возможно определения статистических показателей [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Однако, следует отметить, что одной из проблем при использовании информации, содержащейся в снимках ДЗЗ, является изменение масштаба изображения в пределах каждого снимка. Здесь источники искажений достаточно многообразны, а именно фокусное расстояние оптической системы, геометрия проекции и охват территории, рельеф поверхности. Указанные признаки требуют совершенства существующих методик. Показано, что для решения данной проблемы нужно учитывать некоторые факторы форм объектов земной поверхности и объектов, а именно для устранения искажений изображений земной поверхности необходима геометрическая коррекция данных съемки, так как при этом увеличивается

вероятность точного распознавания полученных данных при ДЗЗ. Расчет покрытия наземных объектов наблюдения космической съемкой является одним из приоритетных и наиболее сложных этапов решения общей задачи планирования целевого функционирования орбитальных группировок космических аппаратов (КА) ДЗЗ. В результате такого расчета за указанный период времени должны быть определены оптимальные полосы съемки для каждого объекта наблюдения КА ДЗЗ орбитальной группировки с учетом накладываемых ограничений на условия выполнения съемки. Математически данная задача относится к классу нелинейных задач многокритериальной оптимизации с учетом ограничений в виде равенств и неравенств в условиях частичной недетерминированности данных. Критерии оптимальности при решении задачи могут варьироваться по количеству и по важности. Так, например, задача о рефракции для наземного наблюдателя сформулирована следующим образом: по заданным величинам кажущегося зенитного расстояния и высоты h' точки P и известной зависимости показателя преломления μ от высоты определить истинное зенитное расстояние z . В работе постулируется, что астрономическая рефракция $R(\zeta_0)$, соответствующая кажущемуся зенитному расстоянию ζ_0 , определяется следующим выражением:

$$R(\zeta_0) = r_0 \mu_0 \sin \zeta_0 \int_t^m \frac{d\mu}{\mu \left[(r_0 + h)^2 \mu^2 - (r_0 \mu_0 \sin \zeta_0)^2 \right]^{1/2}},$$

в котором μ_0 – показатель преломления в точке O . Из этого соотношения, следует, что угол ζ_0^* может быть выражен следующим образом:

$$\zeta_0^* = \zeta_0 + r_0 \mu_0 \sin \zeta_0 \int_m^m \frac{d\mu}{\mu \left[(r_0 + h)^2 \mu^2 - (r_0 \mu_0 \sin \zeta_0)^2 \right]^{1/2}},$$

где μ_0 – показатель преломления в точке P , а r_0 – геоцентрический радиус, проведенный в точку O на поверхности Земли, где находится наблюдатель. Проведенное исследование может быть полезным для разработки различных методик анализа нечисловых данных статистическими методами.

Литература

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

ОБРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АРХИВА ДАННЫХ ПРИБОРА МТВЗА В ИНТЕРЕСАХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹А. М. Матвеев, ¹А. А. Мазуров, ¹А. А. Прошин,
¹Е. В. Пашинов, ¹И. Н. Садовский, ¹Д. С. Сазонов,
²Г. Е. Евсеев, ²А. М. Стрельцов, ²И. В. Черный
(¹ИКИ РАН, г. Москва;
²АО «Российские Космические Системы», г. Москва)

Спутник «Метеор-М» № 2-2, запущенный с космодрома «Восточный» 5 июля 2019 г. на солнечно-синхронную орбиту высотой 830 км, продолжил измерения гидрометеорологических и гелиогеофизических параметров, начатые в июле 2014 г. со спутника «Метеор-М» № 2. Получение сведений о различных слоях атмосферы и подстилающей поверхности осуществляет усовершенствованный многоканальный сканирующий микроволновый (МВ) радиометр МТВЗА-ГЯ (модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы, назван в память о выдающемся конструкторе космических приборов Г. Я. Гуськове). Радиометр принимает уходящее излучение Земли на 22 частотах (н) в диапазоне 6,9 – 190 ГГц, интегрируя тем самым функции имаджера и зондировщика. Антенна МТВЗА-ГЯ сканирует Землю по конусу под углом 65° к местной нормали в полосе шириной 1500 – 500 км. Измерения на частотах 42,0 и 48,0 ГГц впервые были применены на спутнике «Метеор-М» № 2, что улучшило индикацию облаков с малым водозапасом. Для улучшения оценок температуры поверхности океана и интенсивности дождя, а также регистрации радиочастотных помех в МТВЗА-ГЯ на спутнике «Метеор-М» № 2-2 были добавлены каналы на частоте 6,9 ГГц. Прибор был отключен в апреле 2023 г.

Технические характеристики МТВЗА-ГЯ

Диапазон частот	6,9 ГГц; 10,6; 18,7; 23,8; 31,5; 36,5; 42,0; 48,0; 52 – 57; 91,6; 176 – 190 ГГц
Апертура антенны	0,65 м
Пространственное разрешение	16 – 137 км
Ширина полосы обзора	1500 – 2 500 км
Сканирование	коническое, круговое

Режим работы	непрерывный
Период сканирования	2,5 с
Чувствительность	0,3 – 1,7 К/пиксель
Поток данных	35 Кбит/с
Объём запоминающего устройства	1 Гбайт
Масса	не более 94 кг
Потребление.	не более 80 Вт

Бортовая калибровка каналов радиометра МТВЗА-ГЯ для определения шкалы антенной температуры проводится вне рабочего сектора на каждом периоде сканирования. Блок калибровки обеспечивает измерение интенсивности излучения двух согласованных нагрузок с известными «горячей» и «холодной» яркостными температурами $T_{я}$. Горячей нагрузкой служит бортовой калибратор – имитатор абсолютно чёрного тела, яркостная температура которого находится в пределах 240 – 300 К, а холодной – реликтовое излучение с $T_{я} = 2,73$ К, которое принимается калибровочной антенной, ориентированной в космическое пространство

На базе ЦКП ИКИ-мониторинг был создан архив данных прибора МТВЗА 2019 – 2023 гг. Для хранения данных используется разработанная в ИКИ технология unisat, позволяющая хранить как данные уровня I1 (привязанные и калиброванные) так и тематические продукты, такие как содержание водяного пара и вертикальные профили температуры.

При создании архива была проведена предобработка, которая позволила значительно улучшить качество привязки данных, при помощи восстановления улов ориентации прибора с точностью до второго знака.

Данные доступны для просмотра и заказа в стандартных картографических интерфейсах ЦКП ИКИ-мониторинг, таких как sci-vega.ru.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЦЕЛЕВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ

Т. Р. Ермишян, А. А. Кондаурова, Н. В. Кондауров
(АО «Научно-производственное предприятие «Геофизика-Космос»
(АО «НПП «Геофизика-Космос»), г. Москва)

Задача классификации объектов является неизменно актуальной, ведется активный поиск и совершенствование методов её решения. Решение задачи классификации объектов в космическом пространстве является одним из перспективных направлений. С развитием технологий получения визуальных данных и роста вычислительных мощностей стало возможным использовать новые классы алгоритмов, в том числе нейронные сети (НС). Ключевое преимущество НС состоит в адаптивности и способности к самообучению. Кроме того, существует возможность менять размер и характеристики НС для соблюдения баланса между стоимостью вычислений и точностью предсказаний.

Среди нейронных сетей в рамках обработки изображений, выделяются свёрточные нейронные сети, дающие лучшие результаты при одинаковой стоимости вычислений.

Обучение нейросети происходит в формате «обучения с учителем». Используется выборка пар изображение-ответ (категория изображения). Качество обучения нейронной сети определяется долей правильно классифицированных изображений на заранее отделённой части выборки.

В данной работе свёрточные нейронные сети позволяют классифицировать тип объекта на изображении. В качестве данных для обучения и оценки качества используются наборы сгенерированных с помощью модуля OpenGL изображений различных спутников.

ЕТРИС ДЗЗ. УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЗЗ

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

В докладе содержится информация о комплексе вычислительных ресурсов (КВР), который является системообразующей частью единой территориально-распределённой информационной системы ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ) и основой для создания подсистемы хранения и предоставления продуктов и сервисов Информационной системы «Цифровая Земля».

КВР – это созданный АО «НИИ ТП» унифицированный программно-технический комплекс, в основе которого – программный комплекс собственной разработки, обеспечивающий весь цикл управления ИТ-инфраструктурой для функционирования программного обеспечения (ПО) ЕТРИС ДЗЗ.

КВР предлагает два высокопроизводительных вычислительных кластера, которые достаточны для функционирования любого программного обеспечения: это кластер контейнерной виртуализации для докер-контейнеров с возможностью оркестрации Kubernetes (то есть кластер облачных вычислений), который целесообразно использовать для ПО без сохранения состояния (stateless), и кластер аппаратной виртуализации для классических виртуальных машин, который целесообразно использовать для программного обеспечения с сохранением состояния (statefull).

КВР реализует модели предоставления услуг IaaS, PaaS.

Поскольку хранение первичных данных ДЗЗ и продуктов их обработки осуществляется в высокоскоростной сети КВР, то для разработчиков ПО, входными данными для которого является множество данных ДЗЗ, привлекательной является техническая возможность размещения ПО в КВР, рядом с данными.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УТОЧНЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ ПРИБОРА МСУ-МР

Е. Е. Волкова, А. М. Матвеев, А. А. Мазуров, М. А. Бурцев
(Институт космических исследований РАН, г. Москва)

Прибор МСУ-МР, установленный на космических аппаратах (КА) серии «Метеор-М», снимает поверхность Земли с пространственным разрешением в 1 км в спектральном диапазоне от 0,5 до 12,5 мкм. Данные, полученные прибором, позволяют осуществлять мониторинг большого числа природных и антропогенных явлений. Однако навигационные проблемы КА «Метеор-М» № 2-2 приводят к недостаточной точности географической привязки данных прибора МСУ-МР и, как следствие, к ограниченной применимости таких снимков для решения задач мониторинга экосистем.

Применение модели сенсора, использующейся для геопривязки данных, затруднено из-за недостаточной точности определения входных параметров (таких как углы ориентации), вызванной нестабильностью ориентации КА. Альтернативным способом географической допривязки снимков являются алгоритмические методы, использующие опорные, гарантированно хорошо привязанные, данные для поиска контрольных точек. Преобразование проецированных снимков, как результат применения полученных контрольных точек, интерполирует значения пикселей, что приводит к искажениям в данных. Исключение данной проблемы возможно с помощью восстановления входных параметров для модели сенсора и последующей привязки исходных данных МСУ-МР уровня L1B. Предлагаемое решение для географической привязки данных имеет три этапа: поиск контрольных точек, восстановление углов ориентации и применение модели сенсора к исходным данным.

Поиск контрольных точек осуществляется с помощью фазовой корреляции. Путём корегистрации проецированных снимков (МСУ-МР и опорного) определяется взаимное расположение контрольных точек на парах изображений.

Опорными данными для дневных снимков МСУ-МР являются ежемесячные композитные изображения прибора MODIS в SWIR-диапазоне, для ночных – данные ИК-диапазона двух типов: пара снимков АНІ спутника HIMAWARI-8 и мозаика снимков MODIS, – в зависимости от региона покрытия привязываемого снимка.

Для восстановления углов ориентации минимизируется суммарная ошибка определения положения полученных ранее контрольных точек.

Восстановленные ранее углы ориентации КА «Метеор-М» № 2-2, полученные из TLE элементы орбиты КА, а также характеристики прибора МСУ-МР образуют необходимые и достаточные входные параметры для строгой модели сенсора, которая, в итоге, применяется к данным МСУ-МР уровня L1B.

Программная реализация предложенного решения была автоматизирована и внедрена в состав оперативных цепочек обработки. Главные направления совершенствования разработанного решения – это оценка точности полученной географической привязки и оптимизация производительности.

Работы выполняются при поддержке Минобрнауки РФ (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8).

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ НЕЙРОСЕТИ В ЗАДАЧЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В. А. Еремеев

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

Задача надежного и точного выделения границ объектов занимает важное место в проблеме идентификации объектов наблюдаемой сцены. В докладе рассматривается решение этой задачи применительно к контурной обработке материалов гиперспектральной съемки Земли, которые дают возможность использовать не только текстурные признаки наблюдаемых объектов, но и знания об их спектральном составе. Для качественного выделения объектов в работах [1, 2] обоснованы решения, основанные на использовании гиперспектральных изображений и соответствующих операторов выделения границ. Важным вопросом является оценка точности решения этой задачи на основе использования искусственных нейронных сетей.

В докладе представлен следующий алгоритм:

1. Оператор разделяет имеющуюся выборку изображений на два набора – обучающую нейросеть и экзаменационную, в которой указывает границы объекта интереса. По существу, оператор априори определяет для экзаменационной выборки (которая не используется при обучении нейросети) два множества точек: G_Γ – множество из n_Γ точек, принадлежащих границе объекта; и G_Φ – множество из n_Φ точек фона, при этом общий объем анализируемых точек $n = n_\Gamma + n_\Phi$.

2. Нейросеть анализирует экзаменационную выборку и определяет множество граничных точек G_Γ^* и фоновых G_Φ^* .

3. Качество работы нейросети оценивается на основе сопоставления G_Γ с G_Γ^* и G_Φ с G_Φ^* по критерию: $\gamma = \frac{n_\Gamma^*}{n_\Gamma} * \frac{n_\Phi^*}{n_\Phi} * 100\%$, $\gamma \in [0\%, 100\%]$.

В докладе приводятся результаты работы этого алгоритма при использовании изображений, полученных при панхроматической, спектрально-анализной и гиперспектральной съемке от российской космической системы «Ресурс-П».

Литература

1. Еремеев В. В., Еремеев В. А., Макаренков А. А. Выделение границ объектов на гиперспектральных спутниковых снимках земной поверхности. Цифровая обработка сигналов. 2022. № 3. с. 49-52.
2. Еремеев В. А. Программа нейросетевой идентификации резких краев на снимках от космических систем наблюдения Земли. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Российской Федерации № 2023613685, заявл. 03.02.2023, опубл. 17.02.2023, 1с.

ГЕНЕРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ТРАССИРОВКИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ

Н. В. Кондауров, Т. Р. Ермишян, А. А. Борисевич

*(АО «Научно-производственное предприятие
«Геофизика-Космос», г. Москва)*

Задача обработки изображений для ориентации и навигации объектов (в том числе КА) является одной из задач, требующих значительных аппаратных и временных ресурсов средств вычислительной техники при практической реализации. В настоящее время требования к качеству обработки изображения диктуют постоянное увеличение объемов обрабатываемой информации.

Получаемое изображение подвержено влиянию случайных и систематических шумов, приводящих к искажению размеров и границ целевой части изображения.

Существуют сложности в создании алгоритмов обработки изображений и категоризации объектов, т.к. возникают определенные сложности с корректной обработкой и выявлением категории искаженного изображения объекта.

Перспективным решением задач обработки изображений является использование нейронных сетей в космической промышленности. В данном случае нейронная сеть будет обучаться на базе модели спутника. Таким образом, актуальной задачей становится генерация большого количества изображений в целях обучения нейронных сетей для последующей классификации объектов.

В представленной работе в качестве объектов будут использованы трехмерные модели спутников, а с помощью реализации модели, использующей Qt Creator с подключенным к нему модулем OpenGL – создаваться соответствующие изображения. Эти изображения будут использованы для обучения нейронной сети.

ЕТРИС ДЗЗ. КОНЦЕПЦИЯ И ПРАКТИКА ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО АРХИВА ДАННЫХ ДЗЗ – ОСНОВЫ ФЕДЕРАЛЬНОГО ФОНДА ДАННЫХ ДЗЗ

О. О. Тохиян, Б. В. Райченко
(АО «НИИ ТП», г. Москва)

В докладе содержится информация о разработанном в АО «НИИ ТП» банке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), который является системообразующей частью единой территориально-распределенной информационной системы ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ) и основой для создания подсистемы хранения и предоставления продуктов и сервисов Информационной системы «Цифровая Земля».

Программное обеспечение (ПО) банка данных ДЗЗ, функционирующее в комплексе вычислительных ресурсов (КВР, частное облако Госкорпорации «Роскосмос»), осуществляет электронное взаимодействие с пользователями в сети Интернет, предоставляя в геопортале, мобильном приложении и веб-интерфейсе прикладного программирования (веб-API) современные сервисы доступа к спутниковым снимкам (данным ДЗЗ).

Доклад содержит иллюстрации графических интерфейсов геопортала и мобильного приложения.

Вышеуказанные сервисы являются единым окном для работы с федеральным фондом данных ДЗЗ и заказа проведения космической съемки.

Приведены также «внутренние» сервисы, которые, наряду с вышеназванными, доступны программному обеспечению, размещаемому в КВР. Поскольку хранение первичных данных ДЗЗ и продуктов их обработки осуществляется в высокоскоростной сети КВР, то для разработчиков ПО, входными данными для которого является множество данных ДЗЗ, привлекательной является техническая возможность размещения ПО в КВР, рядом с данными.

Банк данных ДЗЗ реализует модели предоставления услуг PaaS, SaaS, DaaS, ориентированных на все категории пользователей – от пользователей-энтузиастов до коммерческих организаций, создающих собственные орбитальные группировки ДЗЗ и наземную инфраструктуру для обработки и предоставления продуктов и сервисов ДЗЗ потребителям

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

В. Ю. Ширшова

*(Научный центр оперативного мониторинга Земли
АО «Российские космические системы», г. Москва)*

Основной интерес к интерферометрической съемке связан с возможностью получения таких информационных продуктов как цифровые модели рельефа и карты смещений. Методы обработки для получения этих продуктов можно разделить на классическую интерферометрию и дифференциальную интерферометрию, которая открывает целый раздел методов получения высокоточных смещений. Для получения корректных результатов необходимо проведения анализа ряда технических параметров съемки тесно связанных с физико-географическими особенностями территории. К параметрам съемки относятся: угол визирования и виток (восходящий/нисходящий), геометрическая базовая линия (перпендикулярная) и временная базовая линия. В процессе обработки мы оцениваем когерентность, полученную между двумя радиолокационными изображениями, и ряд факторов, оказывающих влияние на ее низкие значения. Проведенная работа основывается на предварительном анализе метеорологических условий и рельефа местности, как основных факторов, позволяющих получить качественные информационные интерферометрические продукты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЫГОД ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. Н. Жиганов, М. А. Лукьященко, Д. А. Перепелко, М. Е. Федосеев
(АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»),
г. Королев, Московская область)

В докладе рассмотрены результаты оценки экономических выгод от применения средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса в отраслях экономики Российской Федерации. Актуальность доклада обусловлена тем, что космические средства ДЗЗ обеспечивают существенные экономические эффекты использования информации от них в различных видах экономической деятельности (ВЭД), что необходимо учитывать при формировании мероприятий космических программ.

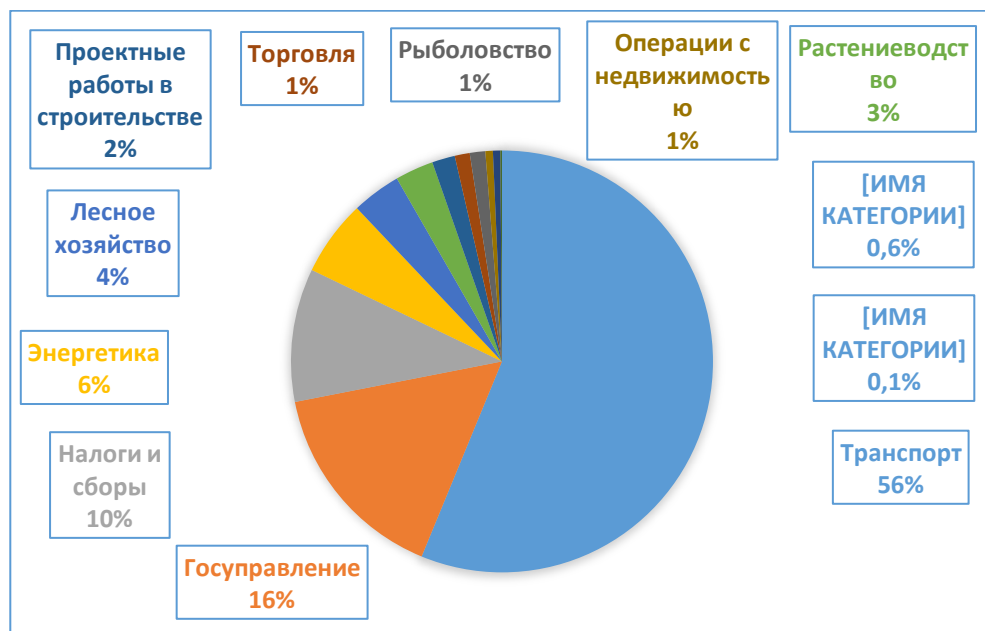
Методика оценки экономических выгод от использования данных ДЗЗ (ДДЗЗ) для развития Российской Федерации опубликована в [1]. Представленные результаты получены на её основе.

Установлены эффекты использования ДДЗЗ в бюджетообразующих отраслях Российской Федерации. При этом учитывались эффекты, которые не могут быть получены без использования ДДЗЗ, такие как снижение времени на оценку геопространственных факторов и повышение обоснованности принятия решений органами государственной власти, повышение эффективности мониторинга инфраструктуры и поиска косяков морской рыбы, скоплений морепродуктов, повышение оборачиваемости рейсов транспортных средств, повышение налоговых поступлений и снижение финансовых затрат на проведение проектных работ в строительстве, повышение результативности методов поиска глубокозалегающих подземных ископаемых за счет использования геопривязанных ДДЗЗ, увеличение доходов от использования лесов за счет выявления пожаров на ранних стадиях и повышения эффективности контроля лесопользования и др.

Крайне маловероятно, чтобы все неблагоприятные, как и благоприятные факторы при решении рассматриваемой задачи складывались одновременно, ввиду того, что на указанные оценки экономических выгод отражаются совместно независимые события, происходящие в разных сферах применения, с разной интенсивностью, природой их происхождения и т. п. Поэтому в силу центральной предельной теоремы реальное значение оценки экономических

выгод от использования ДДЗЗ будет стремиться оценке среднего статистического значения.

Доли средних значений достигнутого (реального) прироста валового внутреннего продукта (ВВП) Российской Федерации за счет использования ДДЗЗ по ВЭД представлены на рисунке.



Доли средних значений достигнутого (реального) прироста ВВП России за счет использования ДДЗЗ по видам экономической деятельности

Как видно из результатов оценок наибольшими долями средних значений достигнутого (реального) прироста ВВП России за счет использования ДДЗЗ обладают такие виды экономической деятельности как транспорт, госуправление, налоги и сборы. При этом лидирующие позиции с долей более половины занимает транспорт. Значительными долями более 10 % обладают ВЭД госуправление, налоги и сборы. Остальные ВЭД обладают приростами ВВП в совокупности составляющими около 18%.

Отметим, что большая часть программ использования результатов космической деятельности (РКД) в регионах России ориентирована на транспорт-

ную отрасль, что подтверждает адекватность представленных оценок и коррелированность их с результатами анализа состояния реализации субъектами Российской Федерации целевых программ использования РКД.

Результаты оценки экономических выгод от использования ДДЗЗ планируется использовать на этапе оценки целевых индикаторов и показателей федеральных проектов, предполагающих обеспечение развития космических средств с учетом оценки экономических эффектов от использования ДДЗЗ, а также обоснования перспектив развития космической деятельности России.

Литература

1. Бояринова Н. С. Жиганов А. Н., Лукьященко М. А., Перепелко Д. А., Федосеев М. Е. Методика оценки экономических выгод от использования данных дистанционного зондирования Земли для развития Российской Федерации // Тезисы докладов Десятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли» 29.09.2022. – М.: АО «Корпорация "ВНИИЭМ, 2022.»

СОДЕРЖАНИЕ

О результатах интеграции информационных систем Госкорпорации «Роскосмос» с государственными, ведомственными и региональными информационными системами В. А. Заичко, Д. О. Шведов	2
Единая территориально распределенная информационная система ДЗЗ из космоса – основа наземной космической инфраструктуры по предоставлению сервисов и услуг на космическую съемку и данных ДЗЗ А. И. Макеров, С. В. Пушкарский, А. Н. Белый	16
Современное состояние дистанционного зондирования Земли в мире Л. В. Михайленко, И. А. Бахарев	18
Технологический цикл управления группой космических аппаратов ДЗЗ при реализации целевого эффекта А. Ю. Потюпкин, Ю. А. Тимофеев, С. А. Волков	21
Орбитальный оптико-электронный комплекс высокого разрешения Е. Н. Сечак, Г. С. Полищук, А. В. Демин	23
Разработка систем мониторинга земной поверхности на основе использования программных комплексов имитационного моделирования В. В. Салмин, И. С. Ткаченко, С. Л. Сафронов, М. А. Иванушкин	25
Построение модели снимка камеры на основе карты высот подстилающей поверхности В. А. Турецкая, М. Ю. Косинский	27
Концепция «быстрый глаз» для повышения эффективности дистанционного зондирования Земли из космоса М. И. Кислицкий	29
Вопросы повышения функциональной эффективности космических систем дистанционного зондирования Земли в прогнозируемый период В. А. Ламзин, В. В. Ламзин, Ю. А. Матвеев	31

Оценивание информационных возможностей бортовой аппаратуры мультиспектральных космических аппаратов В. Ф. Мочалов, Р. С. Хабаров, О. В. Григорьева, К. А. Спесивцева	34
Методика абсолютной радиометрической калибровки целевой аппаратуры космических аппаратов группировки «Канопус-В» методом кросс-калибровки и по полигонам сети RADCALNET В. В. Некрасов	37
Перспективы развития группировок малых космических аппаратов для мониторинга космической погоды А. А. Брагина, В. Т. Минлигареев, С. Д. Богодяж	38
Матричные КМОП фотоприемники специального назначения Г. И. Вишневский, М. В. Четвергов, М. Г. Выдревич, А. Г. Попов	40
Отечественные многоэлементные фотоприемники ФППЗ и КМОП – современное состояние Г. И. Вишневский, М. Г. Выдревич, А. Г. Попов, М. В. Четвергов	42
Разработка фотоприемного модуля на основе ЭОП и ПЗС-матрицы, сопряженных посредством волоконной оптики А. Б. Берлизов В. Б. Лебедев, В. Н. Крутиков, А. А. Синийчук	45
Спутниковый гравиградиентометр как композиция узкодиапазонных гравиметров В. Б. Дубовской, В. И. Леонтьев, И. А. Боев, В. Г. Жильников	48
Спутниковая связь в задачах управления беспилотными летательными аппаратами Д. Г. Король	55
О подходах к обеспечению информационной безопасности цифровых двойников Д. С. Лазорин	57
Новый кольцевой двигатель-маховик с магнитной системой статора Н. А. Белокурова, А. Б. Захаренко	59
Проект по созданию малобюджетного низкоорбитального студенческого МКА ДЗЗ В. Н. Блинов, В. В. Косицын	63

Инновационная высоковольтная система электроснабжения космического аппарата с повышенной устойчивостью к дугообразованию Ю. А. Иванова, В. Д. Власов, А. И. Груздев, Д. Ю. Носов	65
Многокритериальная модель оценки и выбора варианта хранения электронной структуры изделия бортовых информационных комплексов и средств наблюдения Е.А. Федюнина, Е.С. Кузнецова	67
Изготовление элементов АФС космических аппаратов с применением аддитивной технологии селективного лазерного сплавления Ю. П. Борщев	70
Новые решения в технологии ориентации по звездам В. В. Барке, А. А. Венкстерн, В. А. Котцов	72
Параметрические методы определения характеристик активного срока существования космического аппарата Н. И. Сидняев, Э. Баттулга	74
Космический аппарат дистанционного зондирования Земли с длительным сроком существования на сверхнизких орбитах В. В. Волоцуев	77
Угловая привязка оси визирования целевой аппаратуры как системе координат, формируемой по информации приборов звездной ориентации В. И. Федосеев	79
Эволюция требований к точности систем ориентации современных оптико-электронных КА ДЗЗ М. С. Бородин, М. Ю. Жиленев	81
Вероятность высокотемпературного окисления для разрушения графита под воздействием атомарного кислорода Н. И. Сидняев, Л. С. Скляринский	83
Обтекание ионосферным потоком космического аппарата в межпланетном пространстве Н. И. Сидняев	86

Использование технологий гальванопластики и 3D-печати, при прототипировании антенн и устройств СВЧ П. А. Бадаев, С. Г. Кондратьева	105
Бортовая антенная система космических аппаратов на основе платформы «Канопус-В» А. Б. Захаренко, А. Ю. Федотов, Э. В. Гаджиев, П. П. Телепнев	107
ЕТРИС ДЗЗ: автоматический комплекс потоковой обработки информации (АПОИ) как действующая альтернатива НКПОР и основа федерального фонда данных ДЗЗ Е. Н. Боровенский, Д. В. Сысенко, Д. И. Федоткин, А. В. Ядыкин	109
Метод измерения коэффициента усиления антенных комплексов – метод «солнечной производной» А. К. Гончаров	119
Использование методов искусственного интеллекта в обработке спутниковых данных А. И. Андреев, В. Д. Блощинский, Л. С. Крамарева	121
Адаптация алгоритма детектирования пожаров для работы с данными прибора МСУ-МР Д. В. Лозин, А. М. Матвеев, Е. А. Лупян	123
Семантическая сегментация строений на аэрофотоснимках камеры LEICA ADS100 А. А. Золотой, К. Э. Верчак, Д. И. Новиков	126
Концепция обеспечения точностных характеристик спутниковых снимков высокого пространственного разрешения А. Е. Кузнецов, П. Н. Светелкин, А. С. Рыжиков	129
Технология бесшовного объединения данных площадной съемки А. Е. Кузнецов, О. А. Пресняков, В. И. Пошихонов, М. М. Егин	131
Идентификация природных объектов Земли по данным гиперспектральной съемки с использованием индексных изображений и нейросетей В. А. Еремеев	134

Совместный космический и морской эксперимент по регистрации следа надводного судна В. Н. Носов, А. Н. Ядренцев, С. Г. Иванов, С. Б. Каледин, Т. В. Глебова, А. А. Шпаковский	136
Идентификация следа судна на снимках морской поверхности корреляционным методом В. Н. Носов, В. И. Тимонин, Н. И. Сидняев, С. Г. Иванов, С. Б. Каледин	139
Подход к расчету и анализу площади зеркала симферопольского водохранилища с использованием данных «Канопус-В» Я. В. Алексеев, А. А. Антонова, В. И. Карташев, З. С. Фахми	142
Методы анализа формы объектов на Земле и компактных материалов при дистанционном зондировании Н. И. Сидняев, Е. С. Казанцева	145
Обработка и создание архива данных прибора МТВЗА в интересах научных исследований А. М. Матвеев, А. А. Мазуров, А. А. Прошин, Е. В. Пашинов, И. Н. Садовский, Д. С. Сазонов, Г. Е. Евсеев, А. М. Стрельцов, И. В. Черный	147
Классификация целевых объектов на изображениях с помощью нейросетей Т. Р. Ермишян, А. А. Кондаурова, Н. В. Кондауров	149
ЕТРИС ДЗЗ. управление вычислительными ресурсами наземной инфраструктуры ДЗЗ О. О. Тохиян, А. М. Курлыков	150
Автоматизированное уточнение географической привязки данных прибора МСУ-МР Е. Е. Волкова, А. М. Матвеев, А. А. Мазуров, М. А. Бурцев	151
Оценка точности работы нейросети в задаче выделения границ объектов на космических изображениях В. А. Еремеев	153

ЕТРИС ДЗЗ. концепция и практика построения единого архива данных ДЗЗ – основы федерального фонда данных ДЗЗ О. О. Тохиян, Б. В. Райченко	149
Методика анализа физико-географических параметров территории для планирования интерферометрической съемки В. Ю. Ширшова	150
Результаты оценки экономических выгод от использования данных дистанционного зондирования Земли для развития Российской Федерации А. Н. Жиганов, М. А. Лукьященко, Д. А. Перепелко, М. Е. Федосеев	158

Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ

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

Материалы издаются в авторской редакции

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

© АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2023