



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

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



МОСКВА
2017

Тезисы докладов Пятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 196 с.

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

Сборник издается в авторской редакции.

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

**ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА АО
«КОРПОРАЦИЯ «ВНИИЭМ»**

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

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ
ГРУППИРОВКИ ДЗЗ РФ ДО 2025 ГОДА**

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

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ПРИРОДНОГО И
ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

*Е.А. Лупян,
Институт космических исследований РАН*

**МОНИТОРИНГОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО
ХАРАКТЕРА В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И КОСМИЧЕСКОМ
ПРОСТРАНСТВЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА
СПУТНИКЕ «ЛОМОНОСОВ» И ПРОЕКТ «УНИВЕРСИТЕТ»**

*(1) В.А. Садовничий, (1) М.И. Панасюк,
(1) С.И. Свертилов, (1) И.В. Яшин,
(1) П.А. Климов, (1) В.Л. Петров,
(2) Л.А. Макриденко, (2) Р.С. Салихов, (2) С.И. Терехов,
1) МГУ им. М.В. Ломоносова,
2) АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

МНОГОУРОВНЕВЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*С.А. Золотой,
УП «Геоинформационные системы»,
г. Минск, Беларусь*

Обсуждаются возможности улучшения характеристик Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ), вытекающие из реализации её многоуровневой информационно-интегрированной структуры. Предлагаемая конфигурация многоуровневого информационного комплекса включает в себя помимо традиционных космического и наземного сегментов также авиационный и дополнительный наземный сегменты. При этом авиационный сегмент может содержать как пилотируемые, так и беспилотные летательные аппараты различных типов, оснащенные необходимой целевой аппаратурой, а дополнительный наземный сегмент – спутниковую систему точного позиционирования. В качестве примера рассмотрен прогноз информационных возможностей такого комплекса при решении геодезических задач.

Практика взаимодействия УП «Геоинформационные системы» с различными потребителями космической информации показала, что для оперативного решения практических задач данных ДЗЗ, получаемых с помощью Белорусского КА (БКА), не всегда достаточно. Особенно это характерно для ситуаций, связанных, например, с необходимостью проведения срочных масштабных наблюдений при закрытой мощным слоем облаков поверхности Земли. Среди других причин, нередко затрудняющих получение высококачественной информации, следует отметить низкую различимость из космоса изображений облаков и снежного покрова, недостаточное для ряда задач пространственное и спектральное разрешение целевой аппаратуры, невысокую периодичность получения информации и ее значительную стоимость.

Перспективным способом решения данных проблем может стать реализация многоуровневой структуры БКСДЗ, состоящей из традиционных космического и наземного, а также авиационного и дополнительного наземного сегментов.

Предварительная проработка технических путей развития авиаци-

онного сегмента БКСДЗ осуществлена в 2015 – 2016 гг. в инициативном порядке УП «Геоинформационные системы» совместно с предприятиями Министерства лесного хозяйства, Государственного комитета по имуществу, Государственного пограничного комитета. Изучались возможности комплексного использования данных ДЗЗ, получаемых с помощью штатной целевой аппаратуры БКА, а также фоторегистрирующих систем, устанавливаемых на пилотируемых и беспилотных авиационных носителях.

Более детальное, чем в случае пилотируемой авиации, пространственное разрешение (единицы сантиметров), а также предельно высокая оперативность съемки могут быть реализованы при использовании в качестве носителей целевой аппаратуры беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) самолетного и вертолетного типов. Весьма перспективным является применение БПЛА белорусского производства, для которых возможно создание сверхлегких отечественных цифровых фоторегистраторов с варьируемыми в процессе полёта или наземного обслуживания параметрами.

Полученные изображения продемонстрировали высокую информативность и взаимную дополняемость, обеспечивающие существенное расширение перечня реализуемых геодезических форматов, прежде всего мелкомасштабных с характерным для них высоким пространственным разрешением. Кроме того, высокая маневренность авиационных (пилотируемых и непилотируемых) носителей по высоте, скорости и курсу позволяет варьировать параметры съемки в достаточно широких пределах, что заметно расширяет информационные возможности БКСДЗ в неблагоприятных для космической съемки условиях.

Для оптимизации информационных возможностей всех перечисленных сегментов усовершенствованной БКСДЗ, достижения при этом необходимых для геодезических измерений предельно высоких точностных характеристик может быть эффективно использована и действующая в Республике Беларусь спутниковая система точного позиционирования, покрывающая в настоящее время почти всю территорию страны.

В целом результаты натурных исследований и численных оценок показывают, что в интересах государства и коммерческих потребителей в качестве приоритетного направления развития БКСДЗ следует рассматривать создание авиакосмического многоуровневого информа-

ционного комплекса ДЗЗ. При этом имеется возможность практически полного использования технических решений, реализованных в составе существующей БКСДЗ.

ВЫСОКОПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И КАРТОГРАФИИ

*С.М. Басков,
ЗАО НПК «БАРЛ»*

РЕЗЕРВНЫЙ ДОКЛАД

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЧС РОССИИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

*Я.В. Алексеенко,
ФКУ «Национальный центр управления
в кризисных ситуациях» (МЧС России)*

В целях снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в МЧС России создана и успешно применяется Система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций (СКМ ЧС). СКМ ЧС позволяет осуществлять ежесуточный оперативный космический мониторинг всей территории Российской Федерации, а также приграничных территорий. Вся получаемая информация аккумулируется в базах данных и информационных системах.

В настоящее время наблюдается значительный рост актуальности применения геоинформационных систем (геопорталов) для обеспечения различных областей экономики, бизнеса и т. п. В составе СКМ ЧС функционируют 2 геоинформационные системы – ГИС «Каскад» и ГИС «Космоплан». Данные геопорталы применяются для сбора, хранения, поиска и представления пространственных данных в аспекте предотвращения и мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. С учётом того, что данные геопорталы функ-

ционируют во внутренней ведомственной сети МЧС России, это накладывает свои ограничения на предоставление актуальных данных органам повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), а также органам гражданской обороны, не имеющих доступа к данной сети. Несмотря на это, анализ применения данных геопорталов показывает их эффективность в обеспечении принятия эффективных решений, направленных на предотвращение человеческих жертв и материального ущерба экономике Российской Федерации.

Для решения вышеобозначенной проблемы было принято решение о размещении в тестовом режиме (с ограничением объема предоставляемых данных) в сети Интернет был размещён сегмент ГИС «Каскад». Доступ к ГИС «Каскад» в сети Интернет можно получить по адресу <http://ukmmchs.ru/>.

В докладе представлены возможности ГИС «Каскад» и ГИС «Космоплан» для решения задач информационной поддержки принятия решений в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны. Также проведён анализ применения данных геопорталов в указанном аспекте.

РЕЗЕРВНЫЙ ДОКЛАД

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ ОБЗОРА ЗЕМЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ

*А.В. Горбунов, В.К. Саульский,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»*

Космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) продолжают интенсивно развиваться. Для анализа их эффективности нужно знать полный набор перерывов обзора, появляющихся при наблюдении заданной области земного шара.

В большинстве случаев задача определения набора перерывов и частот их возникновения является сложной. Как правило, для ее решения применяются различные варианты компьютерного моделирования процесса съемки Земли с ИСЗ. Данный подход отличается высокой трудоемкостью. В связи с этим исследователи часто ограничиваются поиском

лишь наибольшего из возникающих перерывов, что недостаточно для адекватной характеристики работы системы ДЗЗ. Еще одним ограничением служит невозможность наглядного отображения картины перерывов в процессе обзора широт Земли. Не удастся также достигнуть универсальности рассматриваемых методов, т. е. возможности использования какого-либо из них для любых вариантов построения систем спутников. Стоит добавить, что методы компьютерного моделирования, нацеленные на расчет перерывов обзора, не слишком удобны для синтеза рациональных орбитальных группировок.

В настоящей работе предлагается аналитический метод, лишенный указанных ограничений. Он базируется на векторной модели покрытия произвольной широты Земли полосами обзора всех спутников системы.

Основу модели составляет картина «спутниковых узлов», изображаемых на плоскости в системе координат географическая долгота – время. Положение очередного узла задается вектором, проекциями которого служат долгота и время пересечения выбранной широты очередным спутником. Построение и детальное изучение картины узлов и ее свойств достигается, используя основные понятия и правила векторной алгебры.

В частности, таким путем установлена взаимно однозначная связь между структурой космической системы и картиной ее узлов на векторной модели. Любое изменение места какого-либо спутника среди остальных спутников их орбитальной группировки влечет за собой однозначную перемену позиций его узлов на векторной модели. Наоборот, любой сдвиг узлов на многоспутниковой векторной модели однозначно задает новую спутниковую структуру.

Главным достоинством векторной модели служит возможность увидеть на ней сразу все перерывы при наблюдении любой точки произвольной широты Земли. С этой целью через все узлы проводятся одинаковые горизонтальные отрезки, называемые «следами» спутников (на данной широте). «След» соответствует реальному участку широты, пересекаемому полосой обзора спутника. Все возникшие перерывы обзора – это вертикальные интервалы между соседними следами. При этом следы могут принадлежать как данному спутнику, так и другим ИСЗ системы. Для любой точки широты Земли полный набор перерывов в ее наблюдениях состоит из интервалов между следами на вертикали, абсциссой которой является долгота этой точки. Применяя

довольно простые методы векторной алгебры, можно определять все перерывы и частоты их появления.

Реализуя описанный выше подход, разработан и подробно изложен универсальный аналитический алгоритм расчета всех перерывов обзора вместе с частотами их возникновения на любом задаваемом поясе широт земного шара. Он пригоден для любого числа спутников и любых вариантов структуры космической системы. Дан ряд примеров использования этого алгоритма для широко известных российских спутников типа «Канопус-В» и «Метеор-М».

СЕКЦИЯ 1.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ, ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ИНТЕРЕСАХ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

*Н.Н. Жильцов,
АО «Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»,
г. Санкт-Петербург*

С развитием спутниковых технологий океанография получила бурное развитие. На ряду с появлением разнообразных автономных контактных средств контроля состояния океана и приводной атмосферы, использующих спутниковый каналы связи и спутниковую навигацию, активно развиваются и средства дистанционного зондирования Земли, имеющие значительные преимущества по пространственному охвату и получению полезной информации в различных спектральных диапазонах в цифровом виде.

Оперативность получения результатов измерений позволяет не только быстро и качественно усваивать и обрабатывать полученные данные, но и использовать их в гидродинамических моделях для прогнозирования гидрофизических полей.

Поэтому оперативной океанографией в широком смысле называют деятельность по производству систематических измерений состояния морей, океанов и атмосферы, их обработке, усвоению для оперативной оценки текущего и прогнозированию ожидаемого состояния океана, распространению результатов обработки на постоянной регулярной основе, позволяющую подобно оперативным системам анализа и прогноза атмосферы прогнозировать «погоду океана» - состояние гидрофизических полей в диапазоне синоптической и мезомасштабной изменчивости.

При этом под состоянием океана в оперативной океанографии прежде всего понимается текущее и ожидаемое состояние гидрофизических полей океана – ледовых условий, полей течений, температуры, солёности воды и косвенно рассчитываемых полей скорости звука и плотности воды.

Развитие систем дистанционного зондирования Земли позволяет расширить спектр решаемых задач в интересах оперативной океанографии.

Различные активные и пассивные сенсоры, работающие в видимой, инфракрасной и микроволновой областях электромагнитного спектра, используются для измерения четырех основных параметров океанов и морей: цвета, температуры, высоты и шероховатости морской поверхности. Зная эти параметры, можно решать разнообразные задачи:

1. Цветовые сканеры определяют спектральные свойства радиации, восходящей с водной поверхности, которая несет информацию о различных оптических характеристиках поверхностного слоя океана – прозрачности вод, концентрации взвешенного вещества, содержании хлорофилла, цветении вод и т. д. Оптический диапазон также позволяет наблюдать скопления и кромку льда, айсберги и при определенных условиях – нефтяные загрязнения.

2. Инфракрасные и микроволновые сенсоры используются для измерения температуры поверхности океана/моря. В отличие от инфракрасных радиометров и оптических сканеров пассивные микроволновые сенсоры могут измерять поле температуры поверхности океана в условиях сплошной облачности, правда с меньшей точностью и пространственным разрешением. Инфракрасные радиометры позволяют также наблюдать скопления и кромку льда. Микроволновая радиометрия позволяет определять соленость поверхностных вод, однако пока еще с точностью, недостаточной для большинства задач в океанографии.

3. Активные микроволновые сенсоры (альтиметры, скаттерометры, радары с синтезированной апертурой) используются для определения высоты морской поверхности, уровня океанов и морей, высоты волн, скорости приводного ветра, характеристик льда и нефтяных загрязнений.

Развитие средств дистанционного зондирования Земли в интересах оперативной океанографии в перспективе видятся в следующих направлениях:

- восстановление поля давления над Мировым океаном, согласованное с полем приводного ветра;
- более полные исследования ледовых условий (прочностные характеристики льда, высота торосов и глубина ледяных килей, степень сжатия ледовых полей, возможности оценки характеристик водных масс, находящейся под снежным и ледяным покровами);
- возможность получения характеристик вод Мирового океана значительно глубже значений естественной прозрачности;
- возможность получения характеристик всех течений (постоянных, ветровых, приливо-отливных) хотя бы на глубину прозрачности морской воды;
- возможность определение глубины в прибрежных районах в интересах картосоставления с разрешением не хуже 1 м;
- контроль разрушения береговой черты;
- возможность измерять уровень океана (альтиметрия) отечественными спутниками;
- сбор данных о наблюдениях с гидрометеорологических платформ различного базирования.

Есть надежда, что решение этих проблем позволит более эффективно использовать группировку метеорологических и океанографических спутников и наметит перспективы их развития в недалеком будущем в области оперативной океанографии.

УТОЧНЕНИЕ ЗАДАЧИ НАУЧНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ

- (1) С.А. Золотой, (2) И.В. Минаев, (3) Г.Г. Молоканов,
1) УП «Геоинформационные системы», г. Минск, Беларусь,
2) АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,
3) ВА РВСН им. Петра Великого, г. Москва*

Создание изделий ракетно-космической техники, входящих в состав космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), является долгосрочным, дорогостоящим и наукоемким процессом, обеспечиваемым скоординированной деятельностью различных административных, научных и производственных организаций. Значительное количество принимаемых управленческих решений, высокие требования к оперативности и качеству их принятия и реализации, трудно прогнозируемые последствия и высокая мера ответственности за их результаты обуславливают важность научного сопровождения процессов создания космических систем ДЗЗ.

Проведенный анализ различных источников позволил выделить некоторые особенности научного сопровождения процессов создания космических систем и комплексов (КСК) ДЗЗ в современных условиях:

- многоцелевой характер потребностей в космической информации в системе обеспечения национальной безопасности государства;
- рост объемов потребляемой космической информации ДЗЗ;
- жесткие временные и ресурсные ограничения на создание и развертывание космических систем ДЗЗ;
- высокая конкуренция на рынке поставщиков космической информации, обуславливающая повышенные требования к ее качеству;
- воздействие на процессы создания КСК ДЗЗ различного рода дестабилизирующих факторов технологического, технического и производственного характера.
- многовариантность сценариев развития экономико-политической ситуации в стране и обстановки в ракетно-космической отрасли;
- развитие информационных средств сопровождения различных этапов жизненного цикла (CALS, PLM, PDM технологии);
- отсутствие методических схем принятия научно-обоснованных управленческих решений по комплексному управлению созданием КСК с различной степенью детализации.

Указанные особенности обуславливают необходимость развития методических основ в области проектирования космических систем и комплексов дистанционного зондирования Земли по следующим направлениям:

- установление взаимосвязи между результатами ключевых этапов жизненного цикла КСК ДЗЗ;

- формирование иерархической структуры расчетных (исследовательских) задач, соответствующей уровням принимаемых решений и объему информации у соответствующего должностного лица (органа);
- интеграция существующих методов решения частных расчетных задач, относящихся к отдельным элементам КС ДЗЗ или процессам ЖЦ, в единое информационное пространство.

Таким образом, реализуемый подход к решению задач научного сопровождения процессов создания космических систем ДЗЗ должен обеспечивать:

- формализованное представление целей космической деятельности, как в части целевых индикаторов (показателей), так и в части системы предпочтений ЛПР, определяющей взаимную структуру данных индикаторов;
- учет ресурсных ограничений на различных этапах ЖЦ КСК ДЗЗ;
- учет неопределенности условий проектирования, производства и эксплуатации КСК ДЗЗ (оценку рисков);

Результатом решения задач научного сопровождения процессов создания космических систем ДЗЗ является должно являться обоснование облика КСК ДЗЗ по показателям эффективности (качества), рисков и реализуемости и оптимизация параметров процесса создания космических систем ДЗЗ.

ОБЩАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАУЧНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ

- (2) С.А. Золотой, (3) Г.Г. Молоканов,
(1)С.Н. Волков, (1) И.С. Волков,
(1) И.В. Минаев, (1) Т.И. Переходова,
1) АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,
2) УП «Геоинформационные системы», г. Минск, Беларусь,
3) ВА РВСН им. Петра Великого, г. Москва,

Особенности требований к научному сопровождению процессов создания космических систем ДЗЗ в современных условиях обуславливают необходимость решения частных задач, позволяющих проводить обоснование облика КСК ДЗЗ по показателям эффективности (качества), рисков и реализуемости, а также осуществлять оптимизацию параметров процесса создания космических систем ДЗЗ.

Для решения данной задачи предлагается использовать вертикально-горизонтальную декомпозицию процесса создания КСК ДЗЗ по уровням исследования сложных систем.

На первом этапе осуществляется формирование концепции – общих требований к облику создаваемой системы ДЗЗ (по характеристикам космической информации), решаемых задач, направлений ее создания. Осуществляется посредством формирования дерева целей, отражающих задачи, поставленные перед создаваемой системой заказчиком, определения показателей (индикаторов) результатов целевого применения КСК ДЗЗ и установления их взаимосвязи. Детализация исследования на данном этапе определяется объемом информации, которая может быть получена от заказчика. Чем больше имеется данных, тем более детально может быть сформировано дерево целей и соответственно точнее могут быть определены требуемые результаты целевого применения системы. Требуемые результаты применения системы позволяют определить направления ее создания.

На втором этапе формируется операциональный облик КСК ДЗЗ – набор функциональных компонентов (подсистем) позволяющих достичь требуемого результата в процессе целевого применения системы. Решение задачи предлагается осуществлять посредством применения аппарата оценки эффективности целевого применения КСК ДЗЗ и синтеза оптимальных значений ее характеристик, обеспечивающих достижение требуемых результатов с минимальным составом элементов системы. Детализация исследования определяется составом учитываемых факторов внешней среды и глубиной декомпозиции системы на функциональные элементы.

На третьем (производственном) этапе уточняются (детальные) характеристики элементов КСК ДЗЗ, исходя из имеющегося экономического, научного и производственно-технологического задела. Детализация исследования определяется характером процесса создания системы (будет ли разрабатываться и производиться впервые или будут закупаться полностью либо частично готовые компоненты).

Таким образом, представленная декомпозиция процесса позволяет решать три условно независимые задачи, после чего агрегировать результаты их решения.

Для учета неопределенности и многовариантности факторов космической деятельности могут быть сформированы сценарии измене-

ния условий проектирования, производства и эксплуатации КСК ДЗЗ, объединяющие конкретные характеристики исходных данных.

Поскольку процессы организации космической деятельности связаны с необходимостью анализа и обработки значительных объемов информации, для реализации предложенного подхода целесообразным является использование автоматизированных информационных систем (АИС). Это позволит оценить значительно большее число возможных альтернатив, сократить сроки подготовки решений в данной области и, как следствие, значительно снизить вероятность принятия ошибочного решения.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО СЕКМЕНТА В СИСТЕМЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Е.А. Бровка,
Акционерное общество «Научно-исследовательский
и производственный центр
«Природа», г. Москва*

Структурная схема автоматизированной информационной системы государственного топографического мониторинга (системы ГТМ), определяющая ее основные функциональные части, включает информационно-технологические сегменты (далее, сегменты): космический, географический, картографический, спутниково-навигационный и геоинформационный.

Каждый из сегментов обеспечивает: получение, сбор, обработку, хранение исходных информационных ресурсов, их использование в технологическом цикле топографического мониторинга для решения целевой задачи: непрерывного обновления государственных топографических карт и актуализации федерального фонда пространственных данных.

В основу построения космического сегмента положены: системный подход, интегрирующий и систематизирующий современные научные методы о Земле в части исследований в области дистанционного зондирования Земли; унифицированных методик и технологий обработки и использования космической информации; научно-методические принципы, нацеленные на получение оптимальных научно-

технических решений по информационному, аппаратно-программному и технологическому обеспечению.

Функциональная организационная структура космического сегмента, представлена на рисунке. В обобщенном графическом виде на схеме показана упорядоченная совокупность структурных элементов – аппаратно-программных комплексов (АПК). Основными функциями АПК являются: получение и первичная обработка космической информации (КИ); фотограмметрическая обработка КИ; проведение автоматизированного анализа разновременных материалов космической съемки для оценки степени изменений местности на этапе обзорного топографического мониторинга; дешифрирование КИ (подготовительное) и идентификация на них изменений объектов местности для детального топографического мониторинга; формирование баз пространственных данных (метаданных).

Информационно и функционально взаимосвязанные между собой АПК, обеспечивая, с использованием базового и специального программного обеспечения, выполнение конкретных технологических процессов, объединенных общей задачей системы ГТМ – постоянное регламентированное картографическое слежение за изменениями местности на основе космической информации среднего и высокого пространственного разрешения с привлечением других видов легитимной геопропространственной информации.

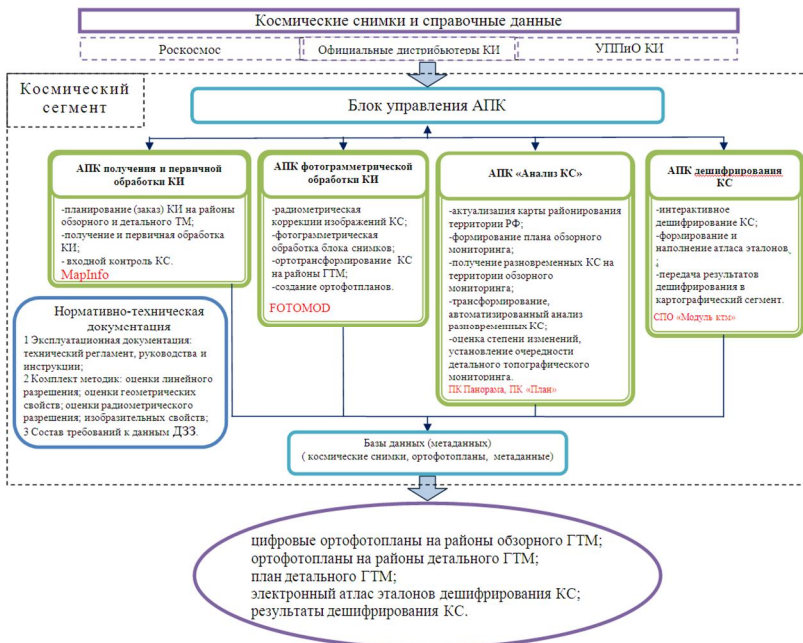


Схема функциональной организационной структуры космического сегмента

Принятые сокращения: АПК – аппаратно-программный комплекс, ГТМ – государственный топографический мониторинг, КИ – космическая информация, КС – космический снимок; ГТМ – топографический мониторинг, ПК– программный комплекс, СПО –специальное программное обеспечение, УППиО КИ – универсальный пункт приема и обработки космической информации.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ ОБЗОРА ЗЕМЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ

А.В. Горбунов, В.К. Саульский,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ – ИСТОЧНИКУ СОВРЕМЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О МЕСТНОСТИ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

*А.А. Каримова,
АО «Научно-исследовательский и производственный центр
«Природа», г. Москва*

Одной из важнейших сфер деятельности Росреестра в области геодезии и картографии является обеспечение современными государственными топографическими картами и планами различных отраслей экономики и обороноспособности страны.

Эффективное решение стратегических задач картографии на современном этапе невозможно без применения инновационных технологических решений, основанных на использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Данные ДЗЗ все более уверенно выходят на первый план в качестве базовой основы для создания и обновления государственных: цифровых топографических карт (ЦТК) и цифровых планов городов (ЦПГ).

В докладе автором будут рассмотрены следующие вопросы:

- основные тенденции многоцелевого использования данных ДЗЗ в картографии;
- современные отечественные и зарубежные космические системы и данные ДЗЗ которые могут быть рекомендованы для обновления ЦТК и ЦПГ;
- требования, предъявляемые к материалам ДЗЗ, используемым в качестве источника современной информации для обновления ЦТК и ЦПГ;
- основные параметры и условия космической съемки местности, влияющие на качество материалов ДЗЗ и их пригодность для обновления государственных топографических карт;
- типовые ошибки в использовании космической информации, влияющие на качество обновляемых ЦТК и ЦПГ.

МОНИТОРИНГ УФ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ДЕТЕКТОРОМ ТУС НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЛОМОНОСОВ»

*П.А. Климов,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д.В. Скобельцына*

Орбитальный детектор «ТУС», запущенный в составе научной аппаратуры спутника «Ломоносов» 28 апреля 2016 г. с космодрома Восточный является первым в мире прибором, предназначенным для регистрации треков космических лучей предельно высоких энергий (КЛ ПВЭ, частиц с энергией больше $7 \cdot 10^{19}$ эВ) в атмосфере Земли с борта искусственного спутника. «ТУС» представляет собой телескоп-рефлектор, состоящий из зеркала-концентратора френелевского типа большой площади (2 м^2), предназначенного для сбора и фокусировки слабого сигнала флуоресценции широкого атмосферного ливня (ШАЛ), порождаемого частицей высокой энергии, фотоприемника, расположенного в фокальной плоскости зеркала, системы отвода фотоприемника для защиты от прямого попадания солнечных лучей в случае потери ориентации аппарата и датчика солнечной засветки. Фотоприемник представляет собой матрицу из 256 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) типа Hamamatsu R1463 с соответствующей электроникой для обработки и анализа сигналов. Диапазон длин волн в котором производится измерение составляет 240 – 400 нм и определяется полосой пропускания светофильтров (УФС1) и квантовой эффективностью ФЭУ. Использование большого зеркала-концентратора и ФЭУ позволяет достичь высокой чувствительности прибора и достаточного для регистрации ШАЛ временного разрешения (менее 1 мкс). Телесный угол обзора ячейки составляет 10^{-4} стер, что в атмосфере соответствует наблюдению квадрата $5 \times 5 \text{ км км}$ при высоте орбиты 500 км, а все поле зрения детектора составляет $\pm 4,5$ град.

Электроника фотоприемника устроена таким образом, что может регистрировать при разных уровнях освещенности (за счет автоматической регулировки усиления ФЭУ) и с разным временным

разрешением (за счет системы цифровых осциллографов, реализованных в ПЛИС модулей фотоприемника). Временные разрешения с которыми производится наблюдение составляют 0,8 мкс, 24,6 мкс, 0,4 мс и 6,6 мс. Это позволяет производить мониторинг свечения атмосферы Земли и регистрацию явлений различной длительности и природы.

За первый год работы детектора на орбите были проведены измерения во всех режимах работы и получены данные по антропогенному свечению, проведен набор статистики молниевых разрядов и высоко атмосферных транзиентных грозовых явлений, зарегистрированы несколько метеоров. На рис. 1 приведен пример регистрации УФ свечения над Самарой. Яркость антропогенного свечения зависит как от источника (города), так и от погодных условий (наличие облачности). При измерении с разрешением 0,4 мс сигнал модулирован частотой промышленной электросети. На рис. 2 показан один из типов высоко атмосферных явлений – эльф. Это кратковременные (менее 1 мс) вспышки света, которые представляют собой расширяющееся кольцо на высоте 80 – 90 км, связанное с нагревом (ускорением) электронов ионосферы электромагнитной волной происходящей от мощного удара молнии облако-земля.

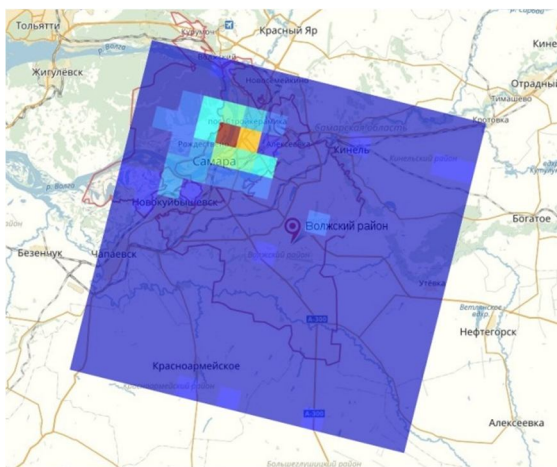


Рис. 1. Пример регистрации УФ свечения над городом

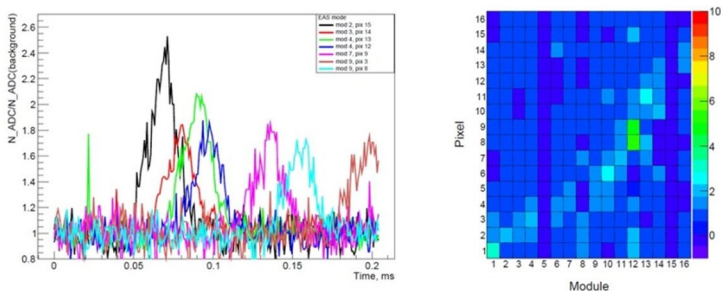


Рис.2. Пример события типа «эльф» зарегистрированного 18.09,2016 над грозой в Африке. Слева: осциллограммы семи ячеек фотоприемника, справа: снимок матрицы фотоприемника (цвет показывает амплитуду сигнала)

СПУТНИКОВАЯ РАДИОГЕОЛОГРАФИЯ И ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*А.Г. Павельев¹, С.С. Матюгов¹, О.И. Яковлев¹,
Н.О. Кобельков², А.В. Вороков²
¹ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино,
²АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Дан краткий обзор задач и характеристик спутниковой радиоголографии для зондирования поверхности суши и океана с применением сигналов, излучаемых навигационными системами.

Методика радиоголографии поверхностей планет разрабатывалась параллельно в России и США и затем была применена для зондирования Земли. В схеме радиоголографии передатчик и приемник разнесены относительно друг друга на большое расстояние и движутся с разными скоростями относительно исследуемого объекта. Опорным является сигнал, распространяющийся вдоль линии радиосвязи (прямой сигнал), который применяется для измерения получения радиоизображений и характеристик отражающей поверхности. В последнее время с появлением многочисленных навигационных спутников-передатчиков высокостабильных, синхронизированных атомными стандартами частоты сигналов, стало целесообразным употребление термина многопозиционной, бистатической радиолокации и радиоинтерферометрии.

Первые эксперименты бистатической радиолокации Земли из космоса, проведенные в России в 1989 – 1998 на трассе орбитальной станции «МИР» – геостационарные спутники (длины волн 32 и 2 см), проводились в режиме, совмещенном с радиозатменным зондированием атмосферы и ионосферы, когда земная поверхность облучалась радиоволнами вследствие конечной ширины главного максимума передающей антенны.

Методика бистатической радиолокации Земли с помощью спутников была предложена в работе, где были даны основные соотношения для удельной эффективной поверхности рассеяния, распределения отраженной мощности по времени запаздывания и доплеровской частоте. Теоретические и экспериментальные исследования возможностей бистатической радиолокации для зондирования земной поверхности и пограничного слоя атмосферы проводились также в работах. Первые эксперименты бистатической радиолокации земной поверхности из космоса были осуществлены на длинах волн 32 и 2 см при монохроматическом зондирующем сигнале на трассе орбитальной станции «Мир» – геостационарные спутники. Анализ полученных результатов показал эффективность и перспективность предложенного метода бистатической радиолокации.

Развитие многопозиционной радиолокации с помощью радиосигналов навигационных систем создает благоприятные возможности для:

- осуществления глобального контроля состояния поверхности Земли для нужд геофизики и океанографии (измерение медленных малых перемещений земной поверхности под влиянием природных (например, сейсмических) и антропогенных воздействий, измерение параметров морской поверхности (дисперсия наклонов и высота морского волнения), определение толщины морского льда в полярных районах);
- измерения скорости и направления ветра над морской поверхностью;
- измерения высоты морской поверхности и обнаружение крупномасштабных волн в океанах;
- определение особенностей рельефа поверхности океана, связанных с крупномасштабными вихревыми образованиями и течениями;
- изучения процессов взаимодействия атмосферы с океаном (измерение вертикальных градиентов температуры и влажности в пограничном слое атмосферы).

При облучении суши и, особенно, водной поверхности, наиболее интенсивными являются отражения от существенной зоны на земной поверхности с центром в точке зеркального отражения радиоволн. Диффузная компонента рассеянных радиоволн практически равномерно распределена по земной поверхности, ее интенсивность существенно, на 15 – 20 дБ, ниже уровня отражений от зеркальных бликов. В связи с этим при многопозиционной радиолокации из космоса целесообразно рассмотреть вопрос о применении для зондирования земной поверхности квазизеркальной компоненты рассеянных радиоволн. Удельная эффективная поверхность рассеяния указанной компоненты сильно зависит от характеристик морского волнения, что позволяет разрабатывать методы многопозиционной рефлектометрии, скеттерометрии и альтиметрии поверхности суши и океана. Интенсивность отражений зависит от шероховатости поверхности и угла падения.

Многопозиционный характер наблюдения отраженных сигналов, повышает возможности глобального мониторинга морской поверхности в двух важных направлениях: улучшение пространственно – временного разрешения и существенного возрастания полосы обзора. Низкоорбитальный приемник сигналов навигационной системы GPS с многолучевой антенной, направленной на поверхность Земли, в принципе, может отслеживать одновременно полосы охвата, соответствующие около 10 отражениям от разных районов в зоне видимости, тем самым обеспечивая покрытие, которое на порядок плотнее, чем достигаемое высотомером, ориентированным в надир. Например, спутник с многолучевой антенной на высоте 400 км имеет возможность почти равномерного глобального зондирования поверхности Земли всего за 1 день, с промежутками не более чем 75 км. С вводом в эксплуатацию навигационных систем ГЛОНАСС и GALILEO плотность возможного зондирования увеличится втрое. Это плотное покрытие эквивалентно существенному увеличению временного и пространственного разрешения при альтиметрии и скеттерометрии поверхности морей и океанов.

Для организации этой системы мониторинга требуется многолучевая бортовая антенна с высоким коэффициентом усиления (в диапазоне 29 – 40 дБ), которая может принимать опорные сигналы от десяти или более навигационных спутников, а также регистрировать соответствующие им отражения от окрестностей зеркальных точек на земной поверхности.

Необходимо разработать интегрированные с многолучевой антенной бортовые приемники, которые могли бы обрабатывать опорные и отраженные сигналы, излученные одновременно несколькими спутниками навигационных систем GPS и других с целью организации глобального мониторинга поверхности суши и океанов.

**МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА,
ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ, ПОИСКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ**

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

Для реализации мероприятий, направленных на снижение рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, немаловажную роль играет оперативность и полнота данных, получаемых лицом, принимающим управленческие решения. С учётом развития информационных технологий, а также развитием возможностей орбитальной группировки (как отечественной, так и иностранной) космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, Система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций МЧС России (СКМ ЧС) позволяет значительно повысить эффективность решений, принимаемых при реализации мероприятий по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Для обеспечения максимальной оперативности представления информации о состоянии оперативной обстановки по чрезвычайным ситуациям на территории Российской Федерации и за рубежом в МЧС России на основе данных космического мониторинга активно применяются геоинформационные системы – геопорталы. В настоящее время в составе СКМ ЧС функционируют ГИС «Каскад» и ГИС «Космоплан».

Анализ применения данных геопорталов, а также организации сбора, хранения, обработки, поиска, передачи и представления информации космического мониторинга показывает ряд проблем, решение которых позволит увеличить эффективность применения данных дистанционного зондирования Земли (данные ДЗЗ), а также информационных продуктов на их основе для обеспечения информационной поддержки лиц, принимающих решения, направленных на защиту населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В докладе представлена модель информационной системы сбора, обработки, хранения, поиска и представления пространственных данных для решения задач защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны. Предлагаемая модель представляет собой ряд программных модулей, обеспечивающих максимальную автоматизацию процессов по сбору, хранению, обработке, поиску и представлению данных. Для исследования функционирования предлагаемой информационной системы было проведено имитационное моделирование в программной среде AnyLogic. Анализ моделирования показал улучшение качества и эффективности решений, принимаемых при осуществлении мер, направленных на защиту населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

СИСТЕМНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НИЗКООРБИТАЛЬНЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

*О.В. Казанцева, Е.В. Юркевич,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Успешность решения дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) является одной из важных проблем, стоящих перед разработчиками низкоорбитальных космических аппаратов (КА). Во многом результаты её решения зависят не только от качества надежностного проектирования специальной аппаратуры, но и от технического состояния всего космического комплекса, включающего в себя все оснащение КА, а также средства доставки и наземные системы управления полетом.

В данной работе, при условии успешности вывода КА на орбиту, ставится задача системной характеристики качества ДЗЗ, предполагающей одновременную оценку надежности специальных технических средств, программного обеспечения бортовой аппаратуры, а также надежности технического оснащения и работы операторов ЦУПа. Такую человеко-машинную систему определим как ЧМС ДЗЗ.

Используя системный подход, предложим методологию оценки качества ЧМС ДЗЗ на всех этапах её жизненного цикла. Для этого нами предлагается методика СТАНС, т. е. «Система Технологий Анализа Надежности Средств». Она представляет собой обобщенный подход к экспертной оценке качества ДЗЗ с расчетом надежности работы функциональных блоков рассматриваемой ЧМС. Системность оценки предлагается обеспечивать с помощью введения кластеров: Организация, Технология, Мотивирование, Нормы, Наука.

В связи с широким разнообразием внешних воздействий, а также несопоставимостью сигналов, передаваемых между элементами ЧМС ДЗЗ, рассматриваемая система представляется в данной работе как информационная. Учитывая принципиальную невозможность объединения описаний отказов аппаратуры, ошибок человека-оператора, а также сбойных и программных ошибок функциональных блоков, под термином «сбой» принято понимание: в широком смысле – непреднамеренное отклонение информации, передаваемой между элементами ЧМС ДЗЗ от штатных требований или правил; в узком смысле – отклонение настоящего значения сигнала или измеряемой величины от определенного в полетном задании или от теоретически рассчитанного значения.

В качестве основных принципов расчета характеристик технического состояния (ТС) рассматриваемой системы нами предлагаются:

- разделение структуры блоков на иерархически упорядоченные множества функциональных частей;
- соответствие структуры алгоритма расчета структуре алгоритма функционирования ЧМС при выполнении каждой функции ДЗЗ;
- выделение в алгоритме расчета иерархических уровней, объединенных в иерархическую структуру; совмещение пространства состояний и пространства событий исследуемого процесса ДЗЗ.

В результате введения предлагаемой методологии возможна алгоритмизация управления рисками, в том числе в верификации требований к разрабатываемым и изготавливаемым функциональным блокам;

к безотказности элементной базы; к инженерному обеспечению качества и надежности средств ДЗЗ, а также к учету квалификации разработчиков, изготовителей и пользователей. Системность проводимых оценок должна обеспечивать возможность получения корректных результатов надежностного проектирования КА на земле и контроля за техническим состоянием его функциональных блоков в полете.

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СКАНИРУЮЩИХ СЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

А.А. Артамонов, В.Н. Колесников,

В.В. Старшов, А.А. Сухов,

АО «Научно-исследовательский институт точных приборов»,

г. Москва

АО «НИИ ТП» имеет большой опыт в разработке моделей сканерных съемочных систем и программного обеспечения по материалам съемки отечественных КА оптико-электронного назначения (Монитор, Ресурс-ДК, Ресурс-П и другие).

Основу для моделирования составляет информация о конструктивных особенностях системы и результаты измерений поступающих от бортовых измерительных систем.

Принципы моделирования работы космических сканирующих систем основаны на анализе и учете погрешностей всех измерительных приборов, работающих во время съемки (БОКЗ, ДУС, АСН).

В целях минимизации влияния погрешностей исходной информации на результаты геодезической привязки целевой информации с использованием точных моделей сканерных съемочных систем необходимо:

- моделировать «систему» в процессе создания КА;
- калибровать параметры съемочной системы в ходе эксплуатации;
- производить расчет бюджета ошибок всей измерительной информации.

Результаты экспериментальных исследований при калибровке КА Ресурс-П.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Ю.С. Луценко, М.М. Матюшин,
ФГУП ЦНИИмаш, г. Королев, Московская область*

Высокая стоимость создания и эксплуатации ракетно-космической техники требуют применения системного подхода при построении систем управления космическими аппаратами (КА) и орбитальными группировками КА (далее ОГКА), проведении масштабных исследований в области проектирования и эксплуатации систем управления группировками КА, включающими органы управления, объекты управления и средства управления.

Органы управления группировками малых КА включают:

- центр управления полетом (ЦУП) КА и группировками КА;
- центры планирования работы наземных и космических средств управления (ЦСАКП, ЦУРС);
- центры планирования работы целевой аппаратуры и средств приема целевой информации (Оператор КА);
- лицо, принимающее решение в сложных ситуациях (ЛПР).

Объектами управления являются отдельные КА и группировки КА.

Средства управления включают:

- наземные средства управления (НСУ);
- космические средства управления (КСУ) и ретрансляции информации;
- наземные средства приема целевой информации (СПЦИ).

Показатель эффективности системы $C_{\text{ци}}$ зависит от ее структуры S (S_{cy} и S_{oy}), технологий управления T_y и технических характеристик подсистем системы управления P_3 : $C_{\text{ци}} = C_{\text{ци}}(S_{\text{cy}}, S_{\text{oy}}, T_y, P_3)$.

Каждый параметр является функцией многих переменных и определяется на основе численного моделирования. Однако модели подсистем, входящих в систему управления ОГКА, разработаны только частично. В настоящее время можно провести приближенный анализ характеристик системы управления ОГКА на основе выявления факторов влияния, их взаимосвязей и воздействий на систему. Однако даже в этом случае можно получить не только качественные но и ряд количественных результатов.

Проведенный анализ факторов влияния на систему управления ОГКА дистанционного зондирования Земли, позволяет получить следующие выводы:

- структура системы управления современных ОГКА является трехконтурной и не позволяет автоматизировать процесс управления и достичь высокой оперативности управления;
- пространственно-временная структура (ПВС) группировки КА создается без учета ПВС входящих в нее ОГКА, что приводит к появлению конфликтных ситуаций при планировании НСУ, КСУ и СПЦИ;
- пространственная структура НСУ и СПЦИ не отражает ПВС ОГКА;
- технологии управления относятся к классу линейных и ветвящихся технологий, что не позволяет управлять ОГКА как единым объектом;
- уровень автоматизации управления КА существенно отстает от уровня развития вычислительной техники, средств связи и программного обеспечения; множество «ручных» операций снижают надежность и оперативность подготовки данных на управление;
- НСУ и СПЦИ требуют подготовки к проведению сеанса связи, при этом средство управления может поддерживать связь только с одним КА;
- бортовая аппаратура связи КА с НСУ, КСУ и СПЦИ не позволяет одновременно работать с несколькими средствами такого рода.

Существующая система управления не предназначена для управления группировками, включающими десятки КА. Загрузка всех существующих НСУ не превысит 25 – 30 % для группировки из 20 КА, при этом дальнейшее наращивание группировки КА приводит к резкому росту вероятности невыполнения целевых задач. Это не позволяет в ближайшем десятилетии эффективно использовать ОГКА.

Для парирования отмеченных недостатков необходимо провести ряд существенных изменений системы управления ОГКА. К работам по совершенствованию системы управления несколькими десятками КА, осуществление которых возможно в ближайшие годы, можно отнести:

- создание моделей систем управления группировками КА;
- разработка методов расчета управления на основе целевых задач ОГКА;
- внедрение двухконтурной системы управления ОГКА;
- разработка алгоритмов совместного планирования НСУ и КСУ;

- разработка методологии оптимизации ПВС группировки КА в целом;
- разработка методологии ситуационного управления КА и ОГКА;
- создание автоматизированного контура анализа и реагирования на нештатные ситуации;
- размещение НСУ и СПЦИ с учетом ПВС перспективной группировки;
- разработка программного обеспечения автоматической подготовки управления КА (исключение «ручных» операций»);
- внедрение дистанционного управления НСУ из ЦУП КА;
- разработка альтернативных космических и наземных СПЦИ (например, на основе многолучевых активных фазированных антенных решеток);
- унификация бортовой аппаратуры (форматы представления данных);
- установка на всех КА унифицированной командно-телеметрической системы, аппаратуры ретрансляции и систем глобального позиционирования.

Предлагаемые направления работ позволят при минимальных затратах реализовать возможности группировки КА ближайшей перспективы (2025 – 2030 гг.), обеспечить управление ОГКА как единым объектом, сократить технологический цикл управления, снизить стоимость целевой информации и повысить оперативность ее получения. Будет создан задел для разработки интеллектуализированных технологий управления группировками из сотен низковысотных КА и КА дальнего космоса.

СТЕНДОВЫЙ ДОКЛАД МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ КОСМИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АФАР

*С.Н. Волков, В.Я. Геча, М.Ю. Жилнев, С.Г. Казанцев,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

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

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОЙ НЕИСПРАВНОСТИ

*Г.Е. Яцук, А.Б. Уманский, А.С. Ананьин,
АО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург*

Традиционно в ракетно-космической технике (РКТ) требование функционирования в условиях любой одной возможной неисправности (ОВН) классически решалось троированием с применением мажоритарара. При этом в основном требование функционирования в условиях ОВН предъявлялось к системе управления (СУ). Изначально данное требование функционирования являлось попыткой увеличить надежность радиоаппаратуры, которая на заре ракетно-космической отрасли была крайне не надёжной. Требование к другим узлам ракетно-космической техники не применялось по причине их больших габаритов. Со временем надежность радиоаппаратуры значительно увеличилась, на смену электронным лампам пришли транзисторы, а затем интегральные схемы, что позволило значительно снизить массу аппарата, уменьшить потребляемую мощность и увеличить время наработки на отказ.

Таким образом, СУ перестала быть самым ненадёжным элементом изделия РКТ, но требование функционирования в условиях ОВН исторически сохранилось. При этом проблемой применения классической мажоритарной выборки стало то, что аппаратный мажоритар приводит к существенной потере производительности современных процессоров.

Попытки реализации мажоритированной выборки на программном уровне выявило ограничения, заключающиеся в том, что контроль информации осуществляется не постоянно, а только в определённых контрольных точках, например, при использовании результатов расчёта, в которых эта исходная информация применялась. Однако к моменту использования результатов расчёта данные уже могут быть искажены, поэтому в условиях сбоев может быть выбран неправильный результат расчёта, что может привести к неправильной работе СУ. Увеличение частоты контрольных точек значительно уменьшает производительность системы управления.

Одним из вариантов решения данной проблемы может стать использование двухканальной вычислительной системы (ВС). Однако в двухканальной системе должна быть решена задача контроля правильности функционирования. Она может быть решена с помощью программно-логического контроля (ПЛК). При этом решать задачу достоверности и задачу контроля правильности функционирования нельзя между каналами двухканальной ВС, так как один неисправный модуль одного канала может ложно забраковать исправный модуль другого канала, что приведёт к нарушению требования функционирования в условиях ОВН. Поэтому требования определения правильного функционирования должно быть решено в рамках своего канала.

Зависший канал не может произвести самоперезагрузку, поэтому задача ПЛК не решается полностью без поддержки дополнительных аппаратных средств модуля. Одним из путей решения является использование сторожевого таймера внутри модуля. Если в вычислительном модуле физически не может быть встроенного сторожевого таймера, необходимо использовать внешний сторожевой таймер – модуль таймеров (в этом случае он бывает более интеллектуальным). Например, вычислительный модуль может вести циклическую выдачу счётчика контрольного времени (СКВ). Пропуск СКВ или неправильная выдача означает, что вычислительный модуль либо завис, либо совершил сход с выполнения программы.

С учетом того, что зачастую ВС должна работать в рамках единой шкалы времени, а между каналами системы существует задача синхронизации времени, целесообразно вынести эту задачу из вычислительного модуля для повышения производительности системы и независимого решения этой задачи. Для этого также можно использовать модуль таймеров, который обеспечивает необходимую точность, плавную подтяжку к внешней шкале времени и раздачи времени в информационной системе.

Таким образом, применение двухканальной ВС с модулем таймеров позволяет решить задачу контроля правильности функционирования и обеспечить выполнение требования ОВН. Одновременно с этим данное решение позволяет уменьшить нагрузку вычислительного модуля на задачи ПЛК, снять с вычислительного модуля задачу синхронизации времени между каналами и обеспечить подтяжку собственного времени к внешней шкале времени, что, в целом, повышает производительность двухканальной ВС.

ПРИМЕР СНИЖЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМНОГО ВЗАИМНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ

И.В. Ашарина,

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

Метод построения алгоритмов системного взаимного информационного согласования (СВИС) в многокомплексных вычислительных (распределенных) системах (МВС) приведен в [1]. Подходы к минимизации временной избыточности алгоритмов согласования представлены в [2]. Суть построения алгоритмов СВИС заключается в том, что структура МВС описывается с помощью логических выражений в формате ДНФ. Критерием выбора оптимального варианта может служить суммарная длина термов, описывающих все этапы процесса СВИС, при этом на втором этапе длина терма умножается на число раундов обмена.

Пример. В структуре МВС (см. рисунок), можно выделить варианты МВС, имеющие разную временную избыточность. **Для МВС1:** Комплекс 1 имеет основные вершины 1, 2, 3, 4, неосновные вершины 9, 10, 11; Комплекс 2 имеет основные вершины 5, 6, 7, 8, неосновные вершины 13, 14. **Для МВС2:** основные вершины Комплекса 1 – 2, 4, 5, 6, неосновных вершин нет; основные вершины Комплекса 2: 7, 8, 14, 15, неосновные вершины 1, 13, 17.

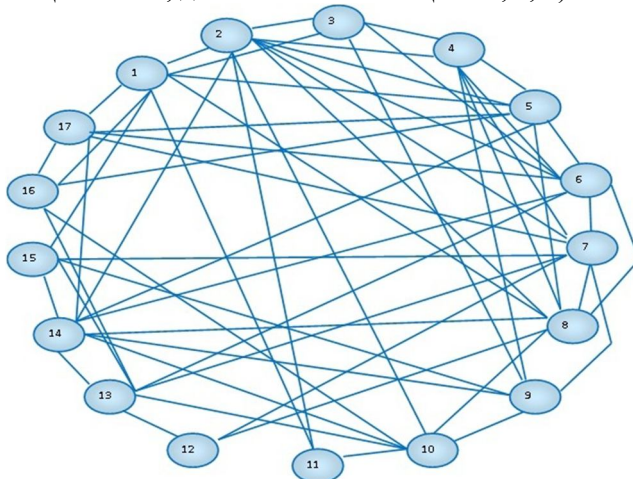
Опишем выражения ДНФ для МВС1. На первом этапе СВИС (посылка согласуемых значений каждой неосновной ЦВМ комплекса в его основные ЦВМ) строим исходящие пучки путей от неосновных вершин не менее чем к $2\mu+1$ основных вершин Комплекса 1 МВС1: исходящие пучки от неосновной вершины 9 к основным вершинам 2, 3, 4: $9\cdot3\cdot9\cdot4\cdot9\cdot10\cdot2\vee 9\cdot3\cdot9\cdot4\cdot9\cdot10\cdot11\cdot2\vee 9\cdot3\cdot9\cdot4\cdot9\cdot10\cdot11\cdot1\vee\dots$ Участки терма [3] $9\cdot3$ и $9\cdot4$ требуют одного временного кванта, а участок терма $9\cdot10\cdot2$ – двух. Аналогично строятся термы для всех неосновных ЦВМ каждого из комплексов МВС.

Второй этап СВИС – внутрикомплексное взаимное информационное согласование (ВИС) и построение вектора согласованных значений комплекса (ВСЗК) – описывается путем построения входящих пучков путей к каждой основной вершине комплекса от каждой другой основной ЦВМ этого же комплекса. Для основной вершины 1

терм, описывающий процесс ВИС, имеет вид: $2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 1$. Аналогично строятся термы для всех основных ЦВМ каждого из комплексов МВС.

Третий этап (посылка ВСЗК из основных ЦВМ комплекса в каждую из его неосновных ЦВМ) описывается путем построения всевозможных входящих пучков путей не менее чем от $2\mu+1$ основных вершин к каждой неосновной вершине. Для Комплекса 1 (МВС1) пучки к ЦВМ 9 от основных вершин 2, 3, 4: $3 \cdot 9 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 9 \vee 3 \cdot 9 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \vee 3 \cdot 9 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \vee \dots$ Аналогично строятся термы для всех неосновных ЦВМ комплексов МВС.

Четвертый этап – отправка вектора согласованных значений из комплекса-источника в вершины нулевого ранга комплекса-получателя [4]. Строим пучки входящих путей в вершину 1 Комплекса 1 от вершин Комплекса 2: $5 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 17 \cdot 1 \cdot 13 \cdot 16 \cdot 1 \cdot 14 \cdot 15 \cdot 1$. Аналогично строятся термы для остальных ЦВМ 0-го ранга каждого из комплексов МВС (для Комплекса 1 это ЦВМ 2 и 4, для Комплекса 2 – ЦВМ 5, 6, 8).



Пятый этап – вычисление ВСЗС в ЦВМ ненулевого ранга комплекса-получателя, где ЦВМ 3, 10, 11 имеют первый ранг, ЦВМ 9 – второй ранг: $1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3$ – для ЦВМ 3, $2 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 4 \cdot 9$ – для ЦВМ 9. Аналогично строятся выражения для всех ЦВМ ненулевого ранга обоих комплексов.

Полные наборы выражений ДНФ для МВС, представленных на рис.1, позволяют определить временную избыточность t (в квантах), которая составляет 19 квантов для МВС1 и 12 квантов для МВС2.

СНИЖЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМНОГО ВЗАИМНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ В МНОГОКОМПЛЕКСНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

И.В. Ашарина,

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

Рассматривается многомашинная вычислительная система (МВС), в которой ЦВМ соединены между собой двухточечными дуплексными и/или симплексными каналами связи. Каждая ЦВМ имеет информацию о структуре системы. При организации многозадачных параллельных вычислений в таких МВС одной из важнейших является задача достижения согласованности информации в различных ЦВМ системы в условиях возникновения допустимых неисправностей, формулируемая как проблема достижения взаимного информационного согласования (ВИС) [1]. Процесс ВИС представляет собой многораундный обмен индивидуальными согласуемыми значениями данных между пронумерованными с 1 до n ЦВМ. На основе результатов обмена в каждой p -й исправной ЦВМ вычисляется вектор согласованных значений (ВСЗ) $\Theta_p = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$, где θ_q ($q=1, \dots, n$) – согласованное значение, соответствующее согласуемому значению δ_q q -й ЦВМ. ВСЗ, даже при наличии допустимого количества $\mu < n$ неисправных ЦВМ, должен быть одинаковым во всех исправных ЦВМ, и каждый элемент ВСЗ, относящийся к исправной ЦВМ, должен совпадать с согласуемым значением этой ЦВМ.

Комплексом называется система или подсистема, удовлетворяющая определенным структурным требованиям, каждая исправная ЦВМ в которой может определить ВСЗ всех ЦВМ этого комплекса (ВСЗК). При параллельном решении в системе нескольких взаимообменивающихся информацией задач необходимо наличие в ней нескольких комплексов, каждый из которых отказоустойчиво решает одну из задач. Такие системы называются многокомплексными, процесс достижения системного ВИС в них можно рассматривать в виде двух последова-

тельных этапов: 1) внутрикомплексное ВИС для каждого из комплексов, при котором во всех исправных ЦВМ комплекса вычисляется ВСЗК, 2) межкомплексное (системное) ВИС (СВИС), включающее межкомплексный обмен согласуемой информацией по средам межкомплексных посылок и вычисление в каждом комплексе вектора системного ВИС, при котором в каждой исправной ЦВМ системы формируется одинаковый вектор согласованных значений всех ЦВМ системы (ВСЗС). Алгоритмы ВИС оцениваются величинами требуемых аппаратурной, временной и информационной избыточности.

Пусть в сети ЦВМ известной структуры нужно выделить определенное количество непересекающихся комплексов, для каждого из которых задан диапазон допустимого количества неисправных ЦВМ. Допустимое количество неисправных ЦВМ задано и для каждой среды межкомплексного обмена. Метод построения алгоритмов СВИС в многокомплексных распределенных системах приведен в. Необходимо найти подходы к минимизации временной избыточности алгоритмов согласования.

Суть построения алгоритмов СВИС заключается в том, что структура МВС описывается с помощью логических выражений в формате ДНФ. Такое описание позволяет сделать вывод о временной избыточности алгоритма СВИС (выраженной в квантах, представляющих собой далее неделимые временные отрезки, необходимые для передачи сообщений между смежными ЦВМ) в МВС. В методе из предлагается выбор приемлемой структуры системы, найденной первой из всех возможных таких структур. Эта особенность определяет одно из направлений поиска метода снижения временной избыточности алгоритма СВИС: выделение структуры системы среди возможных, определяемых методом из, наиболее способствующей снижению временной избыточности.

Критерием выбора оптимального варианта как комплекса, так и МВС может служить суммарная длина термов выражений ДНФ, описывающих все этапы процесса СВИС.

Вопросы оптимизации временных характеристик МВС имеют большую практическую значимость и требуют дальнейших исследований.

Детализация и разработка этих открытых вопросов для рассматриваемых алгоритмов СВИС, являются весьма актуальными и перспективными направлениями дальнейших научных исследований в связи с тем, что такие системы чаще всего работают в режиме реального времени.

ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМНОГО ВЗАИМНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ В МНОГОКОМПЛЕКСНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

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

Рассматривается метод построения алгоритмов системного взаимного информационного согласования (СВИС), обеспечивающих формирование во всех исправных ЦВМ многокомплексной системы одинакового и правильного вектора согласованных значений всех ЦВМ системы в условиях возникновения допустимых враждебных неисправностей как внутри комплексов, так и в средах обмена между ними.

Проблема взаимного информационного согласования (ВИС) [1] является одной из главных при построении многомашинных вычислительных систем (МВС) с обеспечением сбое- и отказоустойчивости на основе репликации задач и применения динамической избыточности, гарантирующей как получение правильного результата вычислений при появлении допустимых неисправностей, так и обнаружение и идентификацию этих неисправностей самой системой. Комплекс – это подсистема, состоящая из нескольких взаимосвязанных ЦВМ, каждая из которых решает копию одной и той же задачи. Эти ЦВМ обмениваются результатами, из которых каждая ЦВМ комплекса выбирает правильный результат в предположении, что только меньшая их часть может быть ошибочными. В системе имеется несколько взаимодействующих между собой комплексов. Задача СВИС состоит в следующем. Каждая ЦВМ системы имеет собственное согласуемое значение. В результате выполнения СВИС в каждой исправной системе должен быть построен одинаковый вектор согласованных значений всех ЦВМ системы, в котором согласованное значение любой исправной ЦВМ должно совпадать с ее согласуемым значением даже в условиях возникновения любой допустимой совокупности враждебных неисправностей заданного количества ЦВМ.

Существуют методы построения алгоритмов ВИС для одноконтактных систем. Метод построения алгоритмов СВИС для многокомплексных систем представляется впервые.

Ниже требуется знакомство читателя с работами, откуда взяты также используемые терминология и обозначения. Метод содержит две

части. Первая часть состоит в выделении в системном орграфе G посредством метода из орграфа H требуемой системы. После выделения требуемой структуры искомой системы построение алгоритма СВИС должно проводиться в следующей последовательности.

1. Для каждого комплекса посредством метода строится алгоритм внутрикомплексного ВИС, выполнение которого обеспечивает формирование вектора согласованных значений этого комплекса (ВСЗК) в каждой его ЦВМ.

2. Из алгоритмов, построенных на шаге 1, строится распределенный алгоритм параллельного выполнения внутрикомплексных ВИС во всех комплексах искомой системы с формированием в каждой ЦВМ каждого комплекса ВСЗК этого комплекса.

3. Для каждой заданной i -й ЦВМ каждого j -го комплекса-получателя строится алгоритм отправки из каждого k -го комплекса-источника копий его ВСЗК по приписанному этой ЦВМ графу отправки $L_{i,j,k}$, учитывающий необходимость вычисления значений ВСЗК в промежуточных вершинах в соответствии с результатами ранжирования вершин.

4. Для каждого комплекса-получателя из алгоритмов, построенных на шаге 3, строится распределенный алгоритм параллельной отправки копий ВСЗК каждого комплекса-источника в заданные ЦВМ этого комплекса-получателя.

5. Для каждой заданной ЦВМ каждого комплекса-получателя строится алгоритм вычисления достоверного значения ВСЗК каждого комплекса-источника на основе полученных копий его ВСЗК, а также алгоритм распространения этих вычисленных значений во все остальные ЦВМ этого комплекса-получателя и вычисления в них достоверных значений ВСЗК.

6. Строится распределенный алгоритм параллельного вычисления достоверного значения ВСЗК каждого комплекса-источника во всех вершинах всех комплексов-получателей.

7. Для каждой вершины каждого комплекса строится алгоритм формирования вектора согласованных значений искомой системы (ВСЗИС) из достоверных значений ВСЗК всех комплексов подсистемы.

8. Строится распределенный алгоритм параллельного формирования ВСЗИС во всех вершинах всех комплексов-получателей.

9. Распределенный алгоритм СВИС состоит в последовательном выполнении распределенных параллельных алгоритмов, построенных на шагах 2,4,6,8.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В НАДЕЖНОСТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОГРАММНО- ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Д.М. Кривопалов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Современные тенденции в развитии космической промышленности во многом связаны с её активным переходом к информационным технологиям проектирования и производства. Существенную роль в этом процессе играет надежностное проектирование. В отличие от традиционного оно предполагает не только одноразовую оценку надежности, а поиск возможных вариантов построения систем и выбор параметров элементов таких, при которых выполняются требования Технического задания.

В данной работе процесс надежностного проектирования предлагается рассматривать в виде параллельного решения двух задач: прямая задача – оценка надежности существующей системы; обратная задача – определение возможностей доработки системы для обеспечения уровня её надежности, соответствующего требованиям Технического задания.

Методы решения прямой задачи широко описаны в литературе. Обратная задача является некорректной в силу неединственности возможных решений. В качестве одного из путей повышения эффективности разработок требуется подход, минимизирующий время получения оценок корректности предлагаемых решений и ресурсы, используемых при этом алгоритмов. Важным условием практической реализации такого подхода является обеспечение возможности адаптации алгоритмов для проведения расчетов с помощью вычислительных устройств.

В данной работе обратную задачу предлагается рассматривать в виде многократно повторяющихся прямых задач при различных исходных данных. Далее, используя методы динамического программи-

рования, предлагается получить решения задачи в целом. Исходными данными в этом случае будут являться параметры элементов системы. Алгоритмы прямой задачи надежности в подобных ситуациях должны иметь наивысшую степень эффективности использования ресурсов и времени.

Важнейший этап прямой задачи оценки надежности – построение адекватной математической модели с последующей программной реализацией. Теоретическое построение моделей надежности возможно в виде рядов экспонент, где параметры ряда являются параметрами исследуемой системы. Такой подход имеет ряд преимуществ: непротиворечивость общепринятым законам распределений; возможность корректировки и моделирования собственных законов распределений; удобства представлений, например, в матричном виде для программной реализации.

Разработка рекурсивных алгоритмов, отражающих перестроение параметров и элементов математической модели при введении дополнительных или резервных элементов, и алгоритмов для случаев вложения систем друг в друга позволяет получать готовые модели целых функционально законченных модулей. Важным достоинством методов динамического программирования является возможность получать более точные результаты в тех случаях, когда реальная работа системы не может быть описана обычными структурными схемами надежности. Особенность таких алгоритмов на программном уровне заключается в том, что они могут быть сведены к определенному пересчету элементов матрицы вместо сложных процедур вычислений производных и интегрирования.

Особенностью обратной задачи надежности является вариация параметров системы для достижения наилучшего результата. Тогда алгоритмы обратной задачи могут быть представлены в виде перебора возможных параметров элементов и оптимизационного поиска наиболее эффективного решения, например, по критерию стоимости или массы КА. Программные решения показывают, что наилучшими показателями эффективности по использованию машинных ресурсов при расчете обладают рекурсивные алгоритмы.

Интеграция в одном программном продукте алгоритмов для решения прямых и обратных задач надежности позволяет реализовывать эффективные по времени и ресурсам системы оценки надежности КА и их функциональных узлов, учитывающие взаимосвязь отдельных элемен-

тов различных подсистем. Кроме того, она позволяет проводить решения обратных задач надежности, используя сформированные решения для прямых задач в автоматизированном виде. Используя результаты решений предыдущих задач, становится возможным проводить различного рода виртуальные моделирования проектируемой системы для оценки выполнения условий Технического задания. При этом введение автоматизации в процесс надежностного проектирования и моделирования снижает затраты на создание изделий космической техники, тем самым повышая его качество и конкурентоспособность.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТОЧНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

*Г.Е. Яцук, А.Б. Уманский, А.С. Ананьин, Д.И. Зелизко,
АО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург*

Отработка ПО производится в несколько этапов и на разных позициях. Отработочные позиции могут иметь различные технические характеристики и возможности. Используя полученные результаты, возможно как провести оценку эффективности отработки для одной конкретной позиции, так и сравнить полученный результат для разных позиций.

Принятый порядок отработки ПО СУ на НПОА предполагает, что отработка может проводиться с использованием нескольких технических позиций: на рабочем месте программиста, в составе комплекса отработки аппаратуры и программ, в составе цифрового моделирующего комплекса, в составе комплексного стенда.

Та или иная позиция обладает характерными преимуществами и недостатками. Например, внутреннюю логику функционирования ПО без учета внешнего взаимодействия можно полностью отработать только в составе рабочего места программиста. Отработку с учетом внесения неисправностей и кодового взаимодействия между системами наиболее эффективно можно выполнить в составе комплекса отработки аппаратуры и программ. На комплексном стенде возможно проведение отработки с учетом внесения наиболее вероятных и простых технических неисправностей в штатную аппаратуру. Поэтому на практике задача решается путем разделения задач, подлежащих отработке на той или иной позиции, а также задействования каждой позиции в

необходимом объеме, что в итоге позволяет обеспечить высокое качество отработки.

Предлагаемая модель надежности ПО позволяет оценить качество отработки ПО для отработочной позиции. Для этого введем $K_{\text{ко}}$ – коэффициент качества отработки. В процессе функционирования в общем виде априорной оценке подлежит конечный результат, поэтому очевидной оценкой является определение соотношения количества путей исполнения ПО, которое возможно проверить на отработочной позиции, к общему количеству:

$$K_{\text{ко}} = \frac{m}{n},$$

где m – количество путей исполнения ПО, которое возможно проверить на отработочной позиции, n – общее количество исполнения путей ПО. Максимальное значение $K_{\text{ко}}$ не может превышать 1.

На практике на отработочных позициях невозможно целиком выполнить полностью тот или иной путь исполнения ПО. Например, на позиции рабочего места программиста невозможно отработать взаимодействие БЦВС с внешними системами. В этом случае расчет по формуле затруднен.

Более точную оценку качества отработки можно получить, учитывая задействование вершин графа путей исполнения ПО. Для этого необходимо использовать соотношения количества вершин 1-го и 2-го рода, которые возможно проверить на отработочной позиции, к общему количеству вершин.

Для дальнейшего анализа следует использовать матрицу смежности. Введем α (коэффициент учета вершин 2-го рода) и β (коэффициент учета вершин 1-го рода).

Для вершин 2-го рода число выходящих рёбер из i -й вершины 2-го рода в любую j -ю вершину равно 1, что характеризует отсутствие вариантности по потоку управления графа. Коэффициент α учета вершин 2-го рода возможно вычислить следующим образом:

$$\alpha = \frac{m_{v^2}}{n_{v^2}},$$

где m_{V^2} – количество вершин 2-го рода, которое возможно проверить на данной отработочной позиции, n_{V^2} – количество вершин 2-го рода, которое необходимо проверить.

Для вершин 1-го рода число выходящих рёбер из i -й вершины 1-го рода в любую j -ю вершину равно сумме элементов a_{ij} матрицы смежности, что характеризует наличие вариантности по потоку управления графа. Коэффициент β учета вершин 2-го рода возможно вычислить следующим образом:

$$\beta = \frac{\sum_i \sum_j a_{ij}^m}{\sum_i \sum_j a_{ij}^n}.$$

В этом случае $K_{\text{ко}}$ можно представить следующим образом:

$$K_{\text{ко}} = \frac{m_{V^2} + \sum_i \sum_j a_{ij}^m}{n_{V^2} + \sum_i \sum_j a_{ij}^n}.$$

Однако на практике происходит декомпозиция процесса отработки, которая предполагает, что на каждой позиции упор делается на отработку тех или иных элементов ПО. С учетом применения нескольких отработочных позиций и того, что на каждой отработочной позиции отрабатывается определенное множество путей исполнения ПО, $K_{\text{ко}}$ определяется следующим образом:

$$K_{\text{ко}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{ко}}^i,$$

где $i=1 \dots n$ – количество отработочных позиций, $K_{\text{ко}}^i$ – коэффициент качества отработки для i -й позиции.

Таким образом, при организации процесса отработки стремятся получить $K_{\text{ко}} \rightarrow 1$.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

*Г.Е. Яцук, А.Б. Уманский, А.С. Ананьин,
АО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург*

Традиционно оценка показателей надежности программного обеспечения (ПО) и их прогнозирование производится на базе математических моделей надежности программ.

В процессе разработки ПО на начальных этапах ставится задача обеспечения функционирования по «положительной ветке», т. е. должно быть достигнуто прохождение всех режимов и задач при условии отсутствия неисправностей в приборах системы управления (СУ). Как правило, прохождение по «положительным веткам» является самым простым этапом. Наиболее сложным и емким процессом отработки является проверка функционирования по «отрицательным веткам», с внесением неисправностей или имитацией нештатных ситуаций.

Если представить алгоритм, в соответствии с которым разработано и функционирует ПО, в виде управляющего графа $G(V, E)$, то при функционировании по «положительной ветке» осуществляется прохождение ПО по одному и тому же пути L , т. е. вероятность бесбойного исполнения $P(L)=1$. С учетом того, что для СУ КА существует множество режимов (предстартовая подготовка, полет, зачетные или сбросочные режимы, режимы с имитацией полета), то для n -режимов при функционировании в штатных режимах при отсутствии неисправностей путем отработки подтверждается, что:

$$i = 1 \div n, \forall i : P(L_i) \rightarrow 1,$$

где L_i – путь, пройденный по управляющему графу при функционировании ПО в i -м режиме работы, n – количество режимов.

Соответственно, при исполнении ПО по каждому пути L_i осуществляется прохождение через множество V_i вершин управляющего графа G . При этом множество вершин V_i для путей прохождения L_i пересека-

ется, в этом случае можно выделить максимально достижимый подграф $G_0(V_0, E)$, причем такой, что:

$$G_0(V_0, E) \in G(V_i, E), V_0 \in V_i.$$

Иными словами, даже в процессе функционирования по различным штатным режимам производится отработка или подтверждение безотказности работы общей вершины, представленной подграфом $G_0(V_0, E)$.

В режиме предстартовой подготовки СУ функционирует в проверочных режимах, поэтому вероятность выполнения предстартовой подготовки с учетом последовательного и независимого исполнения $i=1 \dots n$ задач может быть определена как:

$$P_{nn} = \prod_i P(L_i),$$

где i – соответствующий номер проверочной задачи, $P(L_i)$ – вероятность исполнения i -задачи.

Для режима основной полетной программы вероятность исполнения равна:

$$P_{onn} = P(L_{onn}),$$

т. е. исполнения пути L_{onn} основного направленного управляющего графа.

Отработка происходит последовательно, с постепенным увеличением количества отработанных путей исполнения ПО. В процессе отработки устанавливаются более приоритетные направления, определяемые в порядке очередности исходя из следующих принципов:

- первоначально обрабатываются положительные ветки прохождения ПО;
- отработка основных отрицательных веток, спровоцированных возникновением наиболее вероятных неисправностей постоянного характера в аппаратуре СУ, имитацию которых наиболее просто произвести в техническом плане;

– отработка основных отрицательных веток, спровоцированных возникновением менее вероятных неисправностей аппаратуры СУ, которые носят сложный характер (кратковременный сбой, возникновение более одной неисправности) и имитацию которых технически сложно выполнить.

Таким образом, на конкретном этапе отработки вероятность безотказного исполнения ПО равна вероятности безотказного исполнения множества путей L^m (m -веса коэффициент), причем L^m входит в состав множества L :

$$L_i^m \in L^m, L^{m-1} \in L^m, L^m \in L.$$

Весовой коэффициент m в этом случае должен быть целочисленным. Он определяет первоочередность отработки, и чем он ниже, тем более приоритетным является этап отработки.

Таким образом, на начальных этапах отработки вероятность безотказного исполнения программы равна $P=P(L^1)$, т. е. множеству путей L_i^1 . Для более поздних этапов отработки и в процессе эксплуатации СУ эта вероятность равна $P=P(L^m)$.

По итогам отработки программа считается правильной, если она не содержит ошибок. При этом можно описать среднее значение вероятности безотказного исполнения:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P(L_i)}{n}.$$

Формула дает возможность оценить качество ПО по результатам отработки.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПЛОЩАДНЫХ СЪЕМОК ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

*В.Н. Платонов, А.В. Сумароков,
Публичное акционерное общество
«Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
имени С.П. Королёва», г. Королёв, Московская область*

В работе рассматривается управление ориентацией перспективного космического аппарата (КА) с гиродинами в качестве основных исполнительных органов. Космический аппарат предназначен для съемки заданных районов земной поверхности с высоким пространственным разрешением (1,0 м при съемке в надир) и функционирует на круговой солнечно-синхронной орбите с высотой 650 км и наклоном 98° . В состав системы управления движением и навигации высокоманевренного КА также входят: три звездных датчика ASTRO APS, датчик угловой скорости ГИВУС (имеющий четыре измерительных канала), аппаратура спутниковой навигации АСН-Е, три электромагнитных исполнительных органа для сброса накопленного кинетического момента инерционных исполнительных органов. При проведении наблюдений одновременно работают два звездных датчика.

Космический аппарат должен обеспечивать проведение различных видов съемок: кадровая съемка, стереосъемка, площадная съемка, коридорная съемка, съемка полосы вдоль трассы. В работе расчеты проводились для КА с осевыми моментами инерции по осям X , Y , Z равными соответственно: 800 кгм^2 , 500 кгм^2 , 800 кгм^2 . Для обеспечения требуемого пространственного разрешения снимков, при проведении съемок должны быть обеспечены точности стабилизации вокруг каждой из осей X и Z КА не более $0,001^\circ/\text{с}$.

Использование гиродинов в системе управления движением КА позволяет резко увеличить количество съёмок в сеансах наблюдений по сравнению с системой управления движением использующей маховики. Это достигается за счет того, что гиродины могут создавать управляющий момент на порядки превосходящий момент маховиков. Поэтому набор и гашение угловой скорости при проведении разворотов КА происходят практически мгновенно, в связи с чем продолжительность программных разворотов значительно сокращается. Исполь-

зование гироскопов также позволяет осуществлять площадные съемки, проведение которых невозможно при использовании маховиков. Вместе с тем, производимые в настоящее время в Российской Федерации гироскопы, для рассматриваемого КА (с относительно малыми моментами инерции), переразмерены по кинетическому моменту $\sim$ в четыре раза. Минимальное управляющее воздействие таких гироскопов на порядок превышает минимальное управляющее воздействие маховиков. Данное обстоятельство значительно затрудняет выполнение заданных точностных характеристик стабилизации КА при проведении съёмок. Другой проблемой для рассматриваемой системы управления КА является ограниченный диапазон измерительных каналов датчика угловой скорости ГИВУС: от минус 1,6 °/с до +1,6 °/с.

В работе рассматривается возможность обеспечения точностных характеристик стабилизации для наиболее динамичного режима, – площадной съемки. Для этого в контуре управления ориентацией КА выбраны параметры управления, наблюдателя и фильтра упругих колебаний обеспечивающие заданные технические характеристики. В докладе приводятся результаты математического моделирования, подтверждающие возможность выполнения рассматриваемым КА режима площадной съемки и требуемых точностей стабилизации.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА РАБОТУ РАДИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ИК-ФОТОПРИЕМНИКОВ АППАРАТУРЫ МСУ-МР НА КА «МЕТЕОР-М» № 2

*Р.В. Андреев¹, А.В. Воронкевич², Ю.М. Гектин¹,
А.А. Зайцев¹, А.Г. Фролов¹,*

*¹Акционерное общество «Российская корпорация
ракетно-космического приборостроения
и информационных систем», г. Москва,*

Для поддержания теплового режима аппаратуры на борту КА используют системы радиационного охлаждения. Системы радиационного охлаждения также пригодны для достижения криогенных температур, необходимых для штатного функционирования фотоприемных устройств сканирующей аппаратуры, работающей в тепловой области спектра. При этом возрастает как их сложность, так и требования по незатенению различными частями КА и строгому отсутствию солнеч-

ной засветки поверхностей радиатора. Эти проблемы удается решить, однако в большинстве случаев не удастся избежать попадания на рабочие поверхности радиатора излучения, восходящего от Земли. Такая ситуация имеет место в работе криогенной системы радиационного охлаждения (РХ) ИК-фотоприемников аппаратуры МСУ-МР на КА «Метеор-М» № 2.

В аппаратуре МСУ-МР реализована двухступенчатая система радиационного охлаждения ИК-фотоприемников. 1-ая ступень РХ крепится стойками к корпусу РХ и отделена от него несколькими слоями металлизированного лавсана. ИК-фотоприемники расположены на 2-й ступени РХ, которая размещена в углублении 1-й ступени на нитевой подвеске. Ступени РХ также отделены листами металлизированного лавсана. Глубина размещения 2-й ступени выбрана таким образом, чтобы на нее не попадало излучение от земной поверхности. Такая конструкция позволяет охладить фотоприемники до азотной температуры. Рабочая температура 1-й и 2-й ступени РХ, достигнутая при летной эксплуатации, составляет 147 К и 77 К соответственно.

В докладе представлена модель и результаты расчета мощности излучения, приходящего на поверхности ступеней РХ от Земли. Разработанная модель учитывает размеры и взаимное расположение излучающих поверхностей РХ, а также пространственную ориентацию аппарата относительно Земли. Особенностью данной модели является то, что при расчете учитывается многократное переотражение излучения от стенок зеркального экрана, «обрамляющего» 2-ю ступень РХ. В целях наземной отработки и прогнозирования температур конкретных образцов РХ были проведены экспериментальные работы по радиационному захлаживанию в вакуумной камере с имитацией расчетного потока от Земли. Анализ используемой методики и сравнение расчётных и экспериментальных данных приведен в докладе.

EQUIPMENT FOR NEW SPACE APPROACH

*Sven Rettig
Airbus Electronics
Space Platform and Payload Electronics (Германия)*

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*И.В. Захаров,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Необходимость решения массовых задач автономного управления бортовыми вычислительными системами (БВС) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в реальном масштабе времени при неопределенности целевой обстановки и условий эксплуатации требует существенного повышения производительности и надежности БВС при снижении энергопотребления аппаратуры КА, и, следовательно, оптимизации использования ограниченных информационно-вычислительных ресурсов.

Перспективным направлением решения данной проблемы выступает создание управляющих многопроцессорных БВС с элементами искусственного интеллекта, обладающих повышенной живучестью, гибким распределением вычислительных ресурсов и адаптивным режимом функционирования. Внедрение технологий, связанных с развитием электронной компонентной базы и коммуникационных стандартов, создают предпосылки к совершенствованию архитектуры БВС. Современная элементная база позволяет осуществлять гибкое управление режимами работы с учетом производительности, энергоемкости, температурного режима и других условий. Однако для их реализации необходимо совершенствование научно-методического аппарата теории вычислительных систем, теории живучести и ряда смежных дисциплин, имеющего в настоящее время ряд существенных ограничений.

В основу ресурсного подхода положен тот факт, что БВС КА, выполняя вычислительную работу, расходует ресурсы различной физической природы, например, электроэнергию, запас радиационной стойкости, ресурс надежности, количество перезаписей в ячейки flash-памяти. При этом выход из строя ее компонентов, сопряженной бортовой аппаратуры, повреждение систем электроснабжения и терморегуляции и т. п. можно рассматривать как снижение общего ресурса системы. Поскольку повышение уровня избыточности и защищенности

аппаратуры КА наталкивается как на жесткие массогабаритные ограничения, так и на неопределенность характера и параметров внешних факторов, ее эффективное функционирование следует обеспечивать за счет средств и алгоритмов реконфигурирования БВС. Так, например, необходимо учитывать, что опасность и тяжесть последствий влияния неблагоприятных факторов снижается для компонентов, находящихся в пассивных или облегченных режимах. С другой стороны, изменение обстановки меняет целевой эффект применения КА ДЗЗ в целом и, следовательно, степень критичности успешного выполнения в БВС тех или иных вычислительных задач. Таким образом, при планировании вычислительного процесса в БВС КА необходим поиск компромисса между производительностью и экономией ресурсов, поскольку даже простейшие модели показывают неоднозначность выбора структуры и алгоритмов управления БВС.

Задача автономного управления БВС сводится к отысканию оптимальной в некотором смысле конфигурации (режима работы компонентов и распределения задач) исходя из ее состояния, ресурса элементов, параметров воздействующих факторов и ценности решаемых задач согласно некоторому управляющему алгоритму. При этом используется положение, что выработанный ресурс, как характеристика состояния системы, не зависит от траектории его выработки, а определяющей характеристикой БВС является производительность как потенциальная способность выполнить вычислительную работу, причем остаточный ресурс определяет потенциальную возможность выполнить вычислительную работу в будущем. Задачу поиска квазиоптимального управления БВС КА ДЗЗ целесообразно представить как задачу динамического программирования. С целью ее решения обоснован ряд возможных критериев, различающихся алгоритмической сложностью решения соответствующей задачи. Выбор конкретного способа и, соответственно, построение алгоритма управления конфигурациями требуют учета особенностей организации конкретных БВС и верификации посредством имитационно-аналитического моделирования.

Предлагаемая модель, в отличие от классических вероятностных моделей, учитывает динамику режимов работы и алгоритмы их выбора через выработку ресурса, а в отличие от моделей структурной деградации вычислительных систем, исходящих из связности структуры и кратности отказов, параметрический характер отказа системы в целом.

Предложенная модель выглядит достаточно открытой для агрегирования с моделями функциональных возможностей элементов, их надежности, стойкости и защищенности от внешних воздействий, варьирования характеристиками задач и их потоков, моделями диспетчеризации и режимов работы компонентов БВС. Таким образом, предложенный подход может найти применение при разработке алгоритмов автономного управления функционированием БВС КА ДЗЗ в условиях меняющейся обстановки, состояний бортовой аппаратуры и длительных сроков активного существования орбитальных группировок.

ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССАМИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В.А. Максимов,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Современный этап развития космической техники характеризуется устойчивыми тенденциями к увеличению объемов данных, накапливаемых в процессе функционирования космических аппаратов, и к переносу процессов обработки этих данных с наземных комплексов обработки на борт. Данная информация может носить различный характер (телеметрическая, специальная, навигационная и т. д.), а также различную важность для потребителя (наземного комплекса управления, бортовых систем и пр.). Наибольшие объемы данных генерируются в результате работы целевой бортовой аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования земли. При этом ее характеристики совершенствуются с каждым поколением и, как следствие, значительно растет объем данных, накапливаемых и обрабатываемых на борту.

Одним из перспективных вариантов построения системы хранения данных (СХД) космических аппаратов дистанционного зондирования земли (КА ДЗЗ) является вариант построения на базе запоминающих устройств, основанных на различных физических принципах. Данные микросхемы (например, MRAM, FRAM, SONOM и др.) обладают существенными отличиями как в физическом принципе хранения данных, так и в с точки зрения архитектуры. Различные исследования, в том числе ряд натурных экспериментов, проведенных NASA показывают, что такие микросхемы обладают рядом преимуществ с точки

зрения устойчивости функционирования и надежности хранения данных в условиях космоса, что делает их привлекательными для применения на борту космических аппаратах. Стоит отметить, что выбор одного определенного типа запоминающего устройства затруднен ввиду существенного различия их характеристик (например, обладая большей радиационной стойкостью, они обладают меньшими объемами хранимых данных и пр.)

При этом, данные хранимые в системе хранения данных космического аппарата обладают также различными атрибутами. Так, некоторые данные теряют актуальность по прошествии некоторого промежутка времени, а другим задается более высокий приоритет.

Однако на данный момент методы синтеза гетерогенных систем хранения и управления ими недостаточно разработаны.

Предлагается подход к управлению процессами хранения информации в системе хранения данных, основанный на оценке важности поступившей информации для наземного пункта приема и обработки (НППОИ), а также на оценке состояния гетерогенной системы хранения данных.

В данном случае важность информации характеризуется совокупностью первоначальной важности объекта наблюдения для НППОИ, а также актуальностью информации (убывающая со временем функция).

Состояние системы хранения данных характеризуется совокупностью векторов нормированных показателей параметров ее элементов (энергопотребление, время доступа, количество циклов чтение/запись, накопленная экспозиционная доза, стойкость элементов к одиночным эффектам).

В общем случае, процесс управления процессом сохранения сводится к оцениванию важности вновь поступившей информации, важности уже хранимой в системе информации, оцениванию состояния системы.

В соответствии с заданными требованиями по безошибочности хранения (для заданной важности) производится расчет вероятности отсутствия ошибок для вновь поступившей информации, исходя из предполагаемого размещения данных в СХД (на основе текущего состояния СХД).

Если состояние системы позволяет разместить новую информацию с параметрами помехоустойчивого кодирования и уровнем реплика-

ции, обеспечивающими заданный уровень безошибочности, то осуществляется ее запись. В противном случае, происходит оценка важности уже хранимой информации, перерасчёт параметров кодирования и степени репликации для уже хранимых данных, и, при необходимости, снижение требований к безошибочности вновь поступивших и уже хранимых данных, их совместная запись в СХД.

Предложенный подход к обеспечению заданного уровня безошибочности информации, хранимой в СХД КА ДЗЗ позволяет гибко управлять процессами хранения и их параметрами (параметрами кодирования и размещения блоков данных по узлам системы), а также непосредственно состоянием системы хранения данных в условиях ее деградации (старение входящих в состав системы структурных элементов, их сбои и отказы). При этом учитывается начальная важность поступившей в систему информации, ее актуальность в текущий момент времени, а также непосредственно состояние СХД и условия в которых осуществляется процессы сбора и хранения информации. Кроме того, могут возникнуть ситуации, когда КА ДЗЗ будет работать продолжительное время в автоматическом режиме при отсутствии сеансов сброса информации по высокоскоростной радиолинии (ВРЛ) на НППОИ. В таких случаях актуальным становится выбор: какие данные хранить в системе при ее переполнении, и с какими параметрами информационной избыточности. Принятие решения в подобных ситуациях также возлагается на устройство управления СХД КА ДЗЗ, реализующее предложенный подход в виде алгоритмов управления процессами хранения.

МЕТОД АДАПТАЦИИ БОРТОВОГО СПЕЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА К НЕСТАЦИОНАРНЫМ УСЛОВИЯМ ВЕДЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ

*А.Н. Григорьев, Д.С. Кориунов, В.В. Октябрьский,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Известно, что качество многоспектральных изображений, получаемых космическими системами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), зависит от полноты и точности данных о фоноцелевой обстановке и внешних условиях наблюдения объекта съемки. Указанные данные традиционно учитываются на этапе планирования съемки.

Качество многоспектральных снимков определяется, в частности, значением экспозиции, оптимальный выбор которого зависит от спектральной облученности и спектрального альбеда наблюдаемой территории. В настоящее время расчет спектральной облученности подстилающей поверхности производится с учетом данных метеопрогноза о состоянии атмосферы, в основе которого лежат модели, не позволяющие с высокой точностью прогнозировать условия наблюдения на момент времени съемки. В свою очередь, спектральное альбеда определяется с использованием обобщенных данных об отражательной способности районов съемки.

В рассмотренных условиях актуальной является задача повышения качества многоспектральных снимков путем обоснованного выбора параметров работы оптико-электронной системы космического аппарата с учетом данных о фактических условиях наблюдения объектов.

В рамках настоящей статьи предлагается подход для повышения уровня автономизации КА ДЗЗ за счет анализа оптических условий съемки и параметров регистрации многоспектральных данных непосредственно на борту орбитального средства. Предлагаемая концепция решения указанной задачи состоит в модернизации бортовых аппаратов и программных средств.

Во-первых, комплекс целевой аппаратуры КА требует усовершенствования путем установки ДБСК, свойства которого обеспечивают анализ восходящего (отраженного заданным районом съемки) потока излучения. В первом приближении ДБСК представляет собой многоспектральный экспонетр, поле зрения которого ориентировано вперед по трассе КА. Путем управления КА при подлете к заданному району обеспечивается пересечение поля зрения ДБСК и интересующего района наблюдения, в результате чего регистрируются соответствующие экспонетрические данные. Указанные процедуры управления КА и использования ДБСК выполняются в соответствии с рабочими программами (РП) ДБСК и бортового обеспечивающего комплекса (БОК), заложенными на борт в составе РП КА.

Во-вторых, вычислительный комплекс КА дополняется программными средствами, обеспечивающими анализ экспонетрических данных и вычисление оптимальной экспозиции для БОЭСК при съемке заданного района. При этом сущность решения задачи оптимизации состоит в определении зависимости показателя качества регистрируемых данных от изменений условий их регистрации, оцененных с уче-

том фактических экспонетрических данных, и выборе параметров съемки, при которых указанное качество имеет максимальное значение. Естественно, что для получения высококачественных данных требуется увеличение интервала времени экспонирования. Однако в силу динамики орбитального полета и определенной нестабильности КА увеличение экспозиции ведет к снижению качества данных.

Последующие процедуры съемки, в частности, управление КА для выполнения целевой съемки заданного района и регистрация данных с использованием БОЭСК являются традиционными и выполняются по параметрам, содержащимся в РП БОК и БОЭСК. Исключение составляет рассмотренная особенность, состоящая в использовании при регистрации данных о конкретном районе съемки результата априорного применения ДБСК – значения экспозиции для фотоприемного устройства.

Необходимо отметить, что одна из ключевых задач реализации предложенной концептуальной модели ведения оптико-электронной съемки состоит в выборе и исследовании показателя качества данных, позволяющего оценить влияние комплекса условий съемки на свойства получаемых изображений подстилающей поверхности.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧАСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА УНИФИЦИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ СОЗДАНИИ КА ДЗЗ

*Ю.Г. Пичурин,
«Научно-исследовательский институт космических систем
имени А.А. Максимова» –
филиал Федерального государственного унитарного предприятия
«Государственный космический научно-производственный центр
им. М.В. Хруничева», г. Королёв, Московская область*

В настоящее время при реализации космических проектов все шире используются унифицированные космические платформы (УКПл). Понятие принципа унификации состоит в возможности построения космических платформ, соответствующих по своим тактико-техническим характеристикам целевому назначению проектируемым на их основе космическим аппаратам, из набора надёжных, отработанных

ных, в том числе имеющих лётную квалификацию, блоков и устройств.

При проведении сравнительного анализа технического уровня унифицированных космических платформ обычно используют ограниченное количество частных показателей УКПл, характеризующих их возможности, по обеспечению эффективного функционирования КА по назначению.

Многокритериальная задача оценивания технического уровня УКПл сводится к однокритериальной задаче, вводя некий комплексный показатель эффективности, зависящий от частных показателей, то есть, осуществив, так называемую, свертку критериев.

Комплексный показатель эффективности при свертке по возможности учитывает все рассматриваемые частные показатели, причем с учетом вклада (веса) каждого из частных показателей. Зависимость для расчета комплексного показателя эффективности обеспечения УКПл полезной нагрузки, по сути, представляет собой средневзвешенную сумму основных частных показателей эффективности:

$$W = \sum_{i=1}^n k_i \cdot w_i,$$

где w_i – частные показатели эффективности УКПл;

k_i – весовой коэффициент частного показателя эффективности УКПл.

Для оценивания весовых коэффициентов каждого частного показателя можно использовать методы: экспертного опроса; анализа функций изделия; корреляционно-регрессионного анализа.

Анализ перечисленных методов показал, что первые два обладают рядом недостатков, к которым следует отнести:

- большую трудоемкость и существенные временные затраты;
- наличие субъективизма, присущего самой процедуре экспертного опроса и анализа функций изделия, а также вследствие привлечения большого числа специалистов в данной предметной области;
- низкую степень достоверности получаемых результатов.

Поэтому наиболее целесообразно проводить оценивание весовых коэффициентов каждого частного показателя УКПл на основе методов корреляционно-регрессионного анализа.

В этом случае для оценивания весовых коэффициентов каждого частного показателя УКПл предлагается использовать коэффициент выборочной корреляции «масса УКПл – частный показатель» (r_{yw_i}), который характеризует степень влияния каждого частного показателя УКПл w_i на массу унифицированной космической платформы и, чем выше значение r_{yw_i} , тем существеннее данный i -ый показатель и выше его весовой коэффициент.

Весовые коэффициенты частных показателей при этом определяются как

$$k_i = \frac{r_{yw_i}}{\sum_{i=1}^n r_{yw_i}},$$

где n – количество используемых показателей.

ВИРТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ В КОНЦЕПЦИИ КА «ПРИБОР – СПУТНИК»

*А.А. Пономарев¹, И.Д. Родионов², Л.Н. Сигал¹,
¹АО «НИИЭМ» (Московская обл., г. Истра),
²ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (г. Москва)*

В концепции УКП, господствующей в Роскосмосе, целевая аппаратура (ЦА) – аппаратура ДЗЗ, связи и научные приборы, рассматривается в качестве одностороннего потребителя услуг служебной платформы, получаемых в виде стандартных интерфейсов питания, ориентации, связи и других. Для решения ряда задач ЦА вынуждена принимать альтернативные решения, парирующие ограничения ряда параметров УКП, в том числе и по точности ориентации КА. Примером может служить КА «КОРОНАС-ФОТОН», использовавший в качестве УКП служебную платформу КА «Метеор».

В КА «КОРОНАС-ФОТОН» рентгеновскому телескопу «ТЕСИС» для целей юстировки, перемещения свой оптической оси по диску Солнца и калибровки 2-х координат изображения, потребовалось регулирование ориентации в диапазоне углов 1 – 10 угл. мин, при стабилизации ~ 1 угл. с/с. Тогда, как система ориентации КА обеспечивала

только *одноосную* ориентацию, с точностью 5 угл. мин, стабилизацией ~ 20 угл. с/с, при амплитуде колебаний 1 угл. мин.

Наличие астродатчиков в ТЕСИС позволило ввести в КА режим коррекции (РК) – смещение курсовой оси КА по двум ортогональным осям, управлением от телескопа. Определение текущих координат оси и выработка управляющих сигналов производилось *a posteriori*, по изображению в картинной плоскости телескопа.

Для парирования вращения КА вокруг оси (дрейфа) был введен экспериментальный режим (РЭ) *трехосной* ориентации КА, также под управлением ТЕСИС, обеспечивающий необходимую ориентацию КА на приемные станции.

Обобщая результаты ЛКИ, можно констатировать, что вся совокупность работ по изменению структуры, параметров и целей системы ориентации реализовала *de facto* концепцию КА «прибор – спутник». В этой концепции пассивная роль “*полезной нагрузки*” УКП сменяется активной, *ведущей* ролью ЦА в бортовом комплексе управления и других системах платформы.

Достижимая точность системы ориентации УКП всегда ограничена по исполнительным органам, запасу устойчивости и другим параметрам. Технологии сигнального (физического) уровня изменений средствами ЦА структуры и параметров системы ориентации в настоящее время более эффективно могут быть заменены информационными технологиями. При этом для ЦА обеспечивается робастность к параметрам УКП.

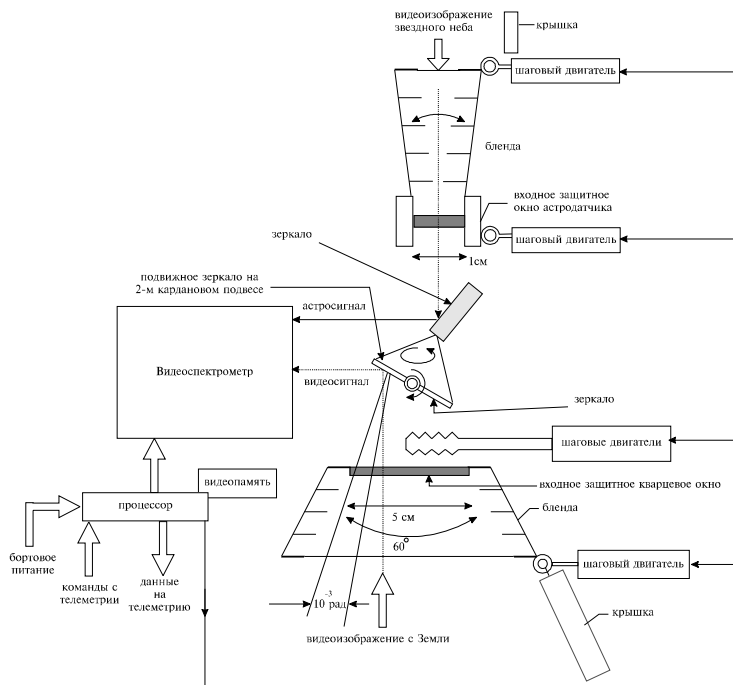


Схема ориентации и наведения УФ, ВИД и ИК видеоспектрометра

Выбор параметров систем ориентации и стабилизации КА подчинен задачам ЦА.

Режим коррекции (РК) – смещением оси ТЕСИС на калиброванные значения 3,6, 9 угл. мин по двум ортогональным осям

УКП – консервативный подход

Каталог Hipparcos точность 20 угл. с

Наложение сеансов приема данных от нескольких КА.

Высокая потребность в управлении НА.

Тангажное замедление – введено в ТЗ БКА-2 (некорректное определение).

Проблемы прецизионной ориентации и стабилизации, особенно важные для ДЗЗ детальной съемки, предлагается решать виртуально – распознаванием образов в видеоданных ЦА. Так, впервые предложенная схема виртуальной нониусной ориентации и наведения осуществ-

ляет координатную привязку изображений ЦА с помощью встроенных в оптическую схему ЦА астродатчиков. В отличие от метода использования видеоданных в (непригодного в реальном времени), предлагаемая схема избавляет от необходимости использования наземных опорных точек, всегда зашумленных, и избегает некорректных задач вычисления направляющих косинусов. Выигрыш состоит и в ожидаемой точности – угловые секунды вместо минут.

СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ГИБРИДНЫХ ОБЪЕМНЫХ ИС ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СПУТНИКАХ ДЗЗ

**Mouallem Wissam,
**К.В. Бердичевский, **А.В. Королёв,
*3D PLU, Франция,
**ООО «ЭСДИЭС», г. Санкт-Петербург*

Рынок интегральных схем (ИС) для применения в космических аппаратах ДЗЗ постоянно пополняется новыми изделиями. Каждое новое изделие обладает более высокой надёжностью, производительностью и имеет более низкую стоимость, чем применяемые ранее. Компания 3D PLUS (Франция) уже более 20 лет занимается разработкой и производством высоконадёжных модулей памяти для ответственных применений, в том числе и для применений в космической технике. С развитием технологий и ростом потребностей заказчиков инженеры 3D PLUS начали работать над более сложными устройствами и создали комплекс подсистем памяти для хранения и обработки данных ДЗЗ на борту КА. Устройства хранения данных производства 3D PLUS нашли применение в различных российских и иностранных космических аппаратах, в том числе в КА ДЗЗ группы Pleiades, марсоходе Curiosity, КА миссии Rosetta и других. В 2016 г. компания 3D PLUS также запустила в производство универсальную 4М пиксельную камеру КМОП камеру космической квалификации для применения в качестве стандартной автономной системы в спутниках ДЗЗ. Наряду с решени-

ями в области хранения данных компания 3D PLUS разрабатывает и технические решения для законченной системы приёма, обработки и хранения изображений. В докладе будет представлен обзор технических решений для применения в КА ДЗЗ, включая новейшие ИР-блоки для подавления воздействия ионизирующего излучения на устройства хранения и обработки информации.

АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРСПЕКТИВНОЙ РОССИЙСКОЙ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЕ, РЕШАЮЩЕЙ ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА В ИК ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА

*Р.В. Андреев, Н.П. Акимов, Ю.М. Гектин,
А.А. Зайцев, С.М. Зорин, А.В. Рыжаков,
М.Б. Смелянский, Д.О. Трофимов,
Акционерное общество*

*«Российская корпорация ракетно-космического приборостроения
и информационных систем», г. Москва*

В России в настоящее время находятся в эксплуатации и разработке многоспектральные ИК радиометры для КА различного назначения (гидрометеорологического, природоресурсного, чрезвычайных ситуаций и т.д.), которые позволят обеспечить отечественных потребителей независимой видеоинформацией в диапазоне спектра от 3,5 до 14 мкм. Однако, в связи с расширением круга решаемых потребителями задач, актуальным представляется проведение работ по систематизации и оптимизации требований к параметрам бортовых ИК радиометров, определяющих целевые характеристики съёмочной аппаратуры с учетом уже накопленного опыта её создания как в нашей стране, так и за рубежом.

В представленном материале рассмотрены технические требования к ИК аппаратуре по трем направлениям космической деятельности:

- Аппаратура гидрометеорологического и океанографического назначения;
- Целевая аппаратура среднего пространственного разрешения глобального мониторинга чрезвычайных ситуаций (обнаружение и идентификация очагов лесных пожаров и высокотемпературных объектов естественного и техногенного происхождения);

- Целевая аппаратура высокого пространственного разрешения для природоресурсного и локального теплового мониторинга;
- Материал подготовлен по результатам исследовательских работ, проводимых в АО «Российские космические системы», на основе многолетнего опыта по созданию многоспектральных ИК радиометров.

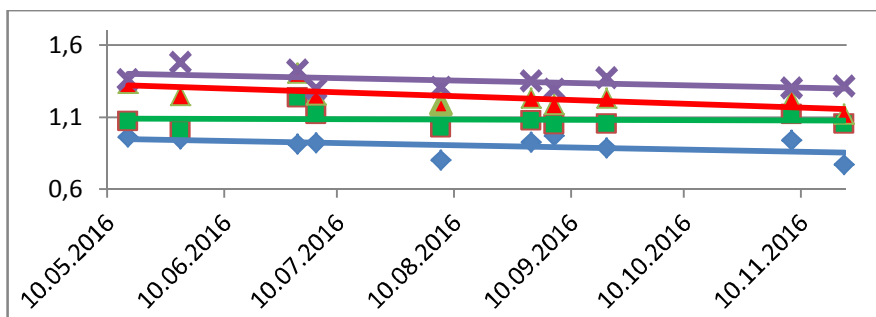
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АБСОЛЮТНОЙ КАЛИБРОВКИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ КАМЕРЫ КА «КАНОПУС-В» № 1

А.И. Васильев, А.С. Стремов,

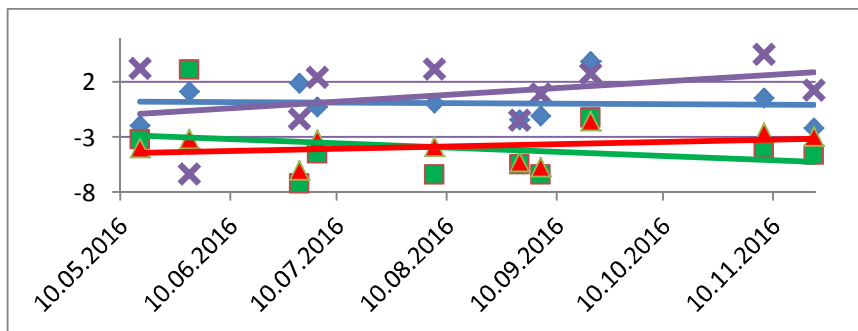
В.П. Коваленко, А.А. Михеев,

НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы», г. Москва

Одним из основных направлений применения данных КА типа «Канопус-В» является решение задач мониторинга народнохозяйственной деятельности, в частности анализ состояния вегетации. Решение этого класса задач обуславливает необходимость проведения периодической радиометрической калибровки датчика. Подходы на основе кросс-калибровки по данным зарубежных датчиков активно применяются для данных российских космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ). Например, для данных КМСС КА «Метеор-М» № 1 предложена методика кросс-калибровки спектральных каналов Red, Green, NIR по данным MODIS КА Terra.



а) Мультипликативный параметр



б) Аддитивный параметр

Рис. 1. Динамика изменения уточняющих параметров абсолютной калибровки. Линиями показаны тренды динамики

В рамках данной работы ставилась следующая основная задача: исследование динамики изменения параметров абсолютной калибровки мультиспектральной аппаратуры КА «Канопус-В» с целью оценки стабильности параметров и точности спектрометрических измерений, в частности вегетационных индексов. Для решения этой задачи в работе предлагается:

- для кросс-калибровки спектральных каналов Red, Green, Blue MCC «Канопус-В» использовать данные OLI Landsat 8;
- для кросс-калибровки спектрального канала NIR MCC «Канопус-В» использовать соответствующий спектральный канал ETM+ Landsat 7.

С учетом указанных особенностей был проведен эксперимент по уточнению линейных поправок параметров абсолютной калибровки за период май-ноябрь 2016 года. На рисунке приведена динамика изменения мультипликативного и аддитивного параметров соответствующих спектральных каналов, а также наблюдаемые линейные тренды. Полученные результаты позволяют оценить стабильность (СКО) уточняющих параметров абсолютной калибровки:

- по мультипликативному параметру (относительно среднего значения) в пределах 6,3 % – для канала Blue, 5,6 % – для канала Green, 4,3 % – для Red, 3,6 % – для канала NIR;

- по аддитивному параметру в пределах $3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ср мкм}}$ для каждого из каналов.

Результаты кросс-калибровки, используемые для вычисления вегетационных индексов приведены в таблице.

Точность вычисления вегетационных индексов по результатам параметров радиометрической калибровки МСС КА «Канопус-В» № 1

Вегетационный индекс	СКО после калибровки	СКО до калибровки
$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	0,096	0,401
$SR = \frac{NIR}{RED}$	0,306	0936
$ARVI = \frac{NIR - 2RED - BLUE}{NIR + 2RED - BLUE}$	0,8	93,295
$VARI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED - BLUE}$	0,122	0,231

**МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К
ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

*А.В. Марков, О.В. Григорьева, А.Г. Саидов,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Тактико-технические характеристики (ТТХ) оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли определяются ее целевым назначением, что требует учета при обосновании перспективных систем свойств (геометрических, спектрально-энергетических) объектов наблюдения и характерных для них подстилающих поверхностей. К основным ТТХ многоспектральной (МС) съемочной аппаратуры (СА) относятся характеристики оптической системы и матрич-

ных приемников излучения, а также количество и границы рабочих спектральных каналов.

Задача выбора характеристик СА (фокусного расстояния, диафрагмы, размера элемента матрицы и др.) может быть решена известным способом, основанном на параметрическом синтезе оптико-электронных систем. В основе методики заложены принципы имитационного моделирования аппаратуры при различных режимах полета носителя и условиях наблюдения. В частности, реализуются модели переноса излучений от объекта в сквозном тракте прибора и пороговой характеристики восприятия изображений. Выбор оптимальной конфигурации оптико-электронной системы осуществляется по заранее заданным критериям качества, к которым относятся требуемая вероятность распознавания заданной номенклатуры объектов, определяемая линейным разрешением на местности при заданных условиях наблюдения. При этом исходными данными для выбора оптимальных ТТХ являются не только геометрические, но и спектрально-яркостные характеристики объектов и фонов в информативных диапазонах спектра.

Методика обоснования рабочих (информативных) спектральных каналов МС СА может основываться на классической теории распознавания, в которой используется термин «существенная размерность», обозначающий минимальное число измерений (выделяемых признаков), необходимое для точного представления множеств данных о распознаваемом объекте. В соответствии с этим понятием обоснование количества и границ информативных диапазонов спектра, в пределах которых возможно проводить автоматическую классификацию и идентификацию объектов местности, реализуется с помощью следующих методов:

1. Метод моделирования монохроматических и интервальных контрастов элементов сцены и их изображений при различных условиях съемки и состоянии атмосферы.

2. Методы статистического оценивания, основанные на анализе компонент собственных векторов ковариационной матрицы при преобразовании спектральных данных по методу главных компонент.

3. Методы анализа формы спектральной сигнатуры объекта, характеризующие смещения и локальные точки ее перегиба, отличные от фона (градиентный метод и метод пространственно-масштабируемой фильтрации спектральной кривой). Так, в результате пространственно-масштабируемой фильтрации осуществляется свертка исходных спек-

тральных свойств объектов в ограниченный набор информативных признаков, которые несут информацию о смещениях и локальных точках перегиба (максимального наклона) спектральной кривой целей, нехарактерной для фоновых объектов.

В докладе приведены примеры реализации разработанных методов, с помощью которых можно более обоснованно подойти к выбору спектральных диапазонов в существующей МС СА, обеспечивающей достоверное обнаружение и распознавание объектов по их спектрально-отражательным свойствам. Например, использование классического варианта четырехканального прибора в трех видимых и одном ближнем инфракрасном диапазоне спектра не всегда эффективно для решения некоторых природоресурсных задач, в том числе связанных с более детальной классификацией ландшафтов, особенно в условиях отсутствия априорной информации или при съемке районов с высоким уровнем биоразнообразия.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ ИЗ КОСМОСА

*А.Н. Афонин, А.И. Бакланов, Г.В. Бунтов,
А.П. Гринько, И.А. Малахов, А.М. Мастюгин,
К.В. Невоструев, Е.А. Радин,
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» –
НПП «ОПТЭКС», г. Москва, Зеленоград*

Комплекс аппаратуры дистанционного зондирования Земли (КОЭЦА) входит в состав полезной нагрузки опытно-технологического малого космического аппарата «Аист-2Д». Комплекс включает в себя: панхроматический и мультиспектральный оптико-электронные преобразователи, предназначенные для получения совместно с ОЭА «Аврора» снимков поверхности Земли с высоким разрешением в видимом диапазоне спектра; инфракрасную камеру теплового диапазона на основе микроболометрических матриц; запоминающее устройство и бортовую радиолинию. Бортовая радиолиния и запоминающее устройство обеспечивают запись, накопление, хранение и передачу на наземную станцию цифровой информации от всех инструментов полезной нагрузки МКА «Аист-2Д», как от аппаратуры,

входящей в состав КОЭЦА, так и от научных приборов, установленных на МКА, а также телеметрической информации.

Отличительной особенностью КОЭЦА являются компактность и небольшие весовые характеристики (всего 33 кг). При этом аппаратура высокого разрешения обеспечивает с орбиты высотой 490 км получение высококачественных панхроматических и мультиспектральных снимков в большой полосе захвата (39,6 км). Пространственное разрешение с ОЭА «Аврора» составляет 1,47 метра и 4,41 метра в панхроматическом и мультиспектральном каналах соответственно. Входящая в состав КОЭЦА инфракрасная камера КОЭ-ИКД предназначена в первую очередь для отработки новых технологий в области приборостроения для ДЗЗ. Камера КОЭ-ИКД позволяет получать тепловые изображения поверхности Земли в спектральном диапазоне 8 – 14 мкм с невысоким пространственным разрешением (122 м., полоса захвата 47 км).

В состав КОЭЦА входят два широкоформатных оптико-электронных преобразователя (ОЭП) высокого разрешения на основе матриц ПЗС, работающих в режиме ВЗН, – панхроматический и мультиспектральный, источники питания, инфракрасная оптико-электронная камера (КОЭ-ИКД), запоминающее устройство, радиопередатчик и антенна. Передача видеоинформации от блоков ОЭП и КОЭ-ИКД в БЗУ осуществляется с использованием волоконно-оптических линий связи. Управление КОЭЦА осуществляется от системы управления КА по интерфейсу CAN2.0, путем выдачи команд непосредственного исполнения.

Фоточувствительную зону панхроматического (0,5 – 0,8 мкм) блока ОЭП образуют 18 матриц ПЗС ВЗН «Круиз-6» с размером пикселя 6×6 мкм². Формат каждого фотоприёмника 1536×192 пикселя. Суммарная длина строки составляет около 27 тысяч пикселей. Матрицы секционированы и обеспечивают съёмку с 192, 128, 96, 64, 48 или 32 шагами накопления. Таким образом достигается дискретное изменение чувствительности ОЭП при изменении условий наблюдения.

В мультиспектральном блоке ОЭП-АМС используется модификация фотоприёмных модулей «Круиз-Ц-Б» со светофильтрами, обеспечивающими съёмку в 3-х спектральных диапазонах: 0,45 – 0,52 мкм; 0,53 – 0,6 мкм; 0,63 – 0,69 мкм. В блоке ОЭП-АМС установлено 12 таких фотоприёмных модулей форматом 768×64 пикселей размером 18×18 мкм². Суммарная длина строки около 9 тыс. пикселей. Число

шагов накопления изменяется с коэффициентом 2 в диапазоне 64, 32 и 16, позволяя управлять чувствительностью блока ОЭП-АМС. Используемые в фотоприёмниках интерференционные светофильтры являются сложнейшим изделием. Обеспечены точность границ спектральных зон около 3 нм.

Волоконно-оптические линии высокоскоростной передачи информации между блоками в комплексе аппаратуры КОЭЦА являются настоящим инновационным решением для использования в составе малого космического аппарата «Аист-2Д». При этом все компоненты для таких линий (кабельная оптическая сеть, оптические передатчики и приёмники, кроссы) разработаны и изготовлены на своей производственной базе в НПП «ОПТЭКС».

При проведении работ в ходе полёта МКА «Аист-2Д» было экспериментально подтверждена возможность использования в дистанционном зондировании Земли микроболометрических матриц, работающих в тепловом диапазоне. Камера КОЭ-ИКД на основе микроболометрического модуля имеет кадровую организацию. Формат кадра 384x288. Оценка полученных в полёте изображений показывает, что достигается температурное разрешение около 0,2 °К.

Конструктивно БЗУ-А выполнено в виде моноблока. Емкость БЗУ на начало срока активного существования 160 ГБ. На конец срока прогнозируется около 140 ГБ. Воспроизведение информации из БЗУ в радиолинию осуществляется со скоростью 150 Мбит/с. Масса блока 5,7 кг. Максимальная потребляемая мощность в процессе записи 16,2 Вт.

Бортовая радиолиния X-диапазона принимает и форматирует данные от блока БЗУ; осуществляет помехоустойчивое кодирование; генерирует сигнал несущей частоты, осуществляет его модуляцию и усиление; осуществляет направленную передачу информации на наземный приемный пункт. Модуляция QPSK. Скорость передачи данных 150 Мбит/с через всенаправленную антенну.

28 апреля 2016 г. МКА «Аист-2Д» был выведен на расчётную орбиту высотой 490 км и приступил к работе. Уже через неделю начались съемки с использованием комплекса КОЭЦА. Подтверждены все заложенные конструктивные решения и проектные характеристики оптико-электронной аппаратуры. Уже в течении года ведется постоянная штатная работа с МКА и съёмочной аппаратурой. Информации ОЭА «Аврора» и КОЭЦА востребованы потребителями.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СВЧ-РАДИОМЕТРЫ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

*И.А. Барсуков, В.В. Болдырев, М.И. Гаврилов, П.А. Ильгасов,
О.В. Никитин, В.Ю. Панцов, Н.И. Стрельников, А.М. Стрельцов,
И.В. Черный, Г.М. Чернявский, В.В. Яковлев,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

В докладе рассматриваются методы и средства спутниковой СВЧ-радиометрии для гидрометеорологического обеспечения. Рассматриваются особенности зондирования атмосферы и подстилающей поверхности, которые включает спектральные и поляризационные измерения как в окнах прозрачности атмосферы 6.9, 10.6, 18.7; 23.8; 31; 36.7; 42; 48, 91 и 220 ГГц, так и в линиях поглощения кислорода 52-57 ГГц и водяного пара 183,31 ГГц.

Рассматриваются характеристики микроволновых сканеров/зондировщиков для температурно-влажностного зондирования атмосферы, таких как МТВЗА спутника «Мереор-3М» № 1, МТВЗА-ОК спутника «Сич-1М», МТВЗА-ГЯ спутников «Метеор-М» № 1, 2, а так же перспективного прибора МТВЗА-ГЯ-МП для космического аппарата «Метеор-МП».

Анализируются схемные и технические решения, вопросы калибровки спутниковых СВЧ-радиометров, результаты обработки данных и их применение в гидрометеорологии.

К ПОСТРОЕНИЮ РАДИОИНТЕРФЕЙСА СПУТНИКОВОГО ВЫСОТОМЕРА

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

Важнейшим компонентом миссий по дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) из космоса является радиовысотометр. Современный спутниковый высотометр (альтиметр) представляет собой прецизионный и высокотехнологичный прибор, предназначенный для измерения высоты орбиты космического аппарата с точностью порядка несколь-

ких сантиметров. Результаты измерений в дальнейшем используются для уточнения формы геоида, локализации течений и вихрей в Мировом океане, определения степени взволнованности моря и характеристик приповерхностного ветра и т.п. Исторически сложилось так, что основными поставщиками альтиметрических устройств на мировой рынок оказались европейские и американские фирмы, однако текущая политическая конъюнктура породила острую заинтересованность в замещении западных разработок отечественными.

В современных ДЗЗ-миссиях финальное извлечение необходимой информации из альтиметрических данных возлагается на наземный комплекс, тогда как в задачи бортового оборудования высотомера входят надежный захват отраженного сигнала, устойчивое слежение за ним в течение неограниченного времени и передача накопленных данных с борта спутника на наземный центр обработки. Исследования авторов доклада были посвящены теоретическим аспектам построения именно радио интерфейса спутникового высотомера.

В работе предложены аналитическая и компьютерная модели отраженного сигнала высотомера (профиля мощности), сочетающие приемлемую точность с упрощениями, обеспечивающими максимально прозрачную интерпретацию основных функциональных режимов радио интерфейса. На этой основе синтезированы оптимальные алгоритмы оценки запаздывания эхо-сигнала, структуры оптимальных и квазиоптимальных дискриминаторов бортового контура сопровождения эхо-сигнала по времени, а также рассчитана потенциальная точность многопараметрической оценки высоты, степени волнения моря и отражающих свойств поверхности. Заключительным итогом доклада служат рекомендации по выбору формата модуляции и параметров зондирующего сигнала, а также структур приемных трактов спутникового высотомера.

О ПОЛУЧЕНИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПО ТЕХНОЛОГИИ РСА

*А.Е. Евграфов, В.Г. Польш,
ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»,
г. Химки, Московская область*

В современных вариантах всепогодного космического зондирования Земли обзор ее поверхности выполняется радиолокаторами, размещенными на космических аппаратах (КА). Использование технологии радиолокации с синтезированием апертуры (РСА) позволяет получать двумерные и трехмерные радиолокационные изображения (РЛИ) с высоким разрешением.

Технология РСА использует дополнительную угловую модуляцию зондирующих радиосигналов, получаемую ими в момент отражения от земной поверхности при движении радиолокатора относительно наблюдаемого объекта. Знание закона этой модуляции служит основой для формирования опорной функции (ОП) корреляционной обработки принятых сигналов, отраженных от элементарных отражающих площадок, составляющих зондируемую поверхность. Точное воспроизведение ОП является неотъемлемой частью различных конкретных алгоритмов оптимального синтеза РЛИ по технологии РСА.

Основой формирования РЛИ в технологии РСА является процедура формирования изображения парциального элемента разрешения (ПЭР) элементарной отражающей площадки поверхности Земли. Это РЛИ ПЭР служит пикселем РЛИ наблюдаемого участка поверхности земли и должно представляться в системе единого координатно-временного обеспечения мониторинга. Множество РЛИ ПЭР объекта, получаемое в ходе его наблюдения, образует исходные данные, используемые в ходе дальнейшего приведения полученных изображений к сеткам различных географических систем координат.

В докладе рассматривается методология координатно-временной привязки и генерации РЛИ пикселя, служащая основой алгоритма оптимальной обработки принятых радиосигналов. Показана процедура определения координат формируемого РЛИ пикселя, основанная на использовании данных о текущем векторе состояния центра масс носителя РЛС. Отмечается, что эта процедура сама по себе не нуждается в привлечении данных о реальной угловой ориентации КА или антенны РЛС. Дается оценка точности получаемой привязки положения РЛИ пикселя к общеземной прямоугольной связанной системе координат.

Дополнительно рассматривается задача определения и формирования самой эталонной функции, включая ее приближенные представления, предназначенные для использования в практике конструирования комплекса радиолокационного зондирования Земли. Предлагаются различные способы ее формирования, приводятся результаты матема-

тического моделирования, иллюстрирующие качество формирования РЛИ пикселя по альтернативным вариантам.

КАДРОВЫЕ И ВЗН ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Г.И. Вишневский, М.В. Четвергов,
ЗАО «НПП «ЭЛАР», г. Санкт-Петербург*

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

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

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

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

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

В рамках ОКР «Разработка опережающего задела бортовых приборов дистанционного зондирования Земли, в части создания многоканального оптико-электронного комплекса с высоким пространственным разрешением» (шифр ОКР «Прибор-ОЭК») изготовлено семей-

ство широкоформатных ФПЗС ВЗН. На данный момент эти приборы являются самыми крупными матричными фотоприемниками отечественного производства. Семейство представляют два ФПЗС для панхроматического и спектрального каналов:

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

Дальнейшее совершенствование этих датчиков проводится в рамках ОКР «Пиксел-ВД» и «Прибор-СР». В разработанных и изготовленных датчиках реализована возможность двунаправленного считывания и значительно увеличена частота считывания видеосигнала до 30 МГц. В ФПЗС ВЗН «Комби» (ОКР «Прибор-СР») заложена конструкция, сочетающая на одном кристалле панхроматический (размер ячейки 9х9 мкм и формат строки 6144 элемента) и 4 спектральных канала (размер ячейки 18х18 мкм и формат строки 3072 элемента), что обеспечит более эффективное использование площади в фокальной плоскости оптоэлектронной аппаратуры.

Ведется разработка матричных ФПЗС ВЗН для панхроматического и спектральных каналов нового КА ДЗЗ «Ресурс-ПМ».

В рамках ОКР ведется и изготовление гибридной, многокристалльной ФПЗС ФЗН сборки. Указанный фотоприемник построен на основе ФПЗС ВЗН «Круиз-6» – самого массового фотоприемника для отечественных космических систем ДЗЗ.

Кроме ФПЗС ВЗН для комплектования целевой аппаратуры ЗАО «НПП «ЭЛАР» ведет поставки фотоприемников для систем астроориентации: ФППЗ «Лев-3» и ФПЗС «Сфера-1000». В рамках ОКР «Прибор-ОЭК» был разработан и изготовлен фотоприемник для перспективной системы астроориентации форматом 3600×2500 элементов. В разработке находится следующее поколение датчиков данного типа (форматом фотозоны 1024×1024 и 2048×2048 элементов), которые будут отличаться улучшенными фотоэлектрическими характеристиками и повышенной надежностью. Разработана топология приборов с увеличенной частотой кадров для прибора форматом 2048х2048 элементов в режиме «окнирования». Во всех фотоприемниках используются ФПЗС с конструкцией ячейки с «виртуальной фазой», обеспечивающие квантовую эффективность в максимуме до 60 – 62 % и свыше 30 % на 150 нм.

В рамках внутренних работ предприятия разработан и изготовлен прототип прибора с электронным умножением сигнала в выходном регистре.

ЗАО «НПП «ЭЛАР» совместно с АО «НПП «Силар» занимается разработкой и изготовлением матричных КМОП-фотоприемников. На данном этапе завершена разработка топологии, изготовлены кристаллы фотоприемников в режиме технологического аутсорсинга и проведена их сборка в корпуса и измерение фотоэлектрических параметров. В настоящий момент проводятся работы по измерению параметров КМОП-фотоприемников, изготовленных по откорректированной документации.

Полученные результаты позволяют с оптимизмом рассматривать перспективы развития производства фотоприемников данного типа. На данный момент начат ряд работ (как инициативных, так и по договорам со сторонними организациями) по разработке и изготовлению КМОП-фотоприемников для различных сенсорных систем. К тематике данной конференции наибольшее отношение имеет специализированный КМОП-сенсор для бортовой аппаратуры, который разрабатывается по заказу АО «НПП «Геофизика-Космос».

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД КОМПАНИИ UMS К СОЗДАНИЮ АППАРАТУРЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

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

Разработка спутников дистанционного зондирования земли в настоящее время приобретает все большую актуальность. Радары с синтезированной апертурой космического базирования иностранного производства показывают технические характеристики, достаточные для реализации широкого круга прикладных задач в интересах народного хозяйства, а также обороны и безопасности. Процесс создания спутника дистанционного зондирования земли в России ставит перед разработчиками задачу по выбору современной электронной компонентной базы, обладающей как техническими параметрами, так и уровнем качества и надежности достаточными для решения задач, заложенных в ТЗ. Возможным решением такой задачи могут стать изде-

лия или услуги французского производителя монолитных микроволновых ИС – компании United Monolithic Semiconductors (UMS).

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

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

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

Кроме того, будет представлен краткий обзор наиболее востребованной GaAs и GaN номенклатуры изделий для создания аппаратуры ДЗЗ, включая

перспективные мощные транзисторы и усилители мощности в диапазоне частот 8 – 12 ГГц, выполненные по GaN технологическому процессу.

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНОГО КОДИРОВАНИЯ

¹ А.А. Дудкин, ²Д.Ю. Перцев,

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

²Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г. Минск

При разработке алгоритма сжатия было проведено исследование корреляции гиперспектральных данных, позволяющей оценить степень сходства данных между собой. Результат вычисления спектраль-

ной корреляции между каналами для гиперкуба Moffett Field представлен на рис.1, *a*. Пространственная корреляция между двумя произвольными точками (i, j) изображения проиллюстрирована на рис.1, *b* (для примера выбран канал 43 этого гиперкуба). Изменение значений корреляции представлено визуально полутоновым изображением (справа от изображения приведена легенда).

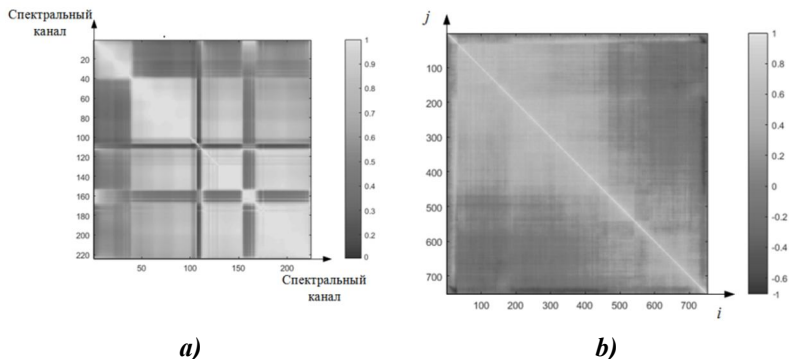


Рис. 1. Матрица корреляции для гиперкуба Moffett Field:
а) спектральная; б) пространственная

С учетом проведенного исследования представлен алгоритм сжатия, показанный на рис. 2. Общее число спектральных каналов N делится на подмножества фиксированного размера n , которые передаются на вход алгоритма сжатия. В качестве этапа предварительной обработки используется целочисленное вейвлет-разложение для понижения пространственной корреляции. Для понижения степени спектральной корреляции используется вычитание соседних каналов. Финальным этапом предлагаемого алгоритма является энтропийное кодирование, задачей которого является формирование результирующего сжатого потока.

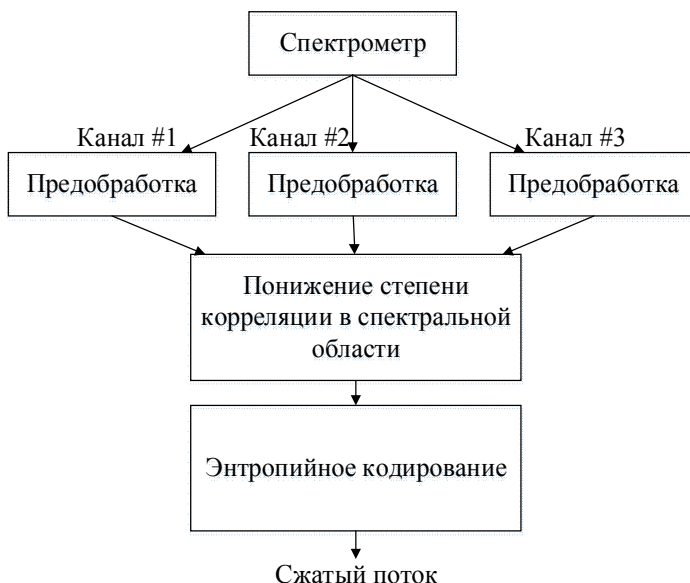


Рис. 2. Алгоритм сжатия

Эксперименты в рамках данного подхода показали приемлемый уровень сжатия при относительной вычислительной простоте. Основным недостатком являются трудности с получением качественных гиперспектральных данных, полученных в различных условиях съемки, для тестирования алгоритма.

МНОГОЗОННЫЕ ПОЛОСОВЫЕ СВЕТОФИЛЬТРЫ ДЛЯ ФОТОПРИЕМНОЙ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*П.А. Поздняков, Е.А. Хохлов, М.И. Ивановский,
В.Я. Ширшов, Н.А. Долгий,
ООО «ИЗОВАК Технологии», Беларусь, г. Минск*

В системах ДЗЗ широко применяются современные фотоприемники на базе ПЗС матриц. При этом, входное окно представляет собой систему многозонных полосовых интерференционных светофильтров интегрированных на единой подложке. Эта система фильтров предназначена для выделения в проходящем потоке света нескольких оп-

тических зон (каждая со своим спектральным пропусканием), фотометрически и спектрально равномерных в пределах своей области пропускания, в блоках оптико-электронных преобразователей.

Входное окно представляет собой плоскопараллельную склеенную многослойную стеклянную пластинку прямоугольной формы (рис.1). Число элементарных стеклянных подложек, входящих в склейку, в зависимости от спецификации фильтров, обычно составляет 2 – 4. На поверхности каждой стеклянной подложки, перед операциями склейки, наносятся сложные интерференционные покрытия, с числом элементарных слоев на каждой из сторон подложки до нескольких десятков. Будучи соединенными в единый пакет интерференционные структуры отдельных подложек формируют итоговые светофильтры с очень высокими светотехническими спектральными параметрами. Кроме интерференционных спектральных зон, на отдельных подложках формируются непрозрачные в спектральном диапазоне заграждения диафрагмы (черное матовое покрытие), перекрывающие световой поток за пределами оптических зон.

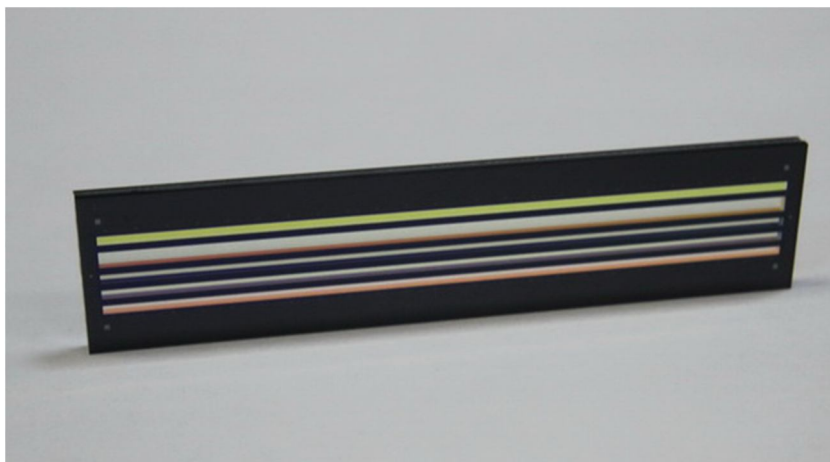
Технологический процесс изготовления таких входных окон построен на принципах групповой обработки, как это принято в микроэлектронике. В качестве рабочих заготовок используются материнские стекла небольшой толщины (0,5 – 0,8 мм). Методами фотолитографии на исходных материнских стеклах геометрически выделяются зоны отдельных спектральных диапазонов, в которые последовательно наносятся стеки расчетных интерференционных структур. Таким образом, обработка каждой из подложек представляет собой повторяющиеся последовательности однотипных операций.

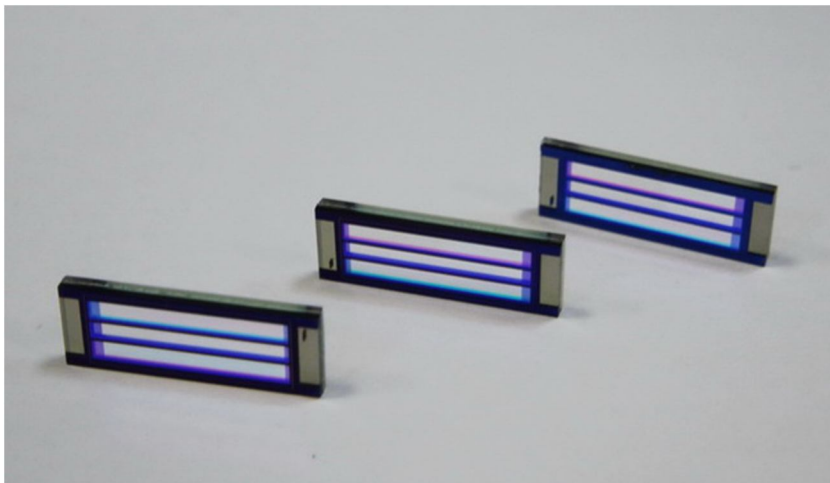
Готовые материнские подложки склеиваются в единый пакет, после чего он разделяется на индивидуальные входные окна корпусов ПЗС матриц. На торцы входных окон наносится черное матовое покрытие и изделия поступают на операции выходного контроля и аттестации.

Многостадийность процесса изготовления, суммарное большое количество тонкопленочных слоев (до двух сотен), в процессе нанесения которых недопустимы ошибки и сбои, делают подобные изделия очень чувствительными к стабильности оборудования и методам обработки.

Разработанные в Группе Компаний Изовак технологические процессы и специальное технологическое оборудование позволяют успешно решать задачи по производству подобных изделий. Фильтры выпускаются по согласованной с заказчиком конструкторской документации в соответствии с технологией, методами контроля и приемки, которые закреплены в разработанных на основе данных многолетних исследований и испытаний технических условиях ТУ ВУ 191631885.001-2015.

Технология производства входных окон ПЗС фотоприемников с многозонными полосовыми фильтрами постоянно совершенствуется. В настоящее время проводятся НИОКР, которые ставят своей целью создать конструкцию окна на базе одного материнского стекла, без применения операций склейки, при одновременном улучшении светотехнических параметров. Получены первые результаты, которые демонстрируют возможности успешного перехода на входные окна ПЗС матриц на базе единичной стеклянной подложки, при сохранении достигнутого уровня светотехнических параметров. Такой переход потребует дальнейшего совершенствования технологического оборудования, методов контроля и управления параметрами процессов нанесения интерференционных структур.





СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДАННЫМИ ДЗЗ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ ПОРТАТИВНЫМИ СРЕДСТВАМИ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

*А.Н. Черный, В.Г. Поспелов,
«Научно исследовательский институт
космических систем им. А.А. Максимова»,
Т.А. Арефьева, М.С. Саратовских,
Акционерное общество «Научно-исследовательский
институт точных приборов»*

Стремительное развитие информационно-космических технологий привело к резко выросшим требованиям к разрабатываемым технологиям приема, обработки и распространения информации, полученной при дистанционном зондировании Земли.

Вектор их развития объясним расширяющимся спектром задач в различных социально-экономических сферах, информационное обес-

печение которых опирается на высокдетальные космические снимки, получаемые с периодичностью от суток до нескольких часов и оперативное их доведение до потребителя. При этом в условиях все расширяющихся возможностей портативных средств отображения информации индивидуального пользования (ПСОИИП) актуализируется вопрос об оперативности предоставления информации ДЗЗ пользователям различных мобильных устройств путем предоставления с них удаленного доступа непосредственно к базе данных, поиск в ней необходимой информации и её отображении на экранах ПСОИИП.

Решение данной задачи может быть реализовано в парадигме ЕТРИС, в рамках которой при наличии промежуточного звена между ПСОИИП и ЕТРИС (например, ситуационного центра – СЦ), обеспечивающего доступ только к некоторому ограниченному объему информации, уже в среднесрочной перспективе с ПСОИИП конечные потребители получают не только доступ к базе данных для извлечения готовых информационных продуктов, но и возможность самостоятельно их производить через геопорталы с использованием предоставляемого ими инструментария. При этом ПСОИИП будут иметь возможность не только вести непосредственный поиск информации в хранилище, но и запрашивать отсутствующую в нем информацию

Архитектура построена по технологии «Клиент-сервер», при этом серверный модуль представлен программной компонентой (ПК) распространения информации (РИ), загруженной на рабочую станцию распространения информации (РСРИ), размещенной на СЦ, а клиентский модуль представлен ПК анализа информации (АИ), который загружен в ПСОИИП.

Для обеспечения независимости доступа ПСОИИП к хранилищу информации ДЗЗ и использования возможностей облачных вычислений на РСРИ создаются виртуальные машины (ВМ) по числу ПСОИИП. В каждую ВМ загружается ПК АИ, который взаимодействует с программной компонентой доступа к информации (ПКДИ), размещенной в хранилище информации ДЗЗ, загруженной в гипервизор РСРИ. Аналогичная ПКДИ загружена в сервер хранилища, что обеспечивает автоматизированный удаленный доступ к нему ПСОИИП.

При отсутствии в хранилище информации ДЗЗ необходимых информационных продуктов (ИНФПРО) пользователь ПСОИИП формирует запрос на требуемый информационный продукт и отправляет его

на РСРИ. Оператор РСРИ в свою очередь формирует заявку на производство отсутствующего в хранилище ИНФПРО и пересылает ее координатору.

Координатор посредством информационно-поискового интерфейса (ИПИ) обращается к внешним ресурсам и с использованием предоставляемого ими инструментарием формирует требуемый ИНФПРО. Координатор может актуализировать полученный ИНФПРО, наполнив его информационным слоем, содержащим данные мониторинга наземных датчиковых систем.

После этого ИНФПРО направляется в хранилище информации ДЗЗ и становится доступной для выдачи на ПСОИИП.

Для наполнения хранилища информацией координатор анализирует его каталог и заблаговременно наполняет архив информацией, актуальной для данной местности и соответствующе решаемым задачам.

Подобная система спроектирована в рамках программы Союзного государства «Мониторинг-СГ».

Следует подчеркнуть, подобная система может иметь двойное назначение. Здесь исходим из мнения военных экспертов о том, что ситуативная осведомленность в тактическом звене управления требует обеспечение командиров и отдельных бойцов самой «свежей», полностью связанная в едином географическом, тактическом и навигационном контексте, тактической информацией, что может быть обеспечено с применением.

Адаптация системы для тактического звена управления позволит повысить степень восприятия географической и тактической информации, оперативность выработки и доведение решений, осмысливания поставленных боевых задач и будет способствовать их выполнению. Применительно к ПСОИИП это позволит предоставить командиру (бойцу, миротворцу) возможность оперативно получать тематически обработанные космические изображения, а также изображения с дополнительными информационными слоями в соответствии с решаемыми задачами.

Дополнительно на ПСОИИП может передаваться видеoinформация в реальном масштабе времени, например, с беспилотных летательных аппаратов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИКИ СБОЕВ ПРИ ПРИЕМЕ ИНФОРМАЦИИ С КА «РЕСУРС-П»

*О.В. Бекренев, А.К. Гончаров, С.И. Мартынов,
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы», г. Москва*

При создании линии передачи информации ДЗЗ с КА типов «Ресурс-ДК» и «Ресурс-П» в нее был заложен большой (порядка 10 дБ) запас по энергетике радиоканала. Теоретический расчет показывает, что прием информации на Земле с вероятностью ошибки не более 10^{-8} возможен на антенну диаметром 1,8 м даже при отсутствии помехозащищающего кодирования. Однако, реальный прием информации приемными комплексами в Москве, Железногорске и Мурманске даже на антенны диаметром 3÷5 метров происходит с большим количеством сбоев (до 20 %). Настоящая работа имеет целью показать, что причиной сбоев не может быть тепловой шум приемника, влияние которого сказывается при недостатке энергетике канала.

Сбои, вызываемые тепловым шумом приемника, являются случайными и независимыми, поэтому их распределение должно подчиняться закону Пуассона. Проверка соответствия реального распределения величин сбоев этому закону производилась с использованием критерия χ^2 (см., напр. [1]). В результате установлено, что реальное распределение соответствует закону Пуассона с вероятностью менее 1 %, что позволяет отвергнуть предположение о том, что причиной сбоев являются тепловые шумы приемника.

КОМПЛЕКС СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БКА

*О.А. Семенов, В.Н. Вальцев,
Д.Г. Волонцевич, В.А. Сипач,
Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие
«Геоинформационные системы», г. Минск, Республика Беларусь*

Опыт эксплуатации белорусского космического аппарата (БКА) выявил особенности его целевого функционирования.

В ходе проведенных исследований был выполнен анализ целевой информации БКА, выявлены причины и механизмы проявления особенностей целевого функционирования, разработаны средства оперативной оценки, учета и компенсации факторов их проявления.

Комплекс средств включает следующие функциональные модули:

- оперативной оценки качества целевой информации;
- оптимизации настроек целевой аппаратуры (ЦА) для съемки;
- компенсации смаза.

1. Средства оперативной оценки качества целевой информации (ЦИ) обеспечивают следующие виды проверок, моделирования и построения:

- корректность бортовой телеметрии в составе ЦИ;
- качество радиометрии данных ДЗЗ (построение гистограмм 8-битных, 12-битных и в энергетических единицах представлений данных ДЗЗ);
- моделирование радиометрии целевой информации (ЦА) при различных настройках ЦА;
- оценка углов ориентирования и их угловых скоростей;
- оценка погрешности отношения W/D;
- оценка смаза данных ДЗЗ вдоль и поперек трассы спутника при съемке;
- построение фактического образа пиксела.

В результате проведенных исследований по оперативной оценке качества ЦИ реализованы:

- моделирование настроек ЦА и их влияния на качество радиометрии при съемке, а в дальнейшем разработать методику и создать комплекс программно-информационных средств оптимизации настроек ЦА БКА;
- выявлен характер изменения качества ЦИ и исследовано их влияние на параметры спутника и ЦА, используемые при обработке данных ДЗЗ;
- установлены причины изменения качества ЦИ;
- реализован комплекс мер по обеспечению качества целевого функционирования БКА.

Разработанные программно-информационные средства позволяют выполнять анализ и моделирование работы ЦА по данным ЦИ. Они используются для создания технологий и программных средств обеспечения качества целевого функционирования ЦА КА серии Канопус-В.

2. Технология и комплекс программно-информационных средств оптимизации настроек ЦА для съемки.

В результате работы комплекса вычисляются величины всех десяти настроек ЦА, используемых при планировании полетного задания для ЦА: количество циклов временной задержки накопления, коэффициенты преобразования 12-битных видеоданных ЦИ в 8-битные. Настройки вычисляются для каждого из пяти каналов ЦА (ПСС и 4 МСС). Всего вычисляются значения 50 настроек ЦА.

Вычисление параметров настроек в базовом варианте выполняется по данным дистанционного зондирования Земли спутников низкого пространственного разрешения типа TERRA (AQUA) сканер MODIS. Данные ДЗЗ должны быть максимально актуальными для планируемой съемки БКА, на практике разница во времени составляет от 2 до 14 дней.

Оптимизация настроек ЦА позволяет повысить относительно стандартных настроек радиометрическое разрешение данных ДЗЗ. На примере ЦИ БКА на выборке из 17 маршрутов архивной съемки разных по условиям съемки участков земной поверхности получено среднестатистическое улучшение радиометрического разрешения более 70 % для ПСС и более 60 % (от 63 % до 105 %) для МСС.

В настоящее время методика ориентирована на оптимизацию площадной съемки. Помимо этого методика позволяет определять настройки ЦА для оптимизации объектовой съемки с получением максимально достижимого радиометрического разрешения для объектов с известными спектрально-энергетическими характеристиками.

3. Методика и программное обеспечение компенсации смаза.

Улучшение частотно-контрастных характеристик снимков БКА за счет компенсации смаза путем преобразования «смазанных» данных ДЗЗ по «обратной» функции смаза с помощью операции «управляемой деконволюции».

В качестве исходных данных для выполнения операции «управляемой деконволюции» используются результаты работы комплекса средств оперативной оценки качества ЦИ, представленные выше в п. 1. Разработанные методика и программные средства обеспечивают компенсацию смаза, получаемого за счет неточности задания угла рыскания и ошибки задания отношения W/D.

Комплекс средств обеспечения качества целевого функционирования БКА позволяет выполнить оперативную оценку качества ЦИ и повысить качество целевого функционирования БКА:

- повысить радиометрическое разрешение данных ДЗЗ за счет оптимизации настроек ЦА, используемых при съемке;
- повысить частотно-контрастные характеристики снимков БКА за счет компенсации смаза, получаемого при съемке.

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ КА «МЕТЕОР-М» 2-1/2-2

В.А. Ермаков¹, А.Е. Кузнецов², В.И. Пошехонов²

¹ АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

*² ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» (НИИ «Фотон»), г. Рязань*

Геодезическая привязка и геометрическая обработка целевой информации от датчиков МСУ-МР, КМСС и ИКФС-2, устанавливаемых на КА серии «Метеор-М», выполняется на основе данных о линейном и угловом положении КА во время съемки земной поверхности. Эти данные формируются приемником ГЛОНАСС/GPS, звездными датчиками и измерителями угловых скоростей и передаются через бортовое синхронизирующее координатно-временное устройство (БСКВУ) в центры приема и обработки спутниковой информации Роскосмоса и Гидромета. В работе измерительной аппаратуры, а также при передаче этой информации на приемные пункты могут возникать сбои, приводящие к потере данных о линейном и угловом положении КА.

Для диагностирования сбойных ситуаций и восстановления измерительной информации с целью обеспечения требуемой точности геопривязки создано специальное программное обеспечение анализа и восстановления данных БСКВУ. Для решения данной задачи потребовалось решить ряд вопросов, которые рассматриваются в докладе:

- определение и критерии диагностируемых сбоев, разрушений и недоверностей в файле телеметрии;
- описание условий запуска программы восстановления данных: наличие и граничную количественную оценку потерь во входной информации; наличие и минимально необходимый набор достоверных входных данных;
- разработка методов и алгоритмов компенсации (устранения) сбоев, разрушений, недоверностей и отсутствия информации о пространственном положении и угловой ориентации КА;

– оценка максимально допустимых временных интервалов восстановления данных, на которых погрешность геопривязки информации всех видов целевой аппаратуры КА не превышает величины пространственного разрешения информации;

– описание структуры файла результатов проведенного анализа и восстановления данных БСКВУ.

Алгоритмы восстановления данных выполняют расчет элементов внешнего ориентирования КА в двух случаях. Во-первых, при обнаружении разрушений, сбоев и недостоверности входных данных, которые приводят к пропуску измерений на интервале времени более 1 секунды. Во-вторых, расчет выполняется при отсутствии навигационных измерений между моментом начала съёмки маршрута до первого достоверно полученного измерения и от последнего измерения до момента окончания съёмки. Первый случай будем называть в дальнейшем интерполяцией измерений, второй – экстраполяцией.

Для нахождения положения и скорости спутника используется процедура орбитального прогноза по возмущенной орбите, входными данными для которой являются вектор координат и скорости центра масс КА в гринвичской геоцентрической системе координат на некоторый момент времени. Процедура орбитального прогноза учитывает влияние гравитационного поля Земли с заданным числом гармоник (максимум 70), возмущения от Солнца и Луны. Таким образом, по заданным начальным условиям $\mathbf{p}_0$, $\mathbf{v}_0$, t_0 , которые рассчитываются по достоверно принятым измерениям от ГЛОНАСС/GPS приёмника, определяется вектор координат $\mathbf{p}(t)$ и скорости $\mathbf{v}(t)$ КА на произвольный момент времени t .

Наибольшее влияние на точность геопривязки оказывает расчет ориентации КА на моменты времени отсутствия высокоточных измерений звездных датчиков. Для решения данной задачи разработан ряд алгоритмов. Показано, что наибольшую точность обеспечивает использование данных от датчиков угловых скоростей совместно с крайними достоверно принятыми измерениями от звездных датчиков. Рассматриваются также алгоритмы для случаев невозможности использования измерений угловых скоростей, а также полного отсутствия измерений звездных датчиков.

Апробация разработанных алгоритмов выполнялась по данным от КА Метеор-М № 2. Выбирались маршруты съёмки, содержащие не-

прерывные измерения пространственного положения и ориентации практически без пропусков на всем интервале времени наблюдения. Для оценки точности восстановления информации вначале навигационные измерения удалялись из файла телеметрии, далее выполнялся расчет данных измерений с помощью соответствующих алгоритмов, наконец выполнялось сравнение расчетных и исходных измерений.

Таким образом, показано, что в результате восстановления информации как правило обеспечивается погрешность геопривязки с СКО менее 1 пикселя, за исключением случаев экстраполяции измерений на длительные временные интервалы, а также отсутствия данных от датчиков угловых скоростей. Более подробные результаты апробации алгоритмов приводятся в докладе.

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ

*В.В. Еремеев, А.Е. Кузнецов, В.И. Побаруев,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» (НИИ «Фотон»), г. Рязань*

В настоящее время в России планируется расширение орбитальной группировки систем ДЗЗ и пополнение ее такими аппаратами, как «Канопус-В» (№ 3 – 6), «Канопус-В-ИК», «Ресурс-П» (№ 4, 5) и др. При этом прогнозируется многократное увеличение нагрузки на существующие НКПОР, что порождает новые требования к увеличению производительности, пропускной способности и экономической эффективности наземной инфраструктуры обработки данных ДЗЗ.

Одним из путей по увеличению производительности и экономической эффективности наземной инфраструктуры является повышение уровня автоматизации (вплоть до полной автоматизации процесса обработки) с целью сокращения (или сохранения) численности персонала НКПОР, экономии производственных площадей с одновременным увеличением объема обрабатываемых данных.

В докладе рассматриваются программные технологии автоматической и параллельной обработки данных ДЗЗ, которые в настоящее время используются в НЦ ОМЗ, а также перспективные программные

решения, разрабатываемые в РГРТУ и предназначенные для параллельной кластерной обработки.

Отдельно проводится анализ существующих программных инструментов для организации параллельной кластерной обработки, таких как Hadoop, Apache Spark, MPI. Представлена собственная архитектурная концепция построения кластера обработки данных ДЗЗ.

Приводятся технические и качественные характеристики разработанных программных систем. Даются рекомендации по выбору программно-аппаратных средств с учетом степени их распространения, простоты освоения и эксплуатации, а также, с учетом особенности решения поставленных задач.

ЗАДАЧИ НАЗЕМНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ КАДРОВО-СКАНЕРНЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

*В.А. Ермаков¹, А.Е. Кузнецов², О.А. Никонов¹,
В.И. Побаруев², В.И. Пошехонов²,*

¹ АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,

*² ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» (НИИ «Фотон»), г. Рязань*

В настоящее время в отечественной и мировой практике ДЗЗ применяются два типа систем наблюдения земной поверхности в оптическом диапазоне спектра – сканерные и кадрово-сканерные. В сканерных системах, представленных датчиками «Геотон», КШМСА, ГСА (КА «Ресурс-П»), КМСС (КА «Метеор-М»), формирование изображения осуществляется с помощью одной или нескольких ПЗС-линеек, а в кадровых – с помощью нескольких ПЗС-матриц, формирующих одновременно не одну, а группу строк изображения земной поверхности (датчики МСС и ПСС КА «Канопус-В»). Кадровый принцип съёмки накладывает ряд особенностей на выполняемые в ходе наземной обработки операции и виды получаемых при этом выходных информационных продуктов. Например, «сшивка» отдельных микрокадров происходит только в ходе их трансформирования или ортотрансформирования. В то время как для информации от аппаратуры «Геотон» обеспечивается «сшивка» данных от отдельных ПЗС-линеек в системе координат исходного снимка. Что касается общих технологических операций наземной обработки, то они одинаковы для этих двух типов систем ДЗЗ. К числу таких операций относятся:

- обработка измерительной информации и геокодирование микро-кадров;
- относительная радиометрическая коррекция видеоданных;
- формирование выходных информационных продуктов стандартных уровней обработки в автоматизированном и автоматическом режимах;
- геометрическая и радиометрическая калибровка по опорным полигонам;
- контроль и уточнение геопривязки по опорной информации;
- автоматическое и автоматизированное выделение облачности;
- каталогизация материалов съёмки.

В докладе рассматриваются алгоритмы реализации основных технологических операций. Отмечается важная особенность программного обеспечения наземной обработки, представленного одним программным комплексом, который реализует сквозное выполнение всех видов обработки начиная от распаковки и кончая получением выходной продукции.

КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ СППР DIGITAL SILK ROAD И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДДЗ В РОССИИ

*Е.Н. Еремченко,
Институт физики высоких энергий,
г. Протвино, Московская область*

По материалам 10 Международного Симпозиума «Цифровая Земля» (10th International Symposium on Digital Earth) Сидней (Австралия) 3 – 6 апреля 2017 года

Начало и содержание проекта «Цифровая земля»

В 1998 году под эгидой Международного общества был сформулирован новый инновационный подход в области космических ДДЗ – Digital Earth «Цифровая Земля».

Концепция Digital Earth основана на трёх принципах: парадигмы Digital Earth, подхода Big Data, а также космических данных дистанционного зондирования.

Заложенные принципы в концепции Digital Earth позволяют использовать её в качестве среды интеграции данных, обеспечивающей режим Ситуационной Осведомлённости и позволяющей избежать

важного источника ошибок при принятии решений – ярусного членения систем управления по масштабному признаку на различные уровни (глобальный, стратегический, оперативный, тактический).

Особенности проекта «Шёлковый Путь»

В апреле 2017 года состоялось формальное учреждение международного научного общества «Альянс Цифровой Шёлковый Путь» (Digital Silk Road Alliance, DSRA). Его цель – создание системы поддержки принятия решений в регионе «Шёлковый Путь» (Silk Road) на базе его целостной и актуальной реплики – цифрового, или виртуального, его образа.

Исключительные объёмы средств, привлекаемых к реализации проекта «Шёлковый Путь» со стороны правительства Китая, очевидным образом сами по себе открывают новые возможности для развития орбитальных группировок ДЗЗ стран, участвующих в проекте «Шёлковый Путь».

Мировые тенденции применения МКА

В настоящее время можно выделить три альтернативных и конкурирующих между собой направления в развитии космических ДЗЗ: тяжёлых, средних и лёгких космических платформ.

Оптимальным и сбалансированным решением является развитие средних платформ и ограниченное использование платформ тяжёлого и лёгкого классов для решения узких, «нишевых» задач.

Роль «Неогеографии» в современных проектах развития ДДЗ

Развиваемая в России концепция «Неогеография» является тождественной концепцией Digital Earth, в основе которой лежит концепция системного использования трёх информационно-управленческих ресурсов: парадигмы Digital Earth, подхода Big Data, а также космических данных дистанционного зондирования. Именно поэтому в проект «Шёлковый Путь» от России и СНГ была приглашена только одна научная структура – Исследовательская группа «Неогеография» Технопарка Протвино. Этот факт предельно наглядно свидетельствует о существенном различии в представлениях об инновациях в инновационно-успешных государствах и в России.

КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

*Д.А. Кобец, А.М. Матвеев, А.А. Прошин, А.А. Мазуров,
Институт космических исследований РАН, г. Москва*

В условиях современного многообразия национальных и международных систем ДЗЗ, увеличивающейся области применения данных спутникового мониторинга, роста количества потенциальных потребителей этих данных и тематических продуктов на их основе возникает необходимость построения систем приема, обработки и хранения спутниковой информации, а также различных данных, полученных с ее помощью. Объем и темпы роста количества подобной информации определяет одно из основных требований к таким системам – максимальная автоматизированность и независимость от оператора. При этом одним из наиболее важных направлений развития подобных систем является оптимальное использование вовлеченных в нее вычислительных ресурсов, что в свою очередь особенно остро ставит задачу контроля процессов приема, обработки и хранения спутниковых данных.

Система обработки спутниковых данных, используемая в ИКИ РАН, имеет блочную архитектуру, так как подобная архитектура является более удобной для поддержки и дальнейшего масштабирования. Блок, проектируемый под решение определенного спектра задач, имеет детерминированный интерфейс, по средствам которого осуществляется взаимодействие с другими блоками системы. Система обработки спутниковых данных имеет в своем составе следующие уровни блоков:

1. На первом уровне блоки формирования комплектов файлов для обработки, которые являются уникальными для каждой тематической обработки. Они отслеживают полноту и комплектность необходимых данных и формируют очередь готовых заданий.

2. На втором уровне сформированные комплекты передаются в систему обработки. В такой схеме легко отслеживается максимально допустимое одновременное количество выполнений комплектов, относящихся к заданию одного типа. Контроль количества комплектов, переданных на обработку, позволяет предотвратить загрузку всех мощностей выполнением одного типа заданий в ущерб выполнению другим.

3. Блок третьего уровня обработки представлен распределенными и значительно удаленными друг от друга кластерами вычислительных машин (обработчиков). Для обеспечения все возрастающего спроса на спутниковые данные, а так же из-за увеличения тематических продуктов на их основе необходимо наращивать вычислительные мощности, что приводит к стремительному расширению парка обработчиков, поэтому задача контроля на данном уровне стоит особенно остро. Каждая вычислительная машина, задействованная в кластерах обработки, находится под управлением унифицированного комплекта программ, что позволяет легко расширять парк обрабатывающих компьютеров. Каждый обработчик может выполнять одновременно несколько комплектов одного задания, которые он берет (вместе со сценариями их обработки) с серверов-диспетчеров заданий. Ход обработки каждого комплекта документируется в базе данных уровня контроля.

4. Информация о ходе процессов обработки со всех блоков системы агрегируется на уровне контроля и управления, тем самым формируя обширную статистику о ходе этапов автоматической обработки.

В докладе представлено описание возможностей блоков системы автоматизированной обработки спутниковых данных (в том числе ВІ технологий, на основе которых организован уровень контроля), созданной в ИКИ РАН.

Работа выполнена при поддержке РАН и ФАНО (программа Мониторинг госрегистрация № 01.20.0.2.00164)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ С КА «КАНОПУС-В» И «SENTINEL-2A»

*Д.О. Шведов, Н.С. Митькиных, А.С. Кочнев,
ООО «Центр инновационных технологий», г. Москва*

В настоящее время наиболее актуальными являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяющие потребителям решать широкий спектр тематических задач. В сегменте дистанционного зондирования появляются новые материалы, наблюдается переход к активному использованию многоспектральных данных. При большом потоке информации традиционные методы дешифрирования занимают значительное время при обработке и анализе снимков. Для ускорения процесса создания карт тематического содержания следует

применять методы автоматизированного и автоматического дешифрирования.

Для проведения сравнительного анализа возможностей автоматизированной тематической обработки были выбраны мультиспектральные материалы среднего пространственного разрешения с российского КА «Канопус-В» и зарубежного «Sentinel-2A». Данные космические аппараты предоставляют информацию в видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра, имеют идентичное пространственное разрешение, однако существует и ряд некоторых отличий.

В качестве анализируемых параметров рассматриваются технические характеристики указанных аппаратов и возможность решения по материалам с данных КА различных тематических задач в области сельского хозяйства, чрезвычайных ситуаций, лесного хозяйства и т. д. По результатам анализа и сравнения выявлены преимущества и недостатки у выбранных КА.

Главное преимущество данных с КА «Sentinel-2A» – широкий спектральный диапазон от 0,44 до 2,19 мкм в 13 спектральных каналах, что способствует повышению точности определения объектов и явлений и решению большего количества тематических задач. Использование среднего ИК диапазона, например, позволяет выявлять очаги пожаров и гари при помощи индекса NBR (The Normalized Burn Ratio). Следует отметить, что данные «Sentinel-2A» предоставляются пользователю в значениях над атмосферного отражения, что обеспечивает возможность стандартизации и автоматизации процесса обработки. Спектральный диапазон КА «Канопус-В» ограничен 0,86 мкм в четырех спектральных каналах, но наличие панхроматической съемки с высоким пространственным разрешением до 2 м дает возможность выявлять объекты детального масштаба.

Ширина полосы захвата КА «Sentinel-2A» в 290 километров обеспечивает одновременное покрытие большей территории, чем «Канопус-В» с шириной полосы захвата до 23 км. Оба спутника имеют периодичность съемки в среднем до 5 дней, что значительно упрощает получение новой информации на одну и ту же территорию.

В отличие от данных «Канопус-В» снимки с КА «Sentinel-2A» находятся в свободном доступе и предоставляются бесплатно всем заинтересованным лицам.

Для проведения предварительной и тематической обработки используется программный комплекс «Image Media Center» (ПК ИМС), разработанный российской компанией «Центр инновационных технологий». ПК ИМС обладает необходимым функционалом для обработки материалов с анализируемых КА, включая первичную обработку изображений КА «Канопус-В» (от микрокадров до формирования мультиспектрального и комплексированного изображений), построение индексных изображений, классификацию с/без обучения, спектральный анализ, создание векторных слоев с атрибутивной информацией. В ПК ИМС реализована возможность формирования алгоритмов для проведения автоматизированной и автоматической обработки, как в интерфейсном, так и в серверном режиме.

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ БКА

*А.А. Ярцева, В.Н. Лобзенёв, И.Г. Логванёв,
ООО «Центр инновационных технологий», г. Москва*

В настоящее время наиболее актуальными являются снимки ДЗЗ высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, позволяющие потребителям решать широкий спектр тематических задач. Снимки высокого разрешения, предназначенные для оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, картографирования территории, мониторинга сельскохозяйственной деятельности и других задач, могут быть получены с двух однотипных космических аппаратов: российского «Канопус-В» и Белорусского космического аппарата (БКА).

Полный цикл обработки материалов съемки с БКА реализован в программном комплексе «IMAGE MEDIA CENTER» (ПК ИМС), разработанном российской компанией ООО «Центр инновационных технологий». ПК ИМС на основе данных любого уровня обработки, включая нулевой уровень, способен автоматически формировать набор выходных ортотрансформированных продуктов: панхроматический снимок, мультиспектральный снимок, комплексированное изображение, файлы метаданных, векторная граница.

Материалы нулевого уровня обработки с БКА – это данные, полученные приемной антенной операторов КА. Без предварительной обработки они представляют собой два битовых потока, содержащих несколько маршрутов. Для получения продуктов коммерческого и

прикладного назначения необходимо проводить обработку «сырых» данных (в формате RAW) в соответствии с требуемым уровнем конечного результата.

Технология обработки данных нулевого уровня включает в себя:

- расчет параметров геопривязки по строгой модели снимков КА;
- коррекцию по опорным (и/или одноименным) точкам ошибок, вносимых навигационной системой;
- формирование коэффициентов рациональных полиномов (RPC) и их запись в файл метаданных (формат XML) для последующей стандартной обработки полученных материалов;
- радиометрическую и геометрическую коррекцию данных;
- формирование микрокадров и запись в файл изображения (формат TIFF).

ПК ИМС автоматически формирует полный набор выходных продуктов от уровня обработки 1 до 4В, где к первому уровню относятся микрокадры с радиометрической и геометрической коррекцией и коэффициентами RPC-полиномов, а к последнему – ортотрансформированное комплексированное изображение (паншарпенинг).

Последующая обработка полученных данных включает в себя повышение качества снимков, тематическую обработку и анализ материалов ДЗЗ для решения требуемых задач потребителей: мониторинг чрезвычайных ситуаций, картографирование территории, мониторинг сельскохозяйственной деятельности, землепользование и др.

Реализация в ПК ИМС автоматизированной технологии обработки позволяет из данных БКА нулевого уровня получить конечный тематический ГИС-продукт в рамках единой информационной среды.

НОВЫЙ АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА РЕЗКИХ КРАЕВ НА КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ЛИНЕЙНОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ

*В.В. Еремеев, П.А. Князьков,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» (НИИ «Фотон»), г. Рязань*

В процессе поиска плоскости наилучшего изображения объектива, выбора оптимальных режимов работы съемочной аппаратуры космического аппарата и распространения изображений дистанционного

зондирования Земли остро стоит вопрос оценки их линейного разрешения на местности как основного информационного параметра. Определение резких краев на изображениях является важнейшей задачей при оценке их линейного разрешения на местности. Классический способ определения резких краев заключается в последовательном просмотре оператором всего изображения, выделении контрастных границ однородных объектов и измерении их характеристик. Недостатком такого подхода являются затраты времени и влияние человеческого фактора, который проявляется в пропуске подходящих объектов. В докладе представлен алгоритм автоматического поиска на изображении резких краев, подходящих для оценки по ним линейного разрешения на местности.

Особенностью предложенного алгоритма является использование для выделения границ объектов изображения масок специальной формы и размера, позволяющих выделять границы произвольной ориентации с контролем перепада яркости, однородности полог яркости и величины смаза изображения. В отличие от представленных в маски нового алгоритма сохраняют работоспособность при оценке характеристик границ любой ориентации и на изображениях с нечеткими границами. По результатам выделения границ изображения производится разметка объектов бинарного изображения, оценка их геометрических характеристик и фильтрация. Отобранные объекты далее используются как координаты резких краев для последовательного определения по ним функций рассеяния края, линии и передачи модуляции. С целью оценки линейного разрешения на местности для каждого из четырех направлений развертки изображения выбирается настраиваемое число резких краев, функции рассеяния края которых имеют максимальный относительный отклик RER.

Использование данного алгоритма поиска резких краев позволяет реализовать полностью автоматическую процедуру оценки линейного разрешения на местности и производить анализ каждого маршрута съемки, а не выборочно с привлечением ручного труда оператора.

В докладе также приведены результаты практической апробации предложенного алгоритма в процедуре оценки линейного разрешения на местности с привлечением изображений, полученных от космических аппаратов «Ресурс-П» № 1 – № 3.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ КА «КАНОПУС-В-ИК»

*В.А. Ермаков¹, В.А. Зенин², А.Е. Кузнецов²,
П.А. Князьков³, В.И. Пошехонов², П.Н. Светёлкин²,*

¹ АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,

*² ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» (НИИ «Фотон»), г. Рязань*

Задачей каждого космического комплекса является получение координатной и радиометрической информации об объектах земной поверхности с заданными характеристиками. Для её решения у Генерального конструктора должны иметься инструментальные средства не только контроля работоспособности бортовых и наземных систем обработки информации, но и обеспечения их эффективного функционирования. Для КА «Канопус-В-ИК» такой инструментарий создан в виде комплекса анализа и оценки данных, получаемых аппаратурой МСС, ПСС и МСУ-ИК-СР. Алгоритмическое обеспечение этого комплекса позволяет оценивать следующие параметры качества изображений земной поверхности:

- точность геодезической привязки видеоданных по измерительной информации;
- точности геометрической «сшивки» микрокадров и точности совмещения спектрозональных снимков;
- точности относительной радиометрической коррекции;
- ширины полосы обзора, соотношения сигнал/шум;
- оценки функции передачи модуляции и линейного разрешения на местности для датчиков МСС и ПСС;
- допусковый контроль измерительной информации, гарантирующей возможность «сшивки» микрокадров МСС и ПСС.

Для обеспечения радиометрического и геометрического качества выходных информационных продуктов разработаны алгоритмы относительной радиометрической коррекции и уточнения элементов внутреннего ориентирования и конструктивных углов приборов МСС, ПСС и МСУ-ИК-СР по опорной наземной информации.

В заключение доклада рассматриваются вопросы взаимодействия комплекса калибровки с комплексом создания стандартных продуктов и результаты калибровок, выполненные для КА «Канопус-В» № 1.

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

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

Соотношение сигнал/шум (С/Ш) является важным параметром, характеризующим качество работы целевой аппаратуры (ЦА) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В данном исследовании рассмотрены методы определения отношения С/Ш, разработана методика их оценки и сравнения.

В настоящее время существует ряд методов, позволяющих оценить отношение сигнал/шум спутниковых изображений земной поверхности. Это такие методы, как метод однородной области, метод почти однородной области, группа методов, использующих скользящие окна, геостационарный (с использованием семивариограмм) и метод битовых плоскостей.

Сравнение различных алгоритмов определения отношения сигнал/шум производится по разработанной методике, в соответствии с которой созданы тестовые изображения с известными характеристиками, на которые наложен шум, характеристики которого так же определены заранее. Представлены экспериментальные результаты сравнения различных методов и даны рекомендации по выбору и применению данных методов.

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

*Ю.В. Зайченко¹, В.Ф. Земсков², А.В. Панкин²,
¹«Научно-исследовательский институт космических систем
им. А.А. Максимова» –*

*филиал Федерального государственного унитарного предприятия
«Государственный космический научно-производственный центр
имени М.В. Хруничева», г. Юбилейный,*

*²Общество с ограниченной ответственностью
«Центр инновационных технологий», г. Москва*

Важная роль в общей системе получения качественной информации по материалам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) принадлежит процессам объективного контроля и оценки характеристик

качества исходных космических снимков и производной продукции, так как от них зависит эффективность использования данных ДЗЗ. По результатам таких оценок вырабатываются рекомендации по дальнейшему применению материалов космической съемки.

Программный модуль оценки координатно-измерительных характеристик (ПМ КИХ) разработан в составе программного комплекса оценки качества изображений, получаемых целевой аппаратурой КА ДЗЗ, и функционирует под управлением ПК Image Media Center. Реализованная в ПМ КИХ научно-методическая база обеспечивает определение следующих показателей качества в части оценки координатно-измерительных характеристик:

а) среднеквадратическое отклонение (СКО) геодезической привязки изображения – показатель, определяющий точность координат для всего космического снимка в выбранной географической проекции;

б) СКО внутренних расстояний – показатель, определяющий степень искажения снимка по набору опорных точек;

в) систематическое смещение – смещение координат снимка относительно геодезической опоры, имеющее неслучайный характер;

г) эмпирически вычисленные вероятностные круговые ошибки 90 % и 95 % (Circular Error, CE90 и CE95 соответственно) – величины, которые с заданной вероятностью не превзойдут отклонение характеризующей оценки планового положения опорной точки на снимке от её истинного положения.

Следует отметить, что космические снимки могут быть использованы для оценки координатно-измерительных характеристик в том случае, если разрешающая способность, спектральный диапазон, информативность сцены и сюжет позволяют программе или оператору распознать опорную точку на снимке по абрису или описанию.

На точность координатной привязки космических снимков влияет множество факторов, некоторые из них носят систематический характер, и их можно записать в виде функциональной зависимости, другие имеют стохастическую природу и могут быть представлены в виде случайной величины. При оценке координатно-измерительных характеристик ошибку привязки можно описать как сумму систематической и случайной ошибок. Опираясь на данную гипотезу о свойствах ошибки географической привязки изображений, можно прийти к выводу – математическое ожидание систематической составляющей ошибки

примет истинное значение $\Delta_{\text{сист}}$, а математическое ожидание случайной составляющей будет равно 0 при бесконечном количестве измерений n :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} M(\widetilde{\Delta_{\text{сист}}}) = \Delta_{\text{сист}} \text{ и } \lim_{n \rightarrow \infty} M(\widetilde{\Delta_{\text{случ}}}) = 0,$$

где $\widetilde{\Delta_{\text{сист}}}$ и $\widetilde{\Delta_{\text{случ}}}$ – рассчитанные ошибки. Из данного вывода встают две проблемы – определения достаточного количества измерений и их пространственного распределения.

Первая проблема в явном виде решается как задача определения размера выборки. На практике для уменьшения количества измерений данная задача решается путем разбиения снимка на группу областей, например, по километровой или номенклатурной сетке.

Второй проблемой выбора контрольных точек является их пространственное расположение. Здесь существует множество плохо формализующихся случайных факторов, но исходя из природы оцениваемых материалов, следует принять следующие критерии выбора контрольных точек:

а) контрольные точки должны располагаться на наземных или неподвижных относительно суши объектах;

б) покрытие контрольными точками должно быть равномерным;

в) контрольные точки должны находиться на углах и в центре изображения;

г) если одна из сторон изображения намного превосходит другую, то область снимка необходимо разбить на области с отношением сторон примерно равным единице и поступать соответственно критерию (в).

Применительно к материалам космической съемки процесс анализа генеральной совокупности (пространства снимка) имеет следующие особенности:

– распознавания объектов генеральных совокупностей эталонного и оцениваемого снимков могут иметь различия в зависимости от условий съемки (разрешение, сезон съемки и др.), что изменяет объем и достоверность участков генеральной совокупности, пригодных для формирования выборки;

– при автоматизированном формировании выборки точек коррелятором может быть внесена систематическая ошибка, ее влияние необ-

ходимо исключать при оценке точности географической привязки изображения;

– при формировании выборки точек географической привязки оператором может быть внесена дополнительная несистематическая ошибка, численно определить влияние которой на погрешность оценки координатно-измерительных характеристик возможно лишь экспертным путем, что снижает точность измерений, по сравнению с автоматизированным набором точек.

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ЛИНЕЙНОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

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

Линейное разрешение на местности (ЛРМ) является важным параметром, характеризующим качество работы целевой аппаратуры (ЦА) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). ЛРМ оценивается на основе функции передачи модуляции (ФПМ) ЦА.

Существующие методы измерения ФПМ можно разделить на две категории: прямые и косвенные измерения. При прямом методе, ФПМ получается путем непосредственного измерения коэффициента модуляции объектного пространства и пространства образов при различных пространственных частотах, с применением мир.

Косвенные измерения в основном базируются на применении преобразования Фурье: измеряется отклик системы оптического формирования изображения на ступенчатые или импульсные сигналы, а затем рассчитывается ФПМ. Данную категорию можно разделить на три метода: метод измерения точечного источника света, метод «резкого края» и импульсный метод. Основа данных методов заключается в том, что значение модуля функции рассеяния точки, измеренного по изображению, и обработанного путем применения преобразования Фурье, равняется значению ФПМ системы формирования изображений.

Рассмотрены несколько основных методов оценки ФПМ и ЛРМ. Разработана методика оценки и сопоставления различных методов, требования к искусственным тест-объектам и требования к фрагментам изображений для выполнения оценок ЛРМ. Представлены экспе-

риментальные результаты сравнения различных методов и даны рекомендации по выбору и применению данных методов.

СТЕНДОВЫЙ ДОКЛАД

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЯРКОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

*А.И. Алтухов, Д.С. Кориунов,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Одним из факторов, влияющих на качество снимков получаемых космическими средствами дистанционного зондирования Земли, является освещенность подстилающей поверхности. Условия освещенности существенно изменяются под влиянием облачности и рельефа местности. В результате попадания района съемки в теневую область от облачности уменьшение контраста между объектами и фоном может достигать 50 % и более.

Для получения изображений требуемого качества на этапе планирования применения средств ДЗЗ решается задача прогнозирования результатов космической съемки с учетом условий наблюдения и закономерностей их изменения. Одним из показателей качества космического снимка является линейное разрешение на местности (ЛРМ). Результаты априорной оценки ЛРМ используются для выбора наилучших параметров работы оптико-электронной системы (ОЭС) космического аппарата ДЗЗ.

Важно отметить, что выбрать параметры съемки, обеспечивающие получение изображения с максимальным значением ЛРМ, в пределах всей зоны захвата сложно. Это объясняется тем, что в пределах зоны захвата объекты с различными отражательными характеристиками расположены в разных условиях освещенности. Регистрация таких объектов требует индивидуальных настроек бортовой аппаратуры наблюдения. Данное предположение подтверждается результатами расчетов ЛРМ в условиях космической съемки.

Совместная обработка снимков с различной экспозицией позволяет увеличить динамический диапазон яркости результирующего изображения, повысив этим его качество. Реализация данного метода предполагает получение средствами ДЗЗ нескольких снимков района съем-

ки с различным временем накопления заряда фотоприемным устройством. Для получения первого снимка (рис. *а*), используя светосигнальную характеристику ОЭС, выбирается среднее время накопления заряда. Данное изображение предназначено для регистрации объектов, расположенных в пределах полосы захвата в нормальных условиях освещенности. Второй, «недоэкспонированный» снимок (рис. *б*), предназначен для регистрации объектов с высокими коэффициентами отражения. Третий снимок (рис. *в*) предназначен для регистрации объектов в плохих условиях освещенности. Для его получения выбирается максимально возможное время накопления заряда. Ограничением при съемке в космосе является возможный «смаз» изображения. Поэтому за выбранное время накопления перемещение линии визирования местности не должно превышать проекцию одного фоточувствительного элемента на местности.

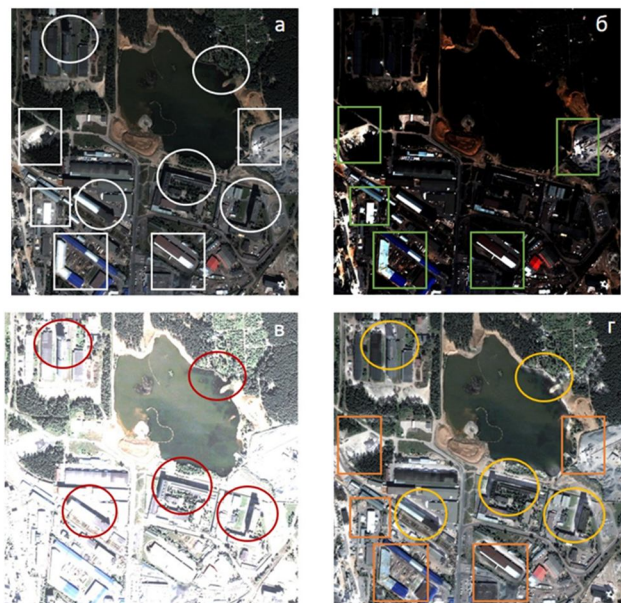
Полученные различные значения яркости, измеренные по серии космических снимков, с учетом характеристической кривой ОЭС, сопоставляются с истинными значениями реальной освещенности местности и комбинируются в одно изображение с высоким динамическим диапазоном яркости.

Комбинирование нескольких изображений в одно предполагает выполнение промежуточных этапов обработки, а именно геометрической и радиометрической коррекции снимков. В ходе геометрической коррекции, используя современные методы цифровой обработки изображений, выполняется ортотрансформирование снимка и его пространственная привязка к требуемой системе координат. На данном этапе устраняются искажения вызванные рельефом подстилающей поверхности и отклонением оптической оси камеры от направления в нади́р. Выполняется выравнивание изображений относительно друг друга путем определения связующих точек и точек планово-высотного обоснования. Связующие точки устанавливаются в зонах перекрытия между соседними снимками, объединяя их в единую слоевую модель. Точки планово-высотного обоснования служат для привязки модели к местности. Исходными данными для выполнения геометрической коррекции служат элементы ориентирования снимков и планово-высотное обоснование.

В ходе радиометрической коррекции устраняются искажения, обусловленные используемой камерой. Например, модуляция изображе-

ния в направлениях параллельно или перпендикулярно главной оси снимка. Также устраняются дефекты, наблюдаемые как сбойные пиксели изображения.

На заключительном этапе обработки выполняется комбинирование нескольких изображений в единый снимок. Результат обработки серии космических снимков, полученных с различным временем накопления заряда приведен на рис. 2.



К комбинированию изображений с различной экспозицией

Обработка снимков с разной экспозицией может быть выполнена на борту космического аппарата с использованием современных алгоритмов цифровой обработки основанных на синтезе цифровых изображений. Это позволит уменьшить объем передаваемой информации на пункты приема данных и оптимизировать работу космических систем ДЗЗ.

СЕКЦИЯ 5.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И
ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

КОМБИНИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ДАННЫМИ НАЗЕМНЫХ
БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ В ПРОИЗВОДНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТАХ

*И. Б. Гинзбург, С. Н. Падалко, М. Н. Терентьев,
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва*

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) состоит из однотипных миниатюрных устройств, называемых узлами, обменивающихся между собой информацией по радиоканалу. Узлы имеют в своем составе микроконтроллер, приемник-передатчик, антенну, датчики и источник питания. Задачей БСС является мониторинг обслуживаемого объекта и передача собранной информации потребителю. Датчики узлов БСС способны измерять температуру, влажность воздуха, освещенность, уровень вибраций, акустический шум, уровень электромагнитного излучения, радиацию, ускорение вдоль одной или нескольких осей, наклон, уровень жидкости, расход какого-либо ресурса и т. д. Вместо датчиков узлы могут быть снабжены исполнительными устройствами, позволяющими влиять на окружающую среду.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемые от космических аппаратов, обычно представляют собой прошедшие обработку космические снимки земной поверхности и пространственные метаданные этих снимков. Использование данных ДЗЗ востребовано благодаря возможности получения актуальных объективных данных и охвата больших территорий. Различные способы обработки данных ДЗЗ позволяют получать множество видов производных высокотехнологичных продуктов.

Производный информационный продукт. С повышением разрешения и расширением возможностей получения данных ДЗЗ все больше потенциальных потребителей могут заинтересоваться произ-

водными информационными продуктами, такими как ортофотопланы, ортомозаики, цифровые модели рельефа и др. Часто пользователям недостаточно одних только данных ДЗЗ. Требуются комбинированные информационные продукты, созданные на основе ДЗЗ и данных, полученных из других источников. Особенно это востребовано в системах мониторинга земной поверхности и геоинформационных системах (ГИС).

Комбинирование данных. Данные из существующих баз по интересующей пользователей тематике, графические материалы, полученные различными способами, данные от наземных БСС и т. д. могут комбинироваться с данными ДЗЗ. Данные различных источников могут храниться и обрабатываться отдельно и совмещаться в производном информационном продукте на основе привязки к единой системе координат. Данные состоят из информации следующих основных видов: растровой (обработанные данные ДЗЗ, аэрофотосъемки, отсканированные карты), векторной (информация, поступающая от пользователей, БСС), текстовой (описания и числовые характеристики объектов). Для отображения различных видов данных для пользователей в современных ГИС используется многослойная интерактивная карта, в которой данные нескольких источников отображаются в виде комбинации слоев. Слои могут обновляться с различной периодичностью, зависящей от периода актуальности отображаемой информации. Данные всех слоев можно кэшировать раздельно на период их актуальности, что делает возможным создание автономных информационных веб-приложений для различных видов клиентских терминальных устройств, включая мобильные.

Возможность независимого изменения и совместного отображения слоев данных позволяет получать свежие текущие данные из наземных источников (например, БСС [2]) для отображения на растровой подложке ДЗЗ. Это позволяет продлить срок полезного использования растровой подложки и обеспечить непрерывную актуальность производного информационного продукта между моментами получения новых обработанных данных ДЗЗ и тем самым значительно расширить круг потенциальных потребителей за счет тех, кому непрерывно требуется актуальная информация.

Комбинирование данных ДЗЗ и БСС. В качестве примера можно рассмотреть систему мониторинга посевов сельскохозяйственных культур, в которой комбинируются данные ДЗЗ и БСС. Данные ДЗЗ

служат в качестве подложки для получаемых в оперативном режиме данных БСС. Результаты измерений БСС включают величину солнечной радиации, параметры воздуха (температура, влажность, точка росы, скорость и направление ветра), параметры почвы (температура, влажность, кислотность) и состояние посевов (например, при помощи датчиков, установленных на высоте 2 – 2,5м и фиксирующих спектр отражённого от посевов света в нескольких фиксированных диапазонах). Совместное использование данных ДЗЗ и БСС позволяет быстро принимать обоснованные решения о проведении необходимых сельскохозяйственных работ.

На БСС может быть возложена актуальная функция управления поливом растений при помощи входящих в состав узлов БСС исполнительных устройств. Также данные, полученные при помощи БСС, могут использоваться при управлении внесением удобрений и гербицидов в почву. Например, узлы БСС могут сообщать пилоту самолёта сельскохозяйственной авиации или системе управления БПЛА о необходимости проведения работы на конкретном участке посевов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-08-01641 А.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЧС РОССИИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

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

В целях снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в МЧС России создана и успешно применяется Система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций (СКМ ЧС). СКМ ЧС позволяет осуществлять ежесуточный оперативный космический мониторинг всей территории Российской Фе-

дерации, а также приграничных территорий. Вся получаемая информация аккумулируется в базах данных и информационных системах.

В настоящее время наблюдается значительный рост актуальности применения геоинформационных систем (геопорталов) для обеспечения различных областей экономики, бизнеса и т.п. В составе СКМ ЧС функционируют 2 геоинформационные системы – ГИС «Каскад» и ГИС «Космоплан». Данные геопорталы применяются для сбора, хранения, поиска и представления пространственных данных в аспекте предотвращения и мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. С учётом того, что данные геопорталы функционируют во внутренней ведомственной сети МЧС России, это накладывает свои ограничения на предоставление актуальных данных органам повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), а также органам гражданской обороны, не имеющих доступа к данной сети. Несмотря на это, анализ применения данных геопорталов показывает их эффективность в обеспечении принятия эффективных решений, направленных на предотвращение человеческих жертв и материального ущерба экономике Российской Федерации.

Для решения вышеобозначенной проблемы было принято решение о размещении в тестовом режиме (с ограничением объёма предоставляемых данных) в сети Интернет был размещён сегмент ГИС «Каскад». Доступ к ГИС «Каскад» в сети Интернет можно получить по адресу <http://ukmmchs.ru/>.

В докладе представлены возможности ГИС «Каскад» и ГИС «Космоплан» для решения задач информационной поддержки принятия решений в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны. Также проведён анализ применения данных геопорталов в указанном аспекте.

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО МНОГО- И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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

Развитие технологий и методов получения и обработки данных много- и гиперспектральной (ГС) съемки предоставляет все более широкие возможности для определения свойств окружающей среды (например, оценки биомассы и азота в растениях, определения физико-химических и органических показателей вод). Одним из наиболее часто используемых и простых для реализации методом обработки является прямой метод оценки, основанный на статистических зависимостях между характеристиками (признаками), извлекаемыми из массива ГС данных, и показателями самого объекта исследования. Для построения таких регрессионных зависимостей должна быть известна информация о свойствах объектов в опорных точках («insite»), присутствующих на изображении. При этом в качестве признаков в большинстве случаев используются либо значения спектральной яркости на отдельных длинах волн, либо производные спектральные индексы, которые не полностью охватывают всю информацию, содержащуюся в спектральной сигнатуре объекта, в т. ч. характеризующуюся изменениями ее формы.

Альтернативный подход, связанный с разработкой многопараметрических моделей переноса излучения в разных природных средах (воде, растительности), применяется значительно реже, так как его практическое применение затруднено необходимостью знания большого количества влияющих внешних и внутренних параметров, сведения о которых могут отсутствовать. Например, использование модели переноса излучения в водной толще в задаче определения глубин акваторий требует наличия в качестве исходных данных характеристик поглощения и рассеивания излучения в воде, зависящих в т. ч. от содержания минеральных и органических примесей.

Для решения обратной задачи в условиях указанной неопределенности предлагается использовать многопараметрические методы оптимизации, основанные на преимуществе многомерности многоспектральных (МС) и ГС данных. К таким методам относятся алгоритмы, применяемые при обучении искусственных нейронных сетей (ИНС), зарекомендовавших себя как хороший метод аппроксимации. В этом случае многомерность МС и ГС данных обеспечивает уменьшение ошибки сети на выходе.

На основе многопараметрических моделей и ИНС авторами разработана технология обработки МС и ГС данных, состоящая из следую-

щих элементов: предварительная обработка, включающая атмосферную коррекцию данных, и тематическая обработка, состоящая из этапов классификации и определения показателей состояния воды или растительности с использованием обученной ИНС.

Для исследования состояния акваторий по МС и ГС данным добавляется этап коррекции солнечных бликов на изображениях, учитывающий сильно выраженную зеркальную составляющую индикатрисы рассеивания водной поверхности, и этап донной классификации акваторий, которая может быть проведена с помощью специально разработанных индексов. Учет спектральных характеристик дна особенно важен при исследовании мелководных прибрежных участков, для которых значителен вклад отражения от дна в яркость водной поверхности. При изучении свойств ландшафтов классификация подразумевает сегментацию территории, позволяющую проводить анализ только тех фрагментов изображений, которые соответствуют исследуемым объектам (сельскохозяйственные поля или леса).

После классификации осуществляется непосредственное определение показателей состояния участков акватории или растительности в результате обучения ИНС с помощью уравнения переноса излучения в исследуемых средах. При оценке состояния акватории под определяемыми показателями понимаются концентрация хлорофилла, характеризующая трофический статус водоема, содержание минеральной взвеси и органического «желтого» вещества, а также глубина акватории. Для растительности может быть оценен индекс листовой поверхности LAI, содержание хлорофилла «а», биомасса и другие параметры, описывающие состояние лесов и сельскохозяйственных культур.

При этом важен выбор конфигурации ИНС для каждой решаемой задачи. Под конфигурацией понимается количество входных нейронов, скрытых слоев и нейронов в каждом слое. Эффективность использования процесса обучения также определяется выбранным методом обучения: метод обратного распространения ошибки, который можно отнести к методам градиентного спуска, метод Левенберга-Марквардта, метод сопряженных градиентов и др. При этом конкретного метода выбора архитектуры не существует и конфигурация определяется в основном задачей исследования. Архитектура нейронной сети является оптимальной, если сеть обучилась с минимальной ошибкой на выходе. В свою очередь количество входных нейронов

зависит от количества информативных спектральных каналов МС или ГС съемочной аппаратуры.

После обучения нейронной сети методом обратного распространения ошибки получается набор весовых коэффициентов, которые являются результатом аппроксимации модели распространения излучения и корректируются в направлении конфигурации, которая позволяет сети различать представляющие интерес образы прототипа.

Помимо архитектуры ИНС на точность оценки показателей состояния компонента окружающей среды влияет выбор модели и ее параметров, а также наличие других дополнительных данных. Например, на вход сети могут также подаваться и известные данные, полученные в результате натурных измерений «insite», тем самым происходит дообучение сети и весовые коэффициенты корректируются в направлении уменьшения ошибки на выходе сети.

Разработанная технология была апробирована при обработке данных, зарегистрированных ГС камерой космического аппарата «Ресурс-П», в интересах решения целого ряда тематических задач: определения глубин прибрежных участков Черного моря; оценки содержания примесей, влияющих на оптические свойства и экологическое состояние водных объектов; расчета индекса листовой поверхности растительности, который является индикатором биомассы – параметра, характеризующего урожайность сельскохозяйственных культур.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.А. Золотой, А.В. Урбанович,
Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие
«Геоинформационные системы» НАН Беларуси, г. Минск*

Решение задачи мониторинга местности по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обычно сводится к нахождению несоответствий в расположении или других свойствах пространственных объектов в виде геометрических примитивов, выделенных из целевой информации (ЦИ) космических снимков. Одним из результатов, полученных НАН Беларуси при выполнении работ в рамках мероприятия научной программы Союзного государства «Мониторинг-СГ», явля-

ются средства автоматизации решения данной задачи в виде аппаратно-программного комплекса анализа и мониторинга космической информации с использованием блочно-параллельной обработки данных.

Автоматизированное решение с минимальным участием оператора достигается тематической обработкой предварительно ортотрансформированных и геопривязанных космических снимков, получаемых от средств ДЗЗ с заданной периодичностью. Блок-схема основных этапов автоматизированного нахождения несоответствий космических снимков показана на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема этапов тематической обработки космических снимков для задачи мониторинга местности

Способ автоматизации основан на идее построения по ЦИ космических снимков двух слоев векторных данных в виде графических примитивов (блоки 1, 2) с последующим тематическим анализом. В блоке 3 векторы разных слоев объединяются в группы по критерию близости их взаимного расположения. Поиск несоответствий векторных слоев (блоки 4, 5) выполняется только внутри сформированных векторных групп. Векторный слой, который принимается за эталон, далее будем называть «моделью». Векторный слой, сопоставляемый с моделью, будем называть «сценой». В блоке 6 выполняется объединение несоответствий векторных слоев, найденных в блоках 4 и 5, с привлечением аддитивной функции.

Степень несоответствия векторов сцены, объединенному с ними вектору модели, нормированная в диапазон от 0 до 1, вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} A &= \max(d, \varphi); & B &= \min(d, \varphi); \\ N &= A + (1 - A)B, \end{aligned} \quad (1)$$

где d и φ – взаимные расстояния, и взаимные углы векторов сцены и модели, нормированные в диапазон от 0 до 1.

Идея алгоритма формирования областей с разными степенями несоответствия векторов сцены вдоль объединенного с ними вектора модели проиллюстрирована на рисунке 2, где жирной горизонтальной линией отмечен вектор модели, а тонкими сплошными и штриховыми линиями показаны векторы сцены, пронумерованные цифрами от 1 до 6. Серым цветом вокруг вектора модели отмечена выделенная область анализа несоответствий, которая ограничивается порогом допустимой удаленности векторов сцены от вектора модели.

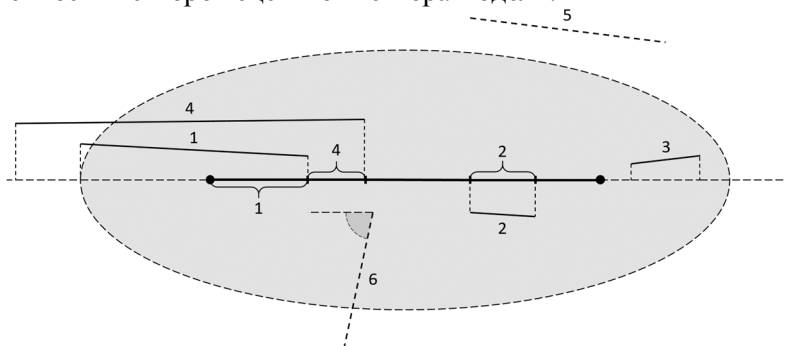


Рис. 2. Определение степени и мест несоответствия векторов сцены объединенному с ним вектору модели

Векторы 5 и 6 на рис. 2 сразу исключаются из дальнейшего анализа. Вектор 5 целиком находится за пределами выделенной области анализа, а вектор 6 имеет взаимный угол с вектором модели близкий к ортогональному и отсекается порогом по углу.

Векторы 1 – 4 анализируются на предмет несоответствия вектору модели. Для каждого вычисляется степень несоответствия по формуле (1) и строится проекция на направление вектора модели. Если проек-

ция не пересекается с вектором модели, как проекция вектора 3, то вектор исключаются из рассмотрения. Участки пересечения проекций векторов с вектором модели ранжируются по возрастанию степени несоответствия. Области несоответствия вдоль вектора модели строятся в порядке возрастания степени несоответствия участков. Более приоритетным является участок с меньшей степенью несоответствия. Например, в области 1 (отмечена фигурной скобкой) пересекаются участки проекций векторов 1 и 4, но степень несоответствия для вектора 1 меньше чем для вектора 4. Поэтому области 1 будет назначена степень несоответствия вектора 1. Всего образуются три области несоответствия со степенями векторов 1, 2 и 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ БОРТОВОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

И. В. Суровцева¹, В. О. Скрипачев¹, А. И. Барсуков², А. О. Жуков³,

¹Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва,

*²Национальный исследовательский университет
Высшая школа экономики, г. Москва,*

*³Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга МГУ, г. Москва*

Природные явления, связанные с сейсмической активностью, проявляются не только в литосфере и атмосфере, но и в ионосфере, где они наблюдаются за несколько часов или дней как до, так и после землетрясения. Применение бортовой научной геофизической аппаратуры позволяет существенно дополнить проводимые измерения в целях обнаружения предвестников сейсмических событий.

В состав бортовой аппаратуры космических аппаратов геофизического назначения входят приборы для измерения температуры и концентрации электронов в ионосфере. Для выявления сейсмической активности к этим данным применялся метод наложения эпох.

Авторами разработан комплекс вычислительных программ, включающий программы визуализации и отбора данных, а также программу, реализующую предложенный метод.

Приведены результаты обработки данных бортовой геофизической аппаратуры для выявления электромагнитной эмиссии над сейсмоактивными регионами, которые могут быть использованы для фунда-

ментальных исследований Земли и околоземного космического пространства.

ОРБИТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СЕЗОННОГО ХОДА ИОННОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НА ВЫСОТАХ 810 – 823 КМ, ВЫПОЛНЕННЫЕ РАДИОЧАСТОТНЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЯМИ МАССОВОГО СОСТАВА (МАСС-СПЕКТРОМЕТРЫ РИМС) НА БОРТУ КА «МЕТЕОР-М» № 1 И № 2.

*М.С. Иванов, И.В. Камынина, Б.М. Кирюшов, С.А. Похунков,
В.В. Саморуков, Г.Ф. Тулинов, В.В. Хлестов, С.Д. Богодяж,
Институт прикладной геофизики
им. академика Е.К. Фёдорова Росгидромета*

Введение. В Институте прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова (ИПГ) был разработан и подготовлен для орбитального мониторинга радиочастотный масс-спектрометр РИМС, предназначенный для измерений относительных концентраций ионизированных компонентов естественной атмосферы. Прибор предназначен для контактных измерений ионного состава атмосферы – O^+ , H^+ , He^+ , H_2^+ , N^+ .

1. Спутники «Метеор-М» № 1 и № 2 были запущены на круговую солнечно-ориентированную орбиту с высотой 810-823 км, годы запуска 2009 и 2014. На борту спутников установлены масс-спектрометры РИМС. В настоящее время накоплено значительное количество данных. Измерения проводятся два раза в день на каждом спутнике, начало измерений примерно в 6 и 18 часов МСК. Длительность измерений – 115 минут, начальная точка в северной вершине траектории на широте 82° , движение спутников с востока на запад. Во время измерений спутник совершает один полный оборот с перехлестом примерно 45° . Каждые 10 секунд проводятся сканирования амплитуд ионов по атомным массам, всего 2 цикла или 20 секунд. Разрешение сканирование 100 едениц (массы 1 – 4 ат. ед. м. и 4 – 20 ат. ед. м.) Полное количество измерений составляет примерно 340. Сканирование ионов легких масс осуществляется в первом 10-секундном цикле и осуществляется на протяжении 80 км вдоль траектории.

2. Методика получения данных и первичной обработки материалов.

В октябре 2016г. введена в действие процедуры автоматического скачивания и обработки спутниковых данных, которые скачиваются с сайта научного центра «Оперативного мониторинга Земли» (НЦ

«ОМЗ»). Проводится распаковка файлов, сохраняются в базе данных в заранее созданных папках. Конечным этапом является выборка неполных файлов, сохраняющихся в специальной папке базы данных. Все файлы сохраняются в форматах TXT и DD7. Процедура обработки реализована в операционной системе Linux (Ubuntu) с помощью планировщика событий crontab. Дальнейшая обработка проводится вручную.

3. Методика обработки данных для получения сезонного хода ионного состава атмосферы.

Первый прибор РИМС-М, настроенный на измерения относительного ионного состава верхней атмосферы на высотах порядка 800 км (экзосфера), был запущен в составе ГГAK на КА «Метеор-М» № 1 в сентябре 2009 года и функционирует в настоящее время. Общее число измерений, обработанных и поступивших в базу данных ИПГ, составляет величину более полумиллиона. После запуска в августе 2014 года КА «Метеор – М» № 2 разработанное ранее программное обеспечение (ПО), настроенное по диапазонам поиска должным образом согласно лабораторному тестированию, стало использоваться для обработки информации сразу с двух КА. Исходные данные хранятся на сервере в виде zip архивов. При разархивировании файлов с данными приборов РИМС получаются бинарные файлы, а для файлов с траекторными данными – текстовые.

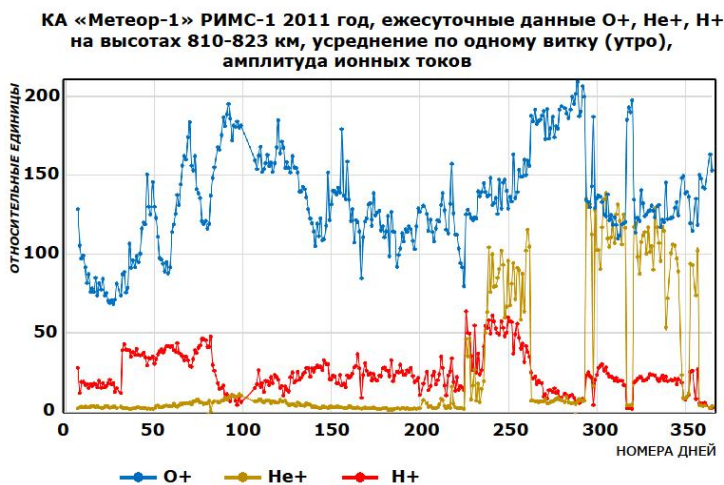
При этом ведущийся при регулярной обработке журнал качества информации отразил факт достаточно высокого качества и этого нового прибора. За более чем полтора года его данные, отличающиеся достаточной стабильностью, дают картину распределения относительного ионного состава на высоте порядка 800 км, согласующуюся с современными представлениями о строении внешней ионосферы. Тоже самое справедливо и для первого прибора. Далее для каждого иона рассчитывалось среднее значение для всех 340 измерений. В результате получалось среднесуточное значение (отдельно для утреннего и для вечернего сеанса измерений). Эти среднесуточные значения использовались при построении годового хода изменений концентраций отдельных ионов.

В настоящее время разрабатывается программа на языке Python по расшифровке бинарных файлов и созданию полностью автоматизированной системы мониторинга ионного состава верхней ионосферы на основании данных приборов РИМС, результатом работы которой будут являться оперативные данные о состоянии верхней ионосферы.

4. Ионный состав верхней атмосферы на высотах около 800 км изучен слабо. Проведенные измерения показывают, что наблюдаются значительные всплески увеличения ионного состава для He^+ , H^+ , H_2^+ , N^+ и одновременное падение O^+ , которые можно охарактеризовать, как возмущения. Изменения имеют значительную амплитуду, наблюдаются увеличения амплитуды в 2 – 10 раз. По данным 2011 года наблюдалось шесть возмущений с длительностью 60, 3, 24, 23, 27 и 6 дней. Обычно передний фронт возмущения крутой, а задний может растягиваться на значительное время. Наблюдаемые явления достаточно трудно трактовать с точки зрения, что такие значительные и протяженные возмущения объясняются только притоком ионов снизу (фотодиссоциация воды в верхней атмосфере, разложение органических остатков, вулканическая деятельность, выветривание некоторых минералов, соударения с электронами) с дальнейшим выносом их в ОКП. Здесь предлагается гипотеза, что дополнительный и достаточно значимый приток ионов осуществляется прилетом их с солнечным ветром, источниками которого являются солнечные вспышки и корональные дыры. Особо следует подчеркнуть, что все наблюдаемые элементы входят в состав солнечного ветра (He^+ , H^+ , H_2^+ , N^+ , O^+) [2].

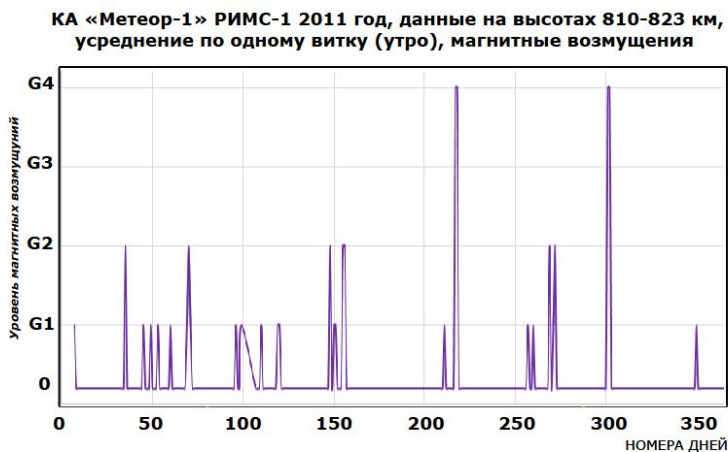
5. Для проведения анализа возмущений ионного состава выбран 2011 год. Сравнение осуществлялось с зарегистрированными магнитными возмущениями – индексы КР.

На рис. 1 видны несколько возмущений ионного состава, особенно заметные в районе 50, 230, 250, 300 и 350 дней года. На рис. 2 представлены данные по суточным магнитным возмущениям в средней полосе. Процесс подпитки верхней атмосферы выбросами солнечного материала в целом представляется следующим образом. Во время возмущения, начавшегося 14 февраля заметен подъем только H^+ . А во втором (250 дни) и третьем (300 – 350 дни) больших возмущениях появляется выбросы гелия, превышающие по амплитуде H^+ .



ФГБУ «ИПГ», отдел 8

Рис. 1. Данные измерения ионного состава для O^+ , He^+ , H^+



ФГБУ «ИПГ», отдел 8

Рис. 2. Данные по возникновению магнитных бурь в 2011 году

Далее существует известный путь попадания ионов в земную магнитосферу. Плазма солнечного ветра переносит «вмороженные» в нее

линии магнитного поля Солнца, которые, достигнув Земли, вступают во взаимодействие с магнитным полем нашей планеты на границе магнитосферы. При этом в ряде случаев может происходить магнитное пересоединение. Высокоэнергетичные ионы за счет пересоединения линий магнитных полей в области каспа или хвоста земной магнитосферы проникают на высоты примерно от 300 до 40 км в районе полюсов, где термализуются до энергий 0,03 – 0,1 эВ (10 – 40 мин), образуя тепловую плазму. Затем происходит заполнение силовых трубок (1 – 3 часа). Одновременно по силовым трубкам перемещаются и электроны, которые, за счет большей энергии, уходят вперед и возникающее дополнительное электрическое поле разгоняет ионы. Время разгона 0,5 – 1 сутки. Именно в это время формируется на больших высотах ионный всплеск, т. е. наблюдаемое нами возмущение. Продолжительность существования возмущений оценивается в 3 – 100 дней.

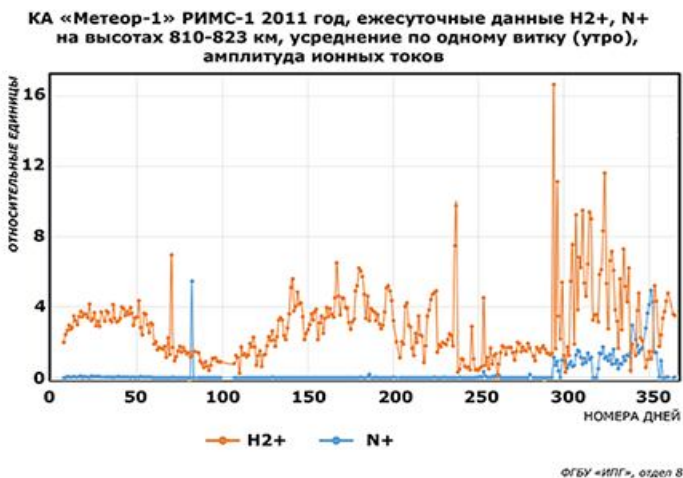


Рис. 3. Сезонный ход вариаций малых составляющих H_2^+ и N^+

На рис. 3 показан годовой ход малых составляющих. На участке 300 – 350 дней наблюдается заметный подъем уровня азота. Наблюдаемый график H_2^+ показывает практически гладкие синусоидальные колебания и только также на участке 300 – 350 сильно увеличивается изменчивость и отдельные выбросы.

Заключение

Продолжительность существования ионного возмущения, а также наблюдение значительных относительных коэффициентов по амплитуде ионов H^+ при сравнении с доминирующим кислородом – 0,3, 0,4 и 0,2. А при сравнение амплитуд He^+ с O^+ во втором и третьим большими возмущениями, получаем коэффициенты 0,7 и 1,0. Это говорит о том, что Солнце снабжает земную атмосферу ионами в значительном количестве и должно учитываться при построении моделей и проведении реальных экспериментов. В будущем желательно устанавливать одновременно с приборами РИМС также манометр и зонд Легмюра, что позволит измерять ионный состав верхней атмосферы в абсолютных величинах.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАРАСТАНИЯ ВОДОЕМОВ
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«НАРОЧАНСКИЙ»**

*В.А. Сипач¹, О.С. Ежова², О.А. Семенов¹, А.А. Новиков²,
В.С. Люштык², К.А. Хоменков¹*

*¹Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие
«Геоинформационные системы», г. Минск,*

*²Государственное природоохранное учреждение
«Национальный парк «Нарочанский», к. п. Нарочь*

Нарочанский регион является крупнейшим оздоровительным, культурно-развлекательным и туристическим центром Республики Беларусь. Для его развития в 1977 году Советом Министров Белорусской ССР утверждены границы единственной в стране курортной зоны, которая на сегодня занимает площадь более 90 тыс. га.

Нарочанский край уникален своими ландшафтами и водоемами (их около 50), которые имеют ледниковое происхождение. Озерные котловины сформировались примерно 9 – 10 тыс. лет назад, самый известный водоем – озеро Нарочь, его площадь составляет 79,6 км².

Для сохранения уникальных для территории Беларуси природных комплексов (объединенных озером Нарочь) как эталона природных ландшафтов, хранилища генетического фонда растительного и животного мира Белорусского Поозерья и их более полного и эффективного использования в процессе природоохранной, научной, просветитель-

ской, туристической, рекреационной и оздоровительной деятельности, Указом Президента Республики Беларусь № 477 от 28 июля 1999 года на землях Мядельского и Вилейского районов Минской области, на территории Поставского района Витебской области и на территории Сморгонского района Гродненской области был образован Национальный парк «Нарочанский», общая площадь которого составляет 94,9 тыс. га, протяженность с севера на юг – 34 км, с запада на восток – 59 км.

С момента образования национального парка хозяйственная деятельность на водоемах была ограничена или запрещена в целях их сохранения. Это способствовало проявлению преобладания естественных процессов над антропогенными в развитии водоемов. Одним из таких проявлений стало увеличение зарастания прибрежной зоны надводной растительностью. С одной стороны – это положительная тенденция, так как надводная растительность аккумулирует биогенный сток в биомассе и задерживает его на длительный срок, что приводит к уменьшению эвтрофирования водоемов, выражающееся в «цветении» воды планктонными водорослями. С другой стороны, увеличение площадей зарастания водоемов водной растительностью приводит к возникновению и развитию на некоторых водоемах устойчивых очагов шистосоматидного аллергодерматита (церкариоза) или зуд купальщиков. Это связано с тем, что заросшие участки водоемов являются удобным местом укрытия птиц и одним из биотопов обитания легочных моллюсков. Для Нарочанского региона наличие таких очагов церкариоза, является серьезной эколого-медицинской и социальной проблемой, приводит к снижению туристического потенциала региона и экономическим потерям. Оценка зарастания нарочанских озер, надводной растительностью, играет огромную роль для предотвращения развития этого заболевания и развития туризма. Зная участки зарастания водоемов водной растительностью, можно планировать мероприятия по уменьшению распространения очагов церкариоза путем скашивания участков прибрежной растительности. Скашивание проводится на основе научных рекомендаций, для уменьшения распространения церкариоза и в то же время с минимальными нарушениями для экосистем водоемов.

Классические методы картирования надводной растительности базируются на результатах аэрофотосъемки либо промерах с лодки с помощью мерного шнура или рулетки, что довольно трудоемко и финан-

сово затратно, к тому же в парке около 50 водоемов. Использование в последнее время GPS-приборов для проведения таких исследований позволяет повысить производительность работ, однако и это довольно трудоемкий метод, так как он не позволяет покрывать единовременно данными большие площади.

Поэтому сегодня одним из самых важных и высокоэффективных инструментов для оценки состояния зарастания надводной растительностью водных объектов становится метод использования данных дистанционного зондирования Земли (данные ДЗЗ). Причем, в последние годы появились в открытом доступе данные ДДЗ с высоким пространственным (10 – 30 м) и спектральным разрешением, как оптического, так и радарного типа, что позволяет снизить расходы на их приобретение.

В настоящее время для озера Национального парка «Нарочанский» реализуется государственное задание по масштабному изучению современного состояния и реализации мер по снижению уровня деградации водоемов. В рамках этого задания изучается возможность применения различных типов данных ДЗЗ для оценки зарастания водоемов надводной растительностью.

В проекте используются данные ДЗЗ со спутников Landsat 8, Sentinel 2A, 1A/1B, Белорусского космического аппарата и Канопус-В. Для выделения надводной растительности применяется хорошо себя зарекомендовавший пороговый метод на основе построения нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI. Для радарных данных применяется метод построения радарного вегетационного индекса на основе комбинации различных поляризаций. Контрольными данными являются наземные полевые измерения границ зарастания водоемов надводной растительностью и аэрофотосъемка субметрового пространственного разрешения (30 см).

Проанализировав полученные результаты обработки данных ДЗЗ с различных спутниковых систем можно сделать вывод, что их применение является эффективным для определения площадей зарастания водоемов надводной растительностью, так как погрешность с контрольными данными не превышает 3 – 11 %.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НАЗЕМНЫХ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА КУБАНСКОМ ПОЛИГОНЕ

*В.А. Третьяков *, А.Ю. Кротков *, В.В. Кривошеин *,
В.Я. Исмаилов **, Р.Ю. Данилов **, И.А. Костенко **,*

**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения»*

(ФГУП ЦНИИмаш), г. Королев, Московская область,

***Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт
биологической защиты растений (ФГБНУ ВНИИБЗР), г. Краснодар*

Решение тематических природоресурсных задач с помощью дистанционного зондирования Земли требует разработки сложных алгоритмов, в основе которых лежат методы статистического распознавания образов. К таким методам, в частности, относятся методы классификации. В случае рассмотрения методов классификации с обучением требуется определить количество обучающих образов, которое определяет объем обучающей выборки. Задача обучения классификатора достаточно сложная и зависит от сферы применения методов. Во многих зарубежных и отечественных публикациях исследуется влияние объема обучающих выборок на точность классификации хорошо различимых объектов (водные объекты, почвенные объекты, растительность, здания, дороги и т. д.). В предлагаемой методике определяются необходимые значения параметров обучающей выборки, а также оценивается влияние найденной обучающей выборки на точность классификации двух классов объектов с тонкими спектральными различиями, таких как здоровая и пораженная пшеница.

По результатам разработанной методики:

Получено необходимое количество спектральных признаков для каждого обучающего образа на основе ранга корреляционной матрицы исходных высокоррелированных данных.

Определены индексы информативных спектральных признаков путем разбиения оптического спектрального диапазона и расчета матрицы нагрузок.

Определено количество обучающих образов на основе двухвыборочного критерия Фишера и феномена Хьюгса.

Проведены оценки вероятности ошибки статистического распознавания двух классов наземных объектов с тонкими спектральными различиями с использованием найденных параметров обучающей выборки.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Г.Г. Райкунов,
ФГУП НПО «Техномаш», г. Москва*

В настоящей работе в рамках исследований разработана методология и проведены натурные исследования по прогнозированию и поиску месторождений углеводородов (нефть, газ) и твердых полезных ископаемых с помощью информации, полученной с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) в различных диапазонах спектра 0,32 – 12,5 мкм – от ближнего ультрафиолета (0,32 – 0,38 мкм) до дальнегоинфракрасного (ИК) диапазона длин волн (8,0 – 12,5 мкм), а также в радиолокационных X , L и P диапазонах.

Показана эффективность решения поставленных задач с использованием космического мониторинга как для континентальных территорий, так и для шельфовых, глубоководных океанических и морских зон.

Эффективность разработанной методологии подтверждена ее конкретным практическим применением на различных территориях Западной и Восточной Сибири, Урала, Коми, Волго-Вятского региона, США и др.

Тем самым, подтверждена целесообразность и эффективность создания и использования космической системы ДЗЗ для решения поставленной целевой задачи.

Намечены перспективы дальнейших исследований в целях совершенствования разработанной методологии с учетом полученных с ее помощью практических результатов.

Кроме того, в рамках решения поставленной целевой задачи проанализированы основные характеристики отечественной и зарубежной аппаратуры КА ДЗЗ, проведен их сравнительный анализ и предложены направления совершенствования основных параметров целевой аппаратуры отечественных КА ДЗЗ.

ОСОБЕННОСТИ ПЛОЩАДНОЙ СЪЕМКИ В ИНТЕРЕСАХ КАРТОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРБИТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КА ДЗЗ

*Е.Л. Лукашевич, В.П. Седельников,
Акционерное общество
«Научно-исследовательский и производственный центр «Природа»,
г. Москва*

Одним из важнейших требованием к проведению съемок в интересах картографии является обеспечение беспрерывного покрытия больших территорий полосами захвата при ограничении на угол отклонения линии визирования целевой аппаратуры от надира. В докладе рассматриваются следующие вопросы обеспечения площадной съемки с использованием существующих и перспективных отечественных орбитальных систем КА ДЗЗ.

1) Возможности проведения площадной съемки при ограничениях разворота КА на угол крена до 20° с использованием перспективной космической системы «Канопус-В» в составе 4-х КА, расположенных в одной орбитальной плоскости и равномерно распределенных по аргументу широты, и рассмотрение предложений по повышению эффективности площадной съемки.

2) Состояние дел с проведением площадной съемки в реальных условиях функционирования Космической системы «Ресурс-П» в составе 3-х КА.

3) Предложения по выбору конфигурации перспективной космической системы «Ресурс-П» в составе 3-х КА, обеспечивающая решение, как оперативных задач мониторинга, так и задач площадного безразрывного покрытия больших территорий в интересах картографирования.

Предложения по решению задачи сплошного покрытия всей территории России материалами космической съемки сверхвысокого пространственного разрешения.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ОТ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ОПОРНОЙ 3D-МОДЕЛИ И АНАЛИЗА НАБЛЮДАЕМОЙ СЦЕНЫ

*В.А. Ушенкин,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» (НИИ «Фотон»), г. Рязань*

Радиолокационная интерферометрия является одним из наиболее перспективных способов получения цифровых моделей рельефа (ЦМР) земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. В основе интерферометрической обработки лежит анализ разности фаз сигнала в одноименных пикселях двух и более комплексных радиолокационных изображений, полученных с небольшой пространственной базой, ориентированной поперек орбиты космического аппарата.

Интерферометрическая обработка включает следующие этапы:

- определение параметров геометрического соответствия двух изображений;
- трансформация второго изображения в геометрию первого;
- формирование интерферограммы – фазоразностного изображения;
- расчет интерферометрической базы;
- вычитание из интерферограммы набега фазы плоского рельефа;
- анализ когерентности – оценку уровня фазового шума;
- фильтрация шумов на интерферограмме;
- развертывание фазы – восстановление истинных значений фазы по относительным значениям, известным в пределах периода волны излучения (2π радиан);
- пересчет развернутой фазы в высоту;
- трансформацию матрицы высот в картографическую проекцию.

В докладе показано, что для качественного выполнения большинства из перечисленных этапов необходимо приближенное знание рельефа. Так для высокоточного совмещения двух изображений при больших перепадах высоты рельефа становится недостаточно полиномиальной модели их геометрического соответствия, а метод корреляционно-экстремального совмещения из-за влияния спекл-шума дает ненадежные результаты. Следовательно, высокоточное совмещение изображений при больших перепадах высоты рельефа возможно толь-

ко с использованием опорной приближенной модели рельефа, в качестве которой может служить глобальная ЦМР низкого разрешения.

Для полного устранения набега фазы плоского рельефа необходимо с высокой точностью знать величину интерферометрической базы, рассчитываемую на основе орбитальных данных. В то же время погрешности в орбитальных данных приводят к неточному знанию интерферометрической базы. В докладе показано, что уточнение интерферометрической базы можно выполнить, оценив величину набега фазы на интерферограмме после вычитания фазы опорного рельефа.

Центральным и наименее решенным вопросом интерферометрической обработки является развертывание фазы. При правильно подобранных условиях съемки (величине пространственной базы и угле визирования) и качественной фильтрации шумов переход от относительных значений фазы к абсолютным осуществляется путем простого интегрирования градиента фазы, вычисленного в предположении, что его модуль не превышает половину периода. Однако для пересеченной местности, как правило, оказывается невозможным или крайне затратным обеспечить правильный подбор условий съемки. В результате наличие крутых склонов рельефа наблюдаемой сцены приводит к появлению так называемых фазовых разрывов, в которых модуль градиента фазы превышает половину периода. Существующие алгоритмы развертывания фазы не способны обеспечить высокую точность при наличии большого количества фазовых разрывов и сильном шуме, характерном для лесов и затененных горных склонов. В результате для значительной части наблюдаемой сцены величина развернутой фазы, а следовательно, и высота рельефа содержит значительную систематическую ошибку. В докладе показано, что избежать возникновения ошибок развертывания фазы на значительной части наблюдаемой сцены можно за счет привлечения опорного низкодетального рельефа, пересчитанного в фазу (патент RU 2612322 C1). Локальные ошибки также можно уменьшить, если выявлять фазовые разрывы с учетом результатов анализа обрабатываемой информации.

В докладе представлены результаты интерферометрической обработки данных от космических радиолокационных систем TerraSAR-X, Radarsat-2 и COSMO-SkyMed.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ PS ДАННЫХ PCA PALSAR/ALOS ПО ТЕРРИТОРИИ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

А.А. Феоктистов¹, А.И. Захаров², М.А. Гусев¹, П.В. Денисов¹,

*¹Научный центр оперативного мониторинга Земли
АО «Российские космические системы»,
²Фрязинский филиал Института*

радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Сообщается о результатах проведенной оценки влияния условий проведения съемки и атмосферных фазовых искажений на точностные характеристики результатов обработки методом постоянных рассеивателей (Persistent Scatterers, PS) данных радиолокаторов с синтезированной апертурой (PCA)ASAR/ENVISATи PALSAR/ALOSс использованием модуля PS программного пакета SARscape и опорной цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM V4.

Изложены результаты обработки тестового набора из 25 фрагментов изображений PCAASAR/ENVISAT (С-диапазон, длина волны излучения 5,6 см), полученных в период с 25.10.2002 по 27.01.2006по полупустынной территории вблизи города Лас Вегас, США (влияние атмосферных фазовых искажений и осадков предположительно относительно невелико).

На новом этапе проведены дополнительные экспериментальные исследования возможностей и ограничений метода PSна примере обработки длинной временной серии из 29 изображений PCA PALSAR/ALOS (L-диапазон, длина волны излучения 23,6 см), полученных с 18.06.2006 по 14.02.2011; территория съемки – г. Москва и Московская область.

Приведены некоторые результаты анализа группы близко расположенных PS, где на примере гостиницы Дельта (район метро Партизанская) выполнена оценка влияния условий измерения смещений частей корпуса гостиницы на точность измерений. Вследствие малого расстояния между постоянными рассеивателями влияние атмосферных фазовых искажений на измерения взаимного положения PS считалось несущественным. Показано, что точность снижается при съемке зимой, а также в дождливые дни

Сообщается о результатах дополнительных исследований для произвольного количества PS с произвольным взаимным положением на поверхности. Ограничения, связанные с компактностью расположения

анализируемых PS, здесь отсутствуют, а потому проблеме атмосферных фазовых искажений уделено основное внимание. Показано, что значения отношения среднеквадратичного отклонения остаточных (после проведения атмосферной коррекции) атмосферных фазовых искажений к длинам волн излучения PCA ASAR/ENVISAT и PALSAR/ALOS примерно равны $\lambda/20$, где λ – длина волны излучения PCA. Установлено существенное различие между значениями параметра эффективности алгоритма атмосферной коррекции $EFF_{\text{АТМ}}$, рассчитанными по данным PCA ASAR/ENVISAT и PALSAR/ALOS; возможная интерпретация – массив данных PCA PALSAR/ALOS получен по территории г. Москвы и Московской области, где характерно достаточно сильное влияние атмосферных факторов, тогда как для полупустынной территории в США (PCA ASAR/ENVISAT) характерен существенно более низкий уровень атмосферных фазовых искажений (незначительно превышающий уровень, ниже которого алгоритм коррекции оказывается недостаточно эффективным). Проведенный анализ историй смещения нескольких групп PS позволил установить также, что наиболее вероятной причиной экстремальных «выбросов» на историях смещений PS являются сбои в работе процедуры развертки фазы при формировании историй смещения PS.

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЕОПОЛИТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

*П.С. Жолобов, Л.А. Ведешин,
ФГУП «Проектный институт» г. Москва,
Институт космических исследований РАН*

Геополитика, в первую очередь, решает главную задачу любого государства – обеспечение национальной безопасности. Потеря контроля над пространством одним геополитическим субъектом всегда означает доминирование его другим, но чем больше это пространство, тем сложнее его контролировать. Эффективный контроль невозможен без создания системы космического мониторинга за состоянием и изменениями, происходящими на всем геополитическом пространстве-времени. В мире используются самые современные информационные технологии (ИТ) для оперативной обработки получаемой информации из космоса, экспертные системы распознавания образов и интерпрета-

ции изображений, системы искусственного интеллекта (ИИ) для анализа ситуации, прогнозного моделирования и принятия геополитических решений. Развиваясь и совершенствуясь, такая система космического мониторинга может выполнять функцию *кибернетической системы*, которая способна не только анализировать геополитическую ситуацию, но и разрабатывать стратегию и меры по ее стабилизации с рассмотрением геополитических, природных, социально-экономических и экологических аспектов, с оценкой рисков и возможных затрат. Например, в последние десятилетия стала формироваться новая геополитическая стратегия по отношению к международному терроризму, например, к решению проблемы нераспространения ядерных материалов и наркотиков. В качестве примера решения подобных задач с помощью космического мониторинга и ИТ приведен фрагмент космического снимка и результатов экспертной оценки процесса добычи стратегических материалов по результатам мониторинга

Результат экспертного анализа этого снимка – «активная деятельность на данном месторождении не наблюдается».

Система может контролировать наиболее опасные природно-техногенные процессы и явления для своевременного принятия мер к защите всей инфраструктуры транспортных и энергетических систем, которые являются связующим звеном любой экономической системы, хотя они являются наиболее уязвимыми. Это происходит в силу их специфики – большой протяженности, расположения вдали от населенных пунктов и промышленных объектов, высоких скоростей движения. Определив опасные места и источники их воздействия на транспортные и энергетические системы, можно более целенаправленно провести упреждение предполагаемых опасных воздействий, правильно расположить системы наземных видеонаблюдений. На рис. 2 показано решение задачи оптимизации расстановки средств видеонаблюдений за опасными природно-техногенными процессами (лавины, оползни, камнепады) в горной местности путем создания 3х-мерной ландшафтной модели.

Эффективность системы распознавания образов зависит от полноты заложенных в базу знаний экспертной системы логических моделей и критериев мер сходства, т. е. обобщенных образов, соответствующих определенному классу объектов. Поэтому важным этапом распознавания является классификация образов или признаков активности (поведения) объектов распознавания с учетом логических связей и особен-

ностей влияния внешней среды. Методология распознавания образов, процессов и явлений базируется на существующих теоретических разработках и опыте практического построения систем распознавания образов реконструкции старого терминала).

Резюме. Человек на расстоянии в несколько тысяч километров может не только видеть происходящее, но и управлять им, перемещаться в виртуальном пространстве-времени, прогнозировать опасные природные явления и предотвращать бедствия, если у него есть для этого необходимые ресурсы (информационные, технические, интеллектуальные, духовные). Поэтому сегодня на первый план технического прогресса выдвигаются задачи, ориентированные на создание искусственного интеллекта, робототехники, компьютерных тренажеров. Искусственный интеллект (ИИ) стал необходим при создании машин, выполняющих такие действия, для которых традиционно требовался интеллект человека. Возможность совмещения творческого начала человека и машинного интеллекта (человеко-машинного разума) даст новый толчок к созданию кибернетических систем нового поколения и, возможно, людей новых профессий.

ДАННЫЕ «КАНОПУС» – ЛУЧШИЕ ПО ТОЧНОСТИ В СВОЁМ СЕГМЕНТЕ РЫНКА

В.В. Лавров,

ООО «Иннотер», г. Москва

КА «Канопус» был выведен на орбиту 22 июля 2012 г., с космодрома Байконур, российской ракетой «Союз».

Благодаря большим углам разворота КА полоса обзора составляет 920 км.

КА «Канопус-В» обеспечивает решение следующих задач:

- мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций;
- картографирование;
- обнаружение очагов лесных пожаров, крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду;
- регистрация аномальных явлений для исследования возможности прогнозирования землетрясений;
- мониторинг сельскохозяйственной деятельности, водных и прибрежных ресурсов;

- землепользование;
- высокооперативное наблюдение заданных районов земной поверхности.

В состав КЦА входят две съемочные системы: панхроматическая и мультиспектральная. ПСС построена по технологии микрокадров и формирует единый кадр из 6 матриц, находящихся в единой фокальной плоскости. МСС – снимает по 4 кадра, по четырем спектральным каналам.

ООО «Иннотер» проведено исследование по изучению и сравнению геометрической точности продуктов, получаемых в результате фотограмметрической обработки космических снимков, полученных как с КА «Канопус», так и других спутников, в ЦФС «Фотомод» и Erdas Imagine – LPS.

Оценка геометрических свойств материалов космической съемки КА «Канопус»

Создание ортофотоплана на территорию международного аэропорта Аль-Мактум (Дубай)

Для исследования нами были взяты снимки с «Канопус-В» на территорию г. Дубай от 29.08.2012 – 4 микрокадра с радиометрической коррекцией и с коэффициентами RPC. Формирование RPC полиномов выполнялось Некрасовым Виктором Владимировичем (ВНИИЭМ). Были использовано 40 опорных точек с точностью координат до 2 м (1:10000 карта) в системе координат WGS84, UTM 40. В качестве ЦМР использовалась SRTM.

Результаты фотограмметрических работ:

- 1) По результатам внешнего ориентирования снимков макс-2,1м, ско-1,4м,
- 2) Точность созданных цифровых фотопланов оценивалась по точкам проекта: макс-4,1м, ско-1,4м. и вдоль линий порезов макс-8,3м, ско-3,3м,
- 3) Оценка ортофото по контрольным точкам: макс-3,8м, ско-2,7м.

Создание ортофотоплана на окрестности города Колумбия (штат Миссисипи, США)

Территория штата Миссисипи – 70микрокадров, полученные спутником «Канопус-В», 13 октября 2012 года. Для планово-высотной привязки - точки (33) снимались с ортофотопланов высокого разрешения(0,61 м), созданные USSG (Геологической службой США) по результатам аэрофотосъемки масштаба 1:4800, СКО в плане 1,22 мет-

ра. В качестве цифровой модели рельефа использовалась SRTM с шагом 86,65 метров. Перепады высот до 100м.

Результаты фотограмметрических работ

Результаты ориентирования снимков: макс – 3,9 м, ско – 2,35 м.

Точность созданной мозаики по точкам проекта: макс – 2,8 м, ско – 1,5 м. и вдоль линий порезов макс – 3,9 м, ско – 0,6 м.

Результат контроля орто по контрольным точкам с ортофотоплана (USSG) - макс-3,9м, ско-2,4м.

Создание ортофотоплана на территорию города Варшава в фотограмметрическом модуле Erdas Imagine – LPS

Кроме обработки снимков в российской программе, мы также создали орто и оценили их точность в модуле Erdas Imagine – LPS. В данной работе были использованы 4 микрокадра на территорию г. Варшава, выполненных – канопусом, октябрь 2012. Наземные опорные точки, в количестве 15 точек, с точностью координат до 2 м в системе координат WGS84, UTM34 (1:10000карта). В качестве цмр использовалась – GDEM ASTER.

Результаты фотограмметрических работ

1) Результаты внешнего ориентирования показали макс – 4 м, ско – 2,6 м,

2) Контроль созданного ортофотоплана выполнили по независимым точкам макс – 2,9 м, ско – 1,8 м.

Анализ изображений, полученных с КА «Канопус-В» и БКА, показал, что:

– точность определения плановых координат и положения объектов по панхроматическому снимку составляет 10 – 40 м без использования опорных точек и 3 – 7 м по опорным точкам;

– принимая во внимание полученные выше результаты, можно сделать вывод о том, что материалы космической съемки с КА «Канопус-В» и БКА по точностным характеристикам и изобразительным свойствам могут уверенно использоваться для создания и обновления топографических, навигационных, тематических карт и ортофотопланов масштабов 1:25000 и мельче.

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДЗЗ И IT

*АИ. Корнейчук, Л.А. Ведешин,
Управление Строительства ФГУП «ЦЭНКИ»,
филиал КЦ «Восточный»*

Территориальное планирование можно трактовать как процесс принятия комплексных решений по достижению стратегических целей устойчивого развития территорий во всех сферах жизнедеятельности. Главная цель новых технологий территориального планирования заключается в оптимизации процессов рационального использования всех видов ресурсов. Принятие решений требует грамотного балансирования между позитивными и негативными сторонами тех или иных проектных решений развития территории. Чтобы разработать эту стратегию нужно иметь не только актуальную информацию о состоянии территории, но и обладать научными знаниями (предвидением) о возможных изменениях окружающей среды в процессе развития. Эти изменения могут значительно повлиять на процесс развития промышленности, сельского хозяйства, социальной и культурной жизни людей. Нужную для планирования информацию можно получить по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а новые знания – по результатам интегрированной обработки полученной информации с архивными, картографическими, статистическими и другими источниками, путем моделирования и анализа ситуации и возможных изменений в пространстве-времени. Это единственный независимый источник оперативной информации для принятия плановых и проектных решений по рациональному землепользованию и развитию территориальной инфраструктуры (коммуникационных коридоров, инженерных коммуникаций, транспортных путей, водных объектов, 3D проектов жилых домов и других сооружений).

Рассмотрим два примера по анализу ситуаций в области сельского и лесного хозяйств с распознаванием опасных процессов и явлений, выявляемых в результате экспертного анализа.

Территориальное планирование рационального землепользования предполагает полное владение ситуацией в области хозяйственной, производственной и экологической деятельности на территории, а также знаниями о том, какие меры необходимо предпринять, чтобы ее улучшить или сохранить при неблагоприятных условиях.

Используя современные информационные технологии (ИТ), существующие базы данных и системы связи, в первую очередь, необходимо оперативно получить нужные снимки из разных источников и провести их обработку. Для сельскохозяйственных земель выполняется анализ состояния почвенного покрова, который основан на том, что разные по происхождению и степени вторичных изменений почвы по-разному отражают, поглощают и излучают электромагнитные волны различных зон спектра на космических снимках. Поэтому, каждый природный объект (образ) имеет свои спектрально-яркостные характеристики на фотоснимках. Применяя различные методы экспертного анализа изображений, можно идентифицировать различные почвы (грунты) и определять их характеристики. В зависимости от содержания гумуса, влажности, механического состава, карбонатности, наличия солей, эродированности и других особенностей, почвы могут изображаться на снимках широкой гаммой тонов.

Основным правилом обработки почвы на склоновых поверхностях является распашка территории поперек склонов. Распашка вдоль склонов приводит к быстрому смыву плодородного слоя почвы и к образованию овражно-балочной эрозии. Укрепление склонов лесопосадками, а также обсадка пашен лесокустарниковыми насаждениями значительно сокращают возможности эрозионных процессов. Ежегодно из-за эрозии выбывает из сельскохозяйственного использования 50 – 70 тыс. км² земель, что составляет примерно 3 % эксплуатируемых пашен

Совершенствование структуры землепользования базируется на концепции эколого-хозяйственного баланса территории, т.е. сохранения баланса между антропогенной нагрузкой на земли и способностью территории к естественному самоочищению, учитывается экологическое воздействие сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы. Характеристики качественных и количественных показателей экологического воздействия аграрного производства на землю можно получить из ландшафтно-экологических фотокарт, составляемых методом картографо-математического моделирования. Определяются агроэкологические характеристики земель (земли незагрязненные и недеградированные, заболоченные, эрозионно опасные, сильнокислые или сильнощелочные и пр.). Особенно важно использовать результаты исследований загрязненных и других деградированных

земель на массивах сельскохозяйственных угодий, прежде всего на пашне, где возделывают культуры, продукция которых идет в пищу. При землеустройстве, ориентированном на экологически сбалансированное использование земель, учитывается также степень физической деградации почв, прежде всего переуплотнение, дегумификация (потеря гумуса), антропогенные изменения осушаемых и орошаемых почв и их возможные негативные экологические последствия, воздействие кислотных дождей на почвы, загрязнение водных источников биогенными веществами и различными физическими соединениями. На основе этих данных принимают определенные землеустроительные решения (уточняют внутрихозяйственную специализацию, рассчитывают урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность угодий на перспективу, устанавливают состав, соотношение и размещение угодий, определяют различные мелиоративные и природоохранные мероприятия и пр.).

Опасностям, которые несут наибольшие риски (частые пожары, наводнения, ураганы), уделяется повышенное внимание в процессе территориального планирования и ДЗЗ. В качестве предупреждающих факторов проявлений опасных явлений или процессов считается фактор стрессового состояния этой территории, региона, города или района. Стрессовая ситуация может формироваться в природной среде и фиксироваться с помощью космического мониторинга. Эпицентры таких стрессовых (кризисных) ситуаций можно определять заранее по статистическим данным (статистический мониторинг), которые обрабатываются с помощью современных информационных технологий (ИТ) в государственных или территориальных информационных центрах. Космические съемки необходимы не только для оценки опасных процессов и явлений, но и как фактографические документы для принятия мер по их предотвращению.

Все инженерные решения по рациональному использованию земель начинаются с анализа антропогенного воздействия. Анализ динамики природной среды и выделение устойчивых и неустойчивых состояний ее компонентов является необходимым условием обеспечения безопасности жизнедеятельности через оценку рисков и принятие предупредительных мер. Самыми эффективными средствами получения необходимой для этого информации являются космические съемки и методы прогнозного моделирования. При этом необходимо обработать огромный информационный пласт, смоделировать ситуацию с помо-

щью ИТ и выполнить анализ возможных опасных процессов и явлений с оценкой рисков и затрат на их снижение с помощью экспертных систем.

РАЗВИТИЕ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ С ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*Т.А. Арефьева, М.С. Саратовских, А.В. Кузнецов,
АО «Научно-исследовательский институт точных приборов»,
г. Москва*

Гиперспектральная аппаратура (ГСА) особенна тем, что дает возможность фиксировать излучение в очень узких диапазонах, охватывая видимый и ближний инфракрасный (БИК) спектры. Формирование изображений, полученных с ГСА, основывается на индивидуальности спектрального отражения различных объектов путем расчета вегетативных индексов с опорой на спектральное отражение различных объектов, следовательно, появляется возможность

Для различия групп объектов применяется нормализованный разностный индекс (NDVI). Рассчитывая данный индекс для каждого пиксела изображения, можно идентифицировать *группы объектов*, четко различая при этом: растительность, грунт, искусственные объекты, береговую линию.

Перспективным направлением развития в данной области является, обеспечение получения возможности *классификации объектов внутри каждой группы*, путем применения различных *относительных* индексов.

ПТаким образом, если комбинировать значения интенсивностей для каждого фрагмента изображения в различных спектральных диапазонах становится возможным:

- производить мониторинг сельскохозяйственных территорий и отслеживать эффективность посевов;
- определять зоны подтопления;
- производить мониторинг состояния лесов;
- отслеживать динамику торфяных пожаров и зоны потенциальных очагов разгорания;
- отслеживать степень загрязнения воды, состояние водной прибрежной флоры и планктона;
- следить за степенью засоленности почв и многое другое.

В программе комплексного анализа информации гиперспектральной и мультиспектральной аппаратуры (ПК КАГА), разработанной в рамках программы «Мониторинг – Союзные Государства» реализован расчет 17 вегетативных индексов, что обеспечивает решение задач комплексного анализа не зависимо от сферы применения. Указанный задел предполагается использовать для создания соответствующих сервисов обеспечения потребителей информацией ДЗЗ в ЕТРИС ДЗЗ.

Кроме этого надо отметить, что проведенные посредством ПК КАГА исследования показали – одним из востребованных направлений применения данных ГСА может являться также обеспечение определения контуров облачности на изображениях, получаемых оптико-электронной аппаратурой КА высокого и среднего разрешения.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОБЩНОСТЬ И РАЗЛИЧИЯ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ С ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ И ВЫСОКИХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТ

*Н.А. Егошкин,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» (НИИ «Фотон»), г. Рязань*

Космические системы наблюдения Земли с геостационарных и высоких эллиптических орбит с периодичностью 5 – 30 минут формируют изображения целого диска Земли в нескольких спектральных каналах. Для этого используются датчики с двухкоординатной разверткой сцены, как правило сканового принципа действия. В них съемка осуществляется несколькими линейками фотоприёмников, а для развертки изображений используется сканирующее зеркало.

Изображения от «скановых» датчиков значительно искажены геометрически, являются структурно-разрывными и без соответствующей коррекции не могут быть использованы потребителями. Поэтому в центрах приёма выполняется геометрическая нормализация. Её основу составляют модели формирования изображений, которая связывают координаты точек сканового изображения, земной поверхности и изображения в некой стандартной геометрии.

В настоящее время удовлетворительные по качеству модели созданы и успешно апробированы для геостационарных систем наблюдения «Электро-Л» № 1 и № 2. Возникает вопрос, в какой мере эти модели и методы их построения и уточнения применимы для новой системы наблюдения с высокой эллиптической орбиты «Арктика».

В докладе рассматривается общность и различия геометрических моделей для космических систем наблюдения земли с геостационарных и высоких эллиптических орбит.

Общность следует из близких принципов построения и характеристик сканирующих двухкоординатных датчиков типа МСУ для обоих типов орбит. Соответственно, математические модели датчиков и технологии наземной калибровки имеют много общего. В тоже время конструкции датчиков постоянно совершенствуются, а любые изменения тут влекут необходимость пересмотра моделей.

Общность также связана с универсальностью метода построения геометрических моделей, когда на основе модели датчика, измерений пространственного положения и ориентации космического аппарата строится однозначное соответствие между координатами пикселей изображения и координатами пикселей на поверхности земли (детерминированная модель). Если бы геометрия датчика была стабильной, тепловые и иные деформации конструкций отсутствовали, а измерения положения и ориентации спутника были точными, то можно было бы построить единую для обоих типов космических систем геометрическую модель.

К сожалению, из-за погрешностей измерения положения и ориентации спутника и действия других случайных факторов возникают искажения геометрии, не описываемые детерминированной моделью. Эти явления иллюстрируются на примерах случайных ошибок в геометрии для «Электро-Л» № 1 и № 2. Скомпенсировать случайные факторы можно только с привлечением опорной информации: электронных карт, контурных точек диска земли, звезд. Именно в плане получения и использования опорной информации наиболее существенны отличия систем наблюдения на высоких эллиптических орбитах от геостационарных.

Первое отличие касается особенностей освещенности Земли Солнцем. В зависимости от годовой эволюции элементов высокой эллиптической орбиты возможно появление длинных серий не информатив-

ных изображений, мало пригодных для геодезической привязки по электронным картам (зима, апогей орбиты соответствует полуночи в подспутниковой точке).

Второе различие касается изменения условий наблюдения земли на рабочем участке орбиты. Показано, что из-за этого существенно осложняется геодезическая привязка по электронным картам. Также из-за изменения высоты спутника и ограниченного поля зрения датчика в ряде случаев часть контурных точек диска земли оказывается вне поля зрения, что осложняет использование этого типа опорной информации. Также существенно усложняется полетная калибровка датчика.

Таким образом, на эллиптической орбите получение опорной информации становится более трудоемким и менее предсказуемым. Предложен новый подход к уточнению детерминированной модели по опорной информации на основе методов идентификации динамических систем. При этом в геометрической модели учитываются опорные данные для предыдущих сеансов и показания термодатчиков.

Также особое значение приобретает обработка бортовой измерительной информации. Показана целесообразность наземной обработки «сырых» данных, позволяющей улучшить точность оценивания положения и ориентации КА за счет совместного использования более точных моделей измерений и опорной информации. В докладе рассмотрены особенности определения положения спутника для различных типов орбиты по ГЛОНАСС / GPS.

ПРЕИМУЩЕСТВА НАБЛЮДЕНИЙ АВРОРАЛЬНЫХ СТРУКТУР С ДВУХ ОРБИТ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИЙ 3-D РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭМИССИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ С РАЗНЫХ ПОЗИЦИЙ ИМАДЖЕРОВ

*А.К. Кузьмин¹⁾, М.А. Баньщикова²⁾, И.Н. Чувашов²⁾,
Г.М. Крученицкий³⁾, Ю.Н. Потанин³⁾,*

¹⁾Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), г. Москва,

*²⁾Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета (НИИ ПММ ТГУ), г. Томск,*

³⁾Центральная Аэрологическая Обсерватория (ЦАО) Росгидромета

С помощью ПО Вектор-М проанализированы возможные ситуации одновременных наблюдений одних и тех же областей аврорального овала перспективными имаджерами Летиция и Авровизор-ВИС/МП с

разных высот под разными углами с учетом полей зрения приборов, их компоновки на КА и текущей ориентации в осенние, зимние и весенние периоды в северной и южной полярных зонах, а также ситуаций пролетов КА над наземной фотометрической сетью авроральных имажеров MAIN в окрестности г. Апатиты и над другими точками в полярной и околополярной зонах. Учитывая преимущества получения изображений авроральных эмиссий с разных позиций наблюдения, рассматриваются возможные алгоритмы реконструкций объемной структуры распределения интенсивности эмиссий по данным бортовых изображений и получения распределений электронной концентрации в максимуме E-области ионосферы, а также распределений потока энергии и средней энергии высыпавшихся электронов.

ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ КОРЫ ЗЕМЛИ В РАЙОНЕ ПОЛЮСОВ

*Е.М. Малитиков (1), А.П. Краминцев (2),
М.И. Савельев (2), В.И. Шабуневич (3)
1 – МК РЗОВ,
2 – ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ),
3 – АО «Корпорация «ВНИИЭМ»*

Работы состоят в обнаружении численными экспериментами факта увеличенных колебаний коры Земли в полярных областях по сравнению с экваториальной зоной и планирование проверочных экспериментов на реальных моделях и на самой Земле.

Приводятся результаты линейного гармонического анализа упрощенных конечно-элементных моделей разного масштаба, аналогичных моделям нашей планеты Земля. Рассматриваемые модели представляют собой вращающиеся заполненные сферические оболочки разных радиусов с ядрами и без них. Внутри каждой модели действует давление. При проведении гармонического анализа в экваториальной плоскости первых двух моделей с ядрами прикладывались нормальные к их поверхностям поперечные силы с изменяющейся частотой. В третьем (экспериментальном) случае к оболочечной модели без ядра прикладывалась изменяющаяся по частоте вертикальная перегрузка.

Проведенный анализ моделей Земли показал, что магнитуды перемещений поверхности коры Земли в полярных областях, как минимум, в два раза больше по величине, чем в экваториальной зоной. Эти ре-

зультаты могут быть проверены и подтверждены экспериментами с натурными масштабными моделями Земли и путем реальных измерений средствами ДЗЗ. Соответственно, нормативы проектирования и создания различной инфраструктуры в Арктической области должны учитывать эти особенности колебаний коры Земли в зонах полюсов.

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.Н. Григорьев, Г.Г. Дмитриков, Е.А. Дудин,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Получение пространственных данных с применением орбитальных средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), оборудованных, в частности, оптико-электронными и радиолокационными бортовыми специальными комплексами, реализуется в сложных внешних и внутренних условиях. В настоящее время актуальными остаются задачи оценивания качества орбитальных и наземных средств космической системы ДЗЗ, решение которых обеспечивает частные этапы анализа и синтеза соответствующих систем с учетом конкретных условий или технических требований.

Существующие исследования в области оценивания качества и эффективности функционирования космических систем ДЗЗ основаны, как правило, на разработке и использовании сложных аналитических и имитационных моделей, описывающих статические и динамические свойства средств сбора, приема и обработки данных. Указанные математические модели обеспечивают оценивание эксплуатационных показателей системы (периодичность обзора, производительность, оперативность и т. д.). При этом реализация процедур моделирования характеризуется высокой сложностью, низкой наглядностью и трудна для восприятия неподготовленным специалистом.

В настоящее время в результате развития геоинформационных систем (ГИС), оперирующих, в основном, пространственными и атрибутивными данными, сформированы предпосылки для использования соответствующих технологий в интересах исследования свойств элементов систем ДЗЗ. В таком случае основой для описания свойств

элементов системы ДЗЗ являются не только математические модели, но и геоинформационные модели, под которыми в широком смысле понимается совокупность информации, характеризующая существенные свойства и состояния моделируемого объекта, процесса или явления, а также их взаимосвязи с внешним миром.

В докладе рассматриваются примеры использования геоинформационных моделей и процедур геоанализа для оценивания качества средств космической системы ДЗЗ, в частности, группировок космических аппаратов ДЗЗ и сети наземных пунктов приема информации. Представлены результаты исследования возможностей современных орбитальных и наземных средств ДЗЗ для оперативного мониторинга локальных районов в условиях применения мобильных комплексов приема и обработки данных с борта космического аппарата.

ФРАКТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ГРУППОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

*А.С. Андрусенко, Е.И. Шабakov,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург,
Е.П. Марков,
ООО «Аметист»*

Одним из основных этапов обработки материалов дистанционного зондирования Земли является выделение цели, т. е. локализация одного или нескольких участков изображения, на которых располагаются объекты, подлежащие обнаружению. Целью обнаружения являются объекты искусственного происхождения.

Зная, что изображения антропогенных объектов (облачный покров, лесные массивы, взволнованная поверхность воды) хорошо моделируются методами фрактальной геометрии. Основными понятиями фрактальной геометрии являются фракталы, самоподобие и фрактальная размерность. Очевидно, что инвертирование позволяет сделать вывод, является ли изображение изображением искусственного объекта.

Хорошо изучены аспекты и результаты методов фрактальной обработки изображений применительно к цифровым (оптико-электронным) снимкам земной поверхности, выполненных летательными аппаратами в диапазоне разрешения 70 – 20 метров. Также имеются результаты фрактальной обработки для детальных космических

снимков разрешением 1 – 2 метра, в целом соответствующем по этому параметру аэрофотосъемке.

В основе разнообразных практических приложений фрактальной геометрии лежит вычисление фрактальной размерности исследуемых объектов. Получение численного значения D позволяет делать вывод о принадлежности объекта к классу природных или, наоборот, задание некоторого значения D позволяет смоделировать объект с заранее заданной степенью «природности».

Для реальных объектов и их изображений строгое математическое вычисление фрактальной размерности не применимо. Вместо этого используются различные оценочные методы. Применительно к фрактальному анализу изображений, полученных летательными аппаратами, подходят методы, вычисляющие D поверхности, формируемой значениями яркостей цифрового ОЭ изображения. Для этого используется скользящее окно различных размеров, зависящих от целевого назначения.

В 1986 году Кларк разработал метод призм для вычисления D топографических поверхностей. Суть метода состоит в следующем. По цифровому изображению перемещается скользящее окно нечетной размерности. Определяются значения яркости для угловых и центральных пикселей. Затем вычисляются площади четырех пространственных треугольников, сформированных соответствующими отсчетами яркости. Каждый такой треугольник является верхней поверхностью призмы, построенной от основания (яркость 0) до соответствующих значений яркости.

Очевидно, что суммарная площадь всех четырех пространственных треугольников, формирующих фрактальную поверхность, будет больше либо равна евклидовой площади скользящего окна. Фрактальная размерность вычисляется как отношение площадей фрактальной и евклидовой поверхностей в окне:

$$D = \frac{\text{Log}(S_{\text{фр}})}{\text{Log}(S)}$$

Для корректного вычисления D методом призм является правильный выбор размера апертурного окна. При слишком малом размере окна результат будет выглядеть слишком «гладким», маленькое окно бу-

дет «скользить» по склонам «волн яркости», выдавая минимальные значения D . При слишком большом размере окна, метод пропускает перепады яркости и его результат, становится случайным. Правильный размер окна должен соответствовать размеру элемента самоподобия изображения. Это, например, размер кроны дерева в лесном массиве, расстояние между волнами на морской поверхности, средний размер склона горного массива, средний размер «завитка» облака и т. д.

Точное суммирование поверхностей всех элементарных призм в окне дает более точные результаты и позволяет уменьшить влияние размера окна на релевантность метода.

Исследования показали, что размер скользящего окна надо выбирать компромиссно, применительно к конкретным условиям съемки и конкретным параметрам съемочной аппаратуры, с учетом вероятности пропуска объекта и вероятности ложного обнаружения.

Метод фрактальной селекции применим к любым типам цифровых изображений и демонстрирует надежные результаты в обнаружении групповых антропогенных объектов. Доля ошибок типа «пропуск объекта» составляет не более 8,5 % в зависимости от ландшафта и условий наблюдения.

Метод обладает низкой вычислительной сложностью, что позволяет реализовать автоматический поиск объектов в режиме поступления данных.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Д.Л. Колыгин
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

При проектировании оптико-электронной аппаратуры средств дистанционного зондирования Земли из космоса возникает необходимость оценивания качества изображений с целью определения их пригодности для решения прикладных задач.

Качество изображений обычно оценивается с использованием рассчитанных значений показателей качества, как правило, линейного разрешения на местности. Однако при решении ряда задач, требующих визуальной обработки данных космической съёмки, более точными являются оценки качества изображений с использованием экспертных методов.

Предлагаемый программный комплекс обеспечивает моделирование космического оптико-электронного изображения при заданных условиях съёмки и характеристиках бортовой оптико-электронной аппаратуры.

Программный комплекс реализует модели влияния основных факторов на материалы космической съёмки. К основным факторам, влияющим на материалы космической съёмки, отнесены атмосферные искажения, характеристики бортовой оптико-электронной аппаратуры, точность компенсации скорости оптического изображения, точность стабилизации носителя съёмочной аппаратуры.

Модель влияния атмосферных искажений опирается на известную модель стандартной атмосферы и представлена в виде функции рассеяния, описывающей размывающее действие турбулентной атмосферы и рассеивание излучения (атмосферную дымку).

Модель влияния характеристик бортовой оптико-электронной аппаратуры использует соотношения для расчёта передаточных характеристик бортовой аппаратуры и представлена в виде функций рассеяния, описывающих размывающее и рассеивающее действие дефокусированного объектива и оптико-электронного преобразователя.

Модель влияния точности компенсации скорости изображения использует соотношения для расчета передаточных характеристик остаточного сдвига изображения и представлена в виде функции рассеяния, описывающей размывающее действие остаточного сдвига, вызванного методическими и случайными ошибками системы компенсации.

Модель влияния точности стабилизации КА использует соотношения для расчета передаточных характеристик системы стабилизации КА и представлена в виде функции рассеяния, описывающей размывающее действие, обусловленное наличием остаточных угловых скоростей носителя.

Исходными данными для моделирования являются характеристики бортовой оптико-электронной аппаратуры и условия съёмки.

Входными данными для программного комплекса являются:

- цифровые эталонные изображения, полученных в зачётных условиях, либо в результате моделирования фоноцелевой обстановки в заданных условиях освещённости;
- данные по моделируемым условиям съёмки и характеристикам бортовой оптико-электронной аппаратуры.

Программный комплекс обеспечивает решение следующих задач:

- выбор изображения для последующей обработки из набора эталонных изображений;
- задание и изменение исходных данных для работы алгоритмов обработки;
- выбор алгоритмов обработки для применения к эталонному изображению;
- визуализацию исходного и обработанного изображений;
- сохранение результатов обработки в формате исходного изображения.

В состав комплекса входят управляющая оболочка и блок обработки. Модульная структура блока обработки позволяет в случае необходимости интегрировать дополнительные модули для расширения функциональных возможностей программного комплекса. Управляющая оболочка обеспечивает режимы индивидуальной и пакетной обработки эталонных изображений произвольным набором модулей для моделирования влияния отдельных факторов на материалы космической съёмки.

Таким образом, предлагаемый программный комплекс моделирования космических оптико-электронных изображений объектов позволяет получать изображения, соответствующие изображениям, полученным бортовой оптико-электронной аппаратурой с заданными характеристиками и условиями съёмки.

СТРУКТУРНО-ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*С.А. Карин,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

В настоящее время средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) космического и воздушного базирования являются основным источником информации для решения расчетных и аналитических задач в интересах органов государственного и муниципального управления в предметных областях, связанных с мониторингом (исследовани-

ем) пространственных территориально-распределенных объектов.

В качестве таких территориально-распределенных объектов мониторинга (ОМ) могут выступать элементы городской инфраструктуры, лесные массивы, сельскохозяйственные угодья, промышленные предприятия, потенциально-опасные объекты на территории муниципальных образований (склады с химически опасными компонентами, дамбы, нефтяные хранилища, промышленные предприятия) и т.п. Все вместе они составляют единую взаимосвязанную систему промышленного потенциала страны.

Предлагаемая структурно-иерархическая модель пространства ОМ основывается на следующем положении. Пространство ОМ определяется как математическое пространство с мерой и формально выражается в виде четверки (R, M, Q, μ) , где: M – непустое множество мероприятий на ОМ, $M \in R$; Q – непустое множество отличительных признаков, $Q \in R$; $R = M \cup Q$, при этом $M \cap Q = \emptyset$. μ – мера пространства, интерпретируемая как степень причинно-следственной связанности заданных в нем мероприятий и (или) признаков.

Мера пространства μ определяет степень вклада мероприятий и (или) признаков в возникновение мероприятия или проявление признака, являющихся их следствием.

Определим формально основные концепты (понятия) в пространстве ОМ.

Самым низкоуровневым и далее неделимым понятием в пространстве ОМ является понятие отличительного признака, формально определяемого так:

$$Q_o = \langle C_o, C_{Q_o}, V_{Q_o} \rangle, \quad (1)$$

при этом: C_o – класс (категория) ОМ, на которых допустимо проявление данного признака; C_{Q_o} – класс (категория) признака; V_{Q_o} – его значение (величина).

Далее, каждый ОМ формально задается следующим образом:

$$O = \langle C_o, St_o, Lc_o, R_o, A_o \rangle, \quad (2)$$

при этом: C_O – класс (категория) ОМ; St_O – его текущее состояние; Lc_O – жизненный цикл ОМ; R_O – взаимосвязи (отношения) между ОМ, ($R_O \subseteq O \times O$); A_O – совокупность пространственно-временных показателей ОМ (район и время наблюдения и т. п.).

Текущее состояние ОМ формально определяется совокупностью зафиксированных отличительных признаков:

$$St_O = \{q_i \mid \bigcup_{i=1}^K \mu_i q_i \rightarrow St_O\}, q_i \subseteq Q_O, \quad (3)$$

при этом μ_i – мера пространства, определяемая как степень причинно-следственной связи между i -м признаком и ОМ.

Отличительные признаки мероприятий формально определяются так:

$$Q_M = \langle C_M, C_{Q_M}, V_{Q_M} \rangle, \quad (4)$$

при этом: C_M – класс (категория) мероприятий, которые допускают проявление признака; C_{Q_M} – класс (категория) признака; V_{Q_M} – его значение (величина).

Мероприятие, осуществляемое в пространстве ОМ, формально определяется следующим образом:

$$M = \langle C_M, O, Q, A_M \rangle, \quad (5)$$

при этом: C_M – класс (категория) мероприятия; O – совокупность ОМ, участвующих в мероприятии; Q – совокупность отличительных признаков, определяющих данное мероприятие, формально задаваемая следующим образом:

$$Q = \{q_i \mid \bigcup_{i=1}^K \mu_i q_i \rightarrow M, q_i \subseteq Q_M\}, \quad (6)$$

при этом μ_i – мера пространства (степень причинно-следственной связи между i -м признаком и мероприятием); A_M – совокупность пространственно-временных показателей мероприятия (район и время проведения и т.п.).

Ситуация в пространстве ОМ – совокупность взаимосвязанных сведений о характеристиках ОМ и мероприятиях, осуществляемых на них, формально определяется следующим образом:

$$S = \langle M, O \rangle, \quad (7)$$

при этом: M – совокупность мероприятий, осуществляемых в пространстве ОМ; O – совокупность ОМ в пространстве.

Определенная таким образом структурно-иерархическая модель пространства взаимосвязанных территориально-распределенных ОМ позволяет:

- во-первых, формально описать структуру и характеристики его концептов;
- во-вторых, выразить свойства концептов верхнего уровня через свойства концептов нижнего уровня;
- в-третьих, описать взаимосвязи (причинно-следственные связи) между концептами на разных уровнях иерархии.

Разработанная модель положена в основу программного комплекса поддержки принятия решений по управлению сложными территориально-распределенными ОМ на основе метода ситуационного прогнозирования. Использование данного комплекса в составе программно-технических средств сбора и обработки данных ДЗЗ позволяет значительно повысить качество решаемых задач и обеспечить требования потребителей целевой информации.

МОДЕЛЬ ИЕРАРХИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В.В. Лобовко, М.А. Сквизников,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Основопологающим этапом обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является дешифрирование. Для удовлетворения требований потребителей по оперативности с учетом возрастания объемов данных ДЗЗ, актуальной является задача разработки моделей и методов автоматизированного распознавания сложных объектов.

Предлагаемая модель распознавания сложных топографических объектов по данным ДЗЗ использует иерархическую классификационную структуру, в основу которой положено такое свойство объекта,

как его функциональное предназначение.

Топографическое дешифрирование аэрокосмических снимков имеет своими объектами гидрографическую сеть, растительность, грунты, угодья, формы рельефа, ледниковые образования, населённые пункты, строения и сооружения, дороги, местные предметы, геодезические пункты, границы.

Данные классы объектов (K_i) определяют первый (высший) уровень классификации или объекты первой категории.

На низшем уровне предлагаемой структуры классификации находятся полностью идентифицированные единичные объекты. Количество категорий или ступеней деления объектов зависит от выбранной модели классификации.

Система распознавания на основании сопоставления поступающей на вход апостериорной информации об объекте или явлении с априорным описанием классов принимает решение о принадлежности этого объекта или явления к одному из классов.

Для определения априорной вероятности появления определенного класса объектов применяются данные ДЗЗ и другие источники информации.

В качестве исходных данных в системе распознавания используются:

- функции совместных n -мерных плотностей вероятности $\varphi(A_1, A_2 \dots A_n / K_i)$ выборочных значений признаков $(A_1, A_2 \dots A_n)$ при условии их принадлежности к классу K_i ;
- априорные вероятности $P(K_i)$ появления объекта класса K_i .

Данные характеристики получены на основе использования статистических методов обработки и экспертной информации.

Способ решения задачи выбора алгоритма распознавания зависит от априорной информации, которой располагает разработчик системы.

Так как в статистическом распознавании условные плотности вероятности выборочных значений $A_{<n>}$ априорно неизвестны, то в решающее правило подставляются их оценки $\tilde{\varphi} = \varphi(A_1, A_2, \dots A_n / K_i)$.

Выбор решающего правила, позволяющего относить выборку наблюдений признаков $A_{<n>}^j$ к одному из взаимоисключающих классов, производится в соответствии с теорией статистических решений с учетом априорной информации.

Так как исходными данными являются $P(A_i)$ – априорная вероят-

ность появления объекта класса K_i и $\varphi(j / K_i)$ – вероятность появления j -той реализации признаков при условии наблюдения объектов класса K_i и в то же время отсутствует информация о потерях при принятии решения, то в качестве критерия принятия решения предлагается метод максимума апостериорной вероятности.

При многоальтернативном распознавании (для M классов) решающее правило по критерию максимума апостериорной вероятности описывается следующим выражением:

$$P(K_p) \tilde{\varphi}(j / K_p) = \max_i [\tilde{\varphi}(j / K_i) P(K_i)], \quad i = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Представленная модель распознавания сложных объектов позволяет в соответствии с критерием максимума апостериорной вероятности принимать решение о принадлежности выборки к определенному классу.

На основании предложенной модели разработан алгоритм распознавания сложных объектов, в котором при классификации объектов использован многоуровневый подход. На каждом уровне осуществляется классификация объектов в соответствии с категоризованной выборкой классов. В соответствии с иерархической моделью к классам 1-й категории относятся населенные пункты, гидрография, растительность и т. п. На втором уровне происходит классификация объектов, отнесенных к определенному классу 1 категории, на объекты 2 категории. Например, населенные пункты подразделяются на объекты селитебной, промышленной, коммунально-складской зон и т. д. Классификация производится до требуемого уровня, вплоть до идентификации единичного объекта.

Разработанная модель положена в основу программного комплекса автоматизированного анализа состояния сложных объектов. Использование данного комплекса в составе программно-технических средств сбора и обработки данных ДЗЗ позволяет значительно повысить качество решаемых задач и обеспечить требования потребителей целевой информации.

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

**КОРРЕКЦИЯ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
РАСКРЫВАЕМОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

*Д.Д. Габриэльян¹, И.С. Данилов,² В.И. Демченко¹,
Ю.В. Кузнецов.¹, В.О. Петин¹, Д.С. Федоров¹,
О.И. Федоров², А.Л. Шлаферов¹*

*¹ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский
институт радиосвязи», г. Ростов-на-Дону,
²АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Раскрываемые активные фазированные антенные решетки (АФАР), состоящие из нескольких секций, находят свое применение в составе космических систем дистанционного зондирования Земли. Сложные условия, в которых происходит вывод КА на орбиту и последующая эксплуатация АФАР приводят к необходимости периодической коррекции амплитудно-фазового распределения (АФР) в раскрытии АФАР для сохранения параметров диаграммы направленности (ДН). Факторами, в наибольшей степени обуславливающими необходимость коррекции АФР, являются нештатное развертывание секций и изменение параметров приемопередающих модулей (ППМ) АФАР.

Целью доклада является анализ возможности компенсации искажений ДН при нештатном развертывании АФАР.

Решаемые задачи:

1. Разработка метода коррекции АФР при изменении геометрии излучающего раскрытия АФАР после развертывания.
2. Исследование уменьшения искажений ДН при нештатном развертывании антенны путем коррекции АФР в раскрытии АФАР.

Предлагаемый метод связан с проведением внутренней калибровки ППМ при наземной отработке и установке M -секционной АФАР на КА и последующих периодических внутренних калибровках всех ППМ после развертывания антенны в процессе функционирования. Взаимное расположение и ориентация всех M секций АФАР друг относительно друга могут быть определены с использованием датчиков углового положения.

На основе имеющихся данных коррекция АФР определяется из решения системы уравнений

$$\mathbf{W}^{(1)} = \mathbf{Q}^+ \mathbf{F}_0$$

где $\mathbf{W}^{(1)}$ - вектор-столбец, элементами которого являются комплексные амплитуды АФР после проведения коррекции; $\mathbf{Q}^+$ – псевдообратная матрица для матрицы $\mathbf{Q}$, элементы которой представляют собой ДН излучателей в составе секций АФАР; $\mathbf{F}_0$ - вектор-столбец размерности, элементами которого являются комплексные значения ДН, формируемой при штатном развертывании АФАР.

Решение переопределенной системы уравнений (1) позволяет получить АФР, при котором формируемая ДН будет наименьшим образом отличаться от ДН с заданными параметрами в среднеквадратическом смысле.

Для анализа результатов по уменьшению искажений ДН при нештатном развертывании антенны при коррекции АФР в раскрые АР рассмотрена 3-секционная АФАР, в каждой секции которой расположены по 10 излучателей. На рис. 1 представлены результаты исследований формируемых диаграмм направленности для различных значений отклонений поверхности излучающего раскрыва от плоскости, соответствующей штатному положению секций. Положение средней (второй) секции принималось штатным, а отклонение первой и третьей секции от плоскости определялись углами $\Delta\theta_1$ и $\Delta\theta_2$ соответственно.

Сплошной линией на всех рисунках показано сечение ДН, формируемой плоской АР. Штриховой линией показано сечение ДН, формируемой АР при нарушении геометрии раскрыва: a – до проведения коррекции АФР; b – после проведения коррекции АФР.

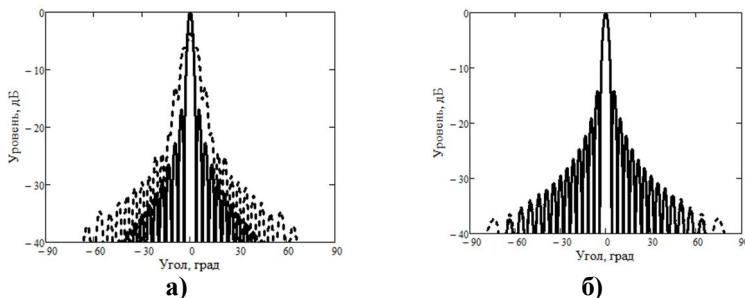


Рис. 1. ДН антенной решетки при нештатной геометрии размещения секций ($\Delta\theta_1=5^\circ$; $\Delta\theta_2=-5^\circ$): а) без коррекции АФР; б) с коррекцией АФР.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать выводы:

1. Использование метода синтеза АФР на основе решения переопределенной системы уравнений позволяет при известной геометрии излучающего раскрыва проводить коррекцию АФР, обеспечивающую минимизацию изменений параметров ДН.
2. Результаты математического моделирования на примере 3-секционной АР показали, что сохранение параметров ДН возможно при любых (симметричных и несимметричных) изменениях формы излучающего раскрыва. Однако, в случае несимметричного изменения формы излучающего раскрыва сохранение параметров ДН возможно при отклонении первой и третьей секций на углы, не превышающие 10 градусов. В то же время при симметричном изменении геометрии эквивалентное ухудшение параметров направленности происходит при углах более 10 градусов.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Е.В. Овчинников, Фам Ван Винь,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва*

Современные связные, навигационные и другие антенны размещают на поверхности носителя. Остронаправленные антенны РЛС, опознавания, навигации и других радиотехнических систем размещают

под обтекателем, что приводит к увеличению массогабаритных характеристик и к проблемам создания соответствующих обтекателей. На больших самолетах размещают до ста антенн. Устанавливаемые на борту антенны должны обладать требуемыми характеристиками направленности и не нарушать аэродинамику и механическую прочность летательного аппарата (ЛА).

В настоящее время широко используют невыступающие антенны типа щелей и печатных излучателей. Для формирования остронаправленных диаграмм применяют конформные антенные решетки из таких излучателей. Как щелевые, так и печатные антенны являются резонансными, а, следовательно, узкополосными.

Одной из задач современной бортовой радиоэлектроники является создание интегрированных радиоэлектронных комплексов с объединенной антенной системой, т. е. с антенной совмещенной, многочастотной, работающей на традиционных используемых частотах для данной радиосистемы. Таким образом, возникает задача разработки антенн, размещаемых на внешней поверхности ЛА и обладающей широким рабочим диапазоном в октавы и даже декады.

Рабочую полосу печатных антенн можно расширить до 20 – 40 % путем применения многослойных технологий изготовления печатных плат. Благодаря хорошим массогабаритным параметрам микрополосковые антенны удобно использовать для диапазонной работы.

Известны классические планарные микрополосковые антенны. Однако они обладают серьезным недостатком – в силу резонансного характера планарные микрополосковые антенны и решетки из них узкополосны, относительная полоса рабочих частот таких антенн составляет доли и единицы процентов.

Если требуется более широкая рабочая полоса частот (20 % и выше), то на смену классическим поперечным излучателям приходят широкополосные и сверхширокополосные печатные антенны продольного излучения, а так же комбинированные варианты конструкции продольного и поперечного излучателей. Рабочая полоса и коэффициент усиления таких антенн зависят от длины, поэтому они также имеют большие продольные габариты.

Известны широкополосные антенны на основе взаимодополняющих структур. Они имеют различную форму, но практическое применение получила структура «бабочка» или «bow-tie». Антенна типа «бабочка» обеспечивает допустимое согласование в широкой полосе

частот. Размещение «бабочки» над экраном приводит к сужению рабочей полосы частот. Для расширения рабочей полосы частот приходится усложнять структуру печатной антенны и использовать многослойные печатные антенны. В этом случае возникает необходимость разработки широкополосных возбуждителей и оптимизации их характеристик с целью получения допустимого согласования антенны в рабочей полосе частот.

Расширение рабочей полосы микрополосковых антенн или реализация многодиапазонной работы обычно достигается путем изготовления широкополосных антенн по печатной технологии и применения многослойных структур.

Для решения поставленной задачи можно изменить конструкцию и размеры излучающего элемента. Например, добавить кольцевой шлейф, что позволяет расширить рабочую полосу частот. Общий вид микрополосковой антенны с кольцевым шлейфом, работающей в Кв-диапазоне (10,7 – 14,75 ГГц) приведен в докладе.

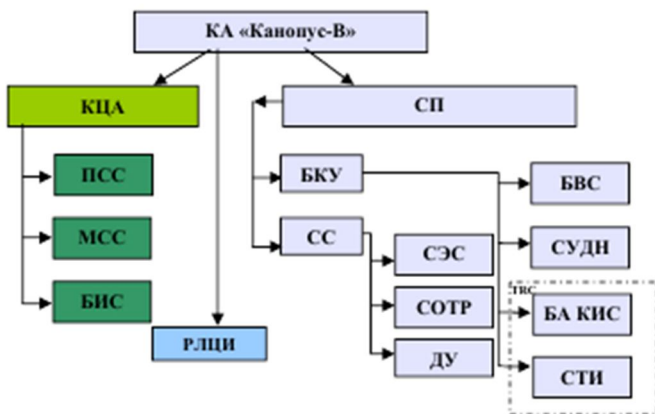
Широкополосные слабонаправленные антенны, излучение которых рассматривается в свободном пространстве, известны, однако изготовленные по печатной технологии, эти антенны теряют свою широкополосность. Для сохранения широкополосности и направленных свойств предлагается использовать известные в радиотехнике композитные материалы, позволяющие в широких пределах изменять свои электрофизические параметры: диэлектрическую и магнитную проницаемость, включая и отрицательные значения. В таких материалах можно создать «запрещенную зону», в которой отсутствует распространение электромагнитных волн СВЧ.

Таким образом, на проводящей поверхности ЛА наносится тонкий слой композита (импедансная структура) в «запрещенной зоне» на котором размещается антенна. В результате антенна не превращается в печатную, а сохраняется распределение тока на наружной поверхности антенны как в свободном пространстве. Это позволяет получить новые характеристики у такой модифицированной печатной антенны. Характеристики антенны приближаются к характеристикам излучателя в свободном пространстве.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АФУ РЛЦИ КА

*Е.В. Овчинникова¹, П.А. Шмачилин¹, С.Г. Кондратьева¹,
А.Г. Генералов², Э.В. Гаджиев²,
¹Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва
²АО «НИИЭМ», г. Истра*

Неотъемлемой частью построения структурной схемы любого космического аппарата (КА), помимо других систем, как показано на рисунке, является радиолиния передачи целевой информации (РЛЦИ).



КА «Канопус-В»

РЛЦИ КА предназначена:

- для приёма цифровой информации от целевой аппаратуры;
- для формирования цифровых потоков заданной структуры.

В таблице приведены состав и основные характеристики антенно-фидерного устройства (АФУ), входящего в состав РЛЦИ на примере малого КА «Канопус-В».

Основные параметры РЛЦИ КА «Канопус–В»

Несущая частота канала ПРД1	8128 МГц
Несущая частота канала ПРД2	8320 МГц
Скорость передачи в канале: ПРД1 ПРД2	61,44 Мбит/с 122,88 Мбит/с
Виды модуляции: ПРД1 ПРД2	Относительная фазовая Двойная отно- сительная фазовая
Потребляемая мощность: при работе ПРД1 и ПРД2 при работе ПРД1 или ПРД2 в дежурном режиме – готовность к сбросу (в течение 8 мин)	240 Вт 130 Вт Не более 20 Вт
Масса	33 кг
Срок активного существования	Не менее 5 лет

Из приведённых в таблице данных, видно, что АФУ РЛЦИ КА «Канопус–В» строится по следующему принципу. Используются две зеркальные антенны сантиметрового диапазона с волноводным трактом для работы в составе двух бортовых передатчиков.

С ростом сложности и объёмов задач, решаемых устройствами КА, произошло изменение требований к РЛЦИ. Основное изменение заключается в резком увеличении скорости передачи данных с борта КА на наземные пункты приёма информации. В свою очередь, определённые ограничения вызваны достаточно коротким временем сеанса связи КА с пунктами приёма (около пятнадцати мин), а также ограниченное количество самих пунктов приёма (около трёх-четырёх пунктов).

Однако используемый в настоящее время подход к построению АФУ РЛЦИ КА обладает рядом недостатков:

- для обеспечения функционирования двух бортовых передатчиков необходима большая мощность (≈ 150 Вт на каждый);
- применение двух передатчиков требует применения двух передающих антенн, что в свою очередь приводит к дополнительным требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС) и по оптимально-

му размещению этих антенн на поверхности КА с целью снижения влияния корпуса КА на энергетические параметры антенн;

значительные габариты применяемых передающих антенн.

В докладе рассмотрены и представлены варианты построения бортовой антенны для РЛЦИ с использованием различных типов излучателей в сравнении с используемыми в настоящий момент аналогами, позволяющие увеличить объём передаваемой информации, надёжность, а также уменьшить количество антенн и их массу, потребляемую мощность и тепловую нагрузку АФУ РЛЦИ.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРЯМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ

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

Для обеспечения высокой точности позиционирования направленной антенны необходимо использование безлюфтовых приводов. Кроме того, для космического аппарата (КА) дистанционного зондирования земли оптическими средствами необходима минимизация возмущающего момента, действующего на КА со стороны электропривода. Для этих целей оптимально использовать прямой (безредукторный) электропривод, оптимизировав электродвигатель по критерию минимизации влияния гармоник радиальной магнитной силы на амплитуду вынужденных колебаний.

Важнейшей характеристикой электродвигателя является его мощность:

$$P = \pi n M_{\pi} / 30, \text{ Вт} \quad (1)$$

где n – частота вращения, об/мин; M_{π} – максимальный вращающий момент, Нм.

Максимальный вращающий момент зависит от конструкции электропривода и должен учитывать (с квалификационным запасом) трение в подшипнике, кабельном барабане, иные препятствующие повороту силы и моменты, силы инерции, развиваемые вращающейся частью конструкции. Необходимая частота вращения получается из ана-

лиза баллистики КА в режиме слежения за станцией приема при сеансе связи.

Геометрические размеры двигателя связаны с мощностью машинной постоянной Арнольда.

$$C_A = \frac{D^2 l_d n}{P} \cdot \frac{2}{\pi \alpha_\delta k_b k_{\text{об}} A B_\delta}, \quad (2)$$

где D – диаметр ротора электродвигателя, l_δ – расчетная длина воздушного зазора, м, B_δ – магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл, A – линейная токовая нагрузка, А/м, α_δ – коэффициент полюсного перекрытия, равный отношению расчетной полюсной дуги к полюсному делению, $k_{\text{об}}$ – обмоточный коэффициент, k_b – коэффициент формы поля. Таким образом, длина воздушного зазора может быть выбрана исходя из необходимости обеспечения заданного максимального момента электропривода:

$$l_\delta = \frac{M_{II}}{30} \cdot \frac{1}{D^2 \pi \alpha_\delta k_b k_{\text{об}} A B_\delta}, \quad (3)$$

Также при выборе внешнего диаметра двигателя стоит учитывать минимальную собственную частоту колебаний конструкции двигателя. Подробнее этот вопрос рассмотрен в работе.

Значение радиальной силы, действующей на единицу поверхности расточки статора можно рассчитать следующим соотношением,

$$F(\theta, t) = \frac{B^2(\theta, t)}{2\mu_0}, \quad \text{Н/м}^2 \quad (4)$$

где $B(\theta, t)$ – мгновенное значение магнитной индукции в момент времени t , Тл, θ – угол поворота ротора, рад, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость воздуха.

В предположении, что двигатель управляется по синусоидальному закону, для оценки влияния гармоник амплитуды радиальной магнит-

ной силы на вынужденные колебания воспользуемся следующим соотношением для коэффициента вынужденных колебаний:

$$w_v \sim \chi_v = \frac{F_v}{(v^2 - 1)^2}, \quad (5)$$

где w_v – амплитуда вынужденных колебаний сердечника электродвигателя, м,

χ_v – оценочный коэффициент амплитуды вынужденных колебаний, v – порядок гармоники, F_v – амплитуда v -ой гармоники радиальной составляющей магнитной силы на единицу поверхности рашетки статора, Н/м², полученная в результате разложения зависимости (4) $F(\theta, t)$ в ряд Фурье. Из формулы (5) следует, что чем меньше порядок гармоники, тем существеннее её влияние на амплитуду колебаний.

При выборе оптимального соотношения числа зубцов статора двигателя z и полюсов ротора p необходимо руководствоваться минимальным углом поворота двигателя ξ , град, при котором возможно обеспечить устойчивое положение ротора, а значит точно позиционирования направленной антенны. Таким образом

$$\xi_{\text{потр}} > \xi, \quad (6)$$

где $\xi_{\text{потр}}$ – требуемая точность позиционирования, град.

Из геометрических соображений получается, что

$$\xi = \frac{360}{2p} - \frac{360}{z}, \quad (7)$$

При шаговом управлении электродвигателем угол, рассчитанный по формуле (7), можно уменьшить путем специального управления – «деления» шага, однако такое управление имеет ряд своих недостатков.

Создав расчетные модели двигателей, рассчитываем зависимость магнитной индукции в воздушном зазоре от угла поворота. Для расче-

та магнитной индукции в поперечном зазоре электродвигателя наиболее целесообразно использовать САЕ-приложения, например программный комплекс Femm. Затем разложив эту зависимость в ряд Фурье, необходимо вычислить значения χ_v . Сравнив χ_v для различных конструкций и типов двигателей, необходимо выбрать двигатель с наименьшим значением этой величины.

В настоящее время актуальным является создание высокоскоростных радиолиний космических аппаратов на основе направленных антенно-фидерных систем. Предложенная методика выбора типа и параметров встраиваемого электродвигателя позволяет оптимизировать электродвигатель по критерию минимизации амплитуды вынужденных колебаний, а также возмущающих сил и моментов, действующих на антенну и КА в целом со стороны электропривода.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*А.С. Виноградов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Главной тенденцией при создании современных аккумуляторных батарей является использование микропроцессорных блоков для контроля параметров и выравнивания напряжений на аккумуляторах. Рядом зарубежных фирм уже освоено производство специализированных микросхем для контроля параметров и защиты АБ.

Основная функция систем контроля и управления ЛИАБ – контроль тока, напряжения и температуры, защита АБ от работы при критических значениях этих параметров. Также могут быть реализованы дополнительные функции: выравнивание напряжения между отдельными аккумуляторами, отключение единичных отказавших аккумуляторов, прием и обработка внешних команд, самотестирование, выработка команд для системы терморегулирования.

СКУ многосекционных ЛИАБ целесообразно строить по иерархическому трехуровневому принципу. Верхний уровень – общий контроль, сбор и обработка данных для последующей оптимизации алгоритма управления. Средний уровень – обработка команд системы верхнего уровня и общий контроль за блоком ЛИАБ. Нижний уровень

– обработка команд верхних уровней, непосредственный контроль работы отдельных аккумуляторов.

Для разрабатываемой системы контроллером верхнего уровня является бортовая вычислительная машина (БВМ). Она производит контроль работоспособности и управление блоком электроники АБ. БВМ должна накапливать и отправлять на Землю телеметрическую информацию о работе батареи. ЛИАБ построена по последовательно-параллельной схеме. Состояние АБ в виде сигнала «Норма», «Не норма», «Авария» определяется на основании информации о температуре и напряжении, поступающей в СКУ. Низшее и среднее звено СКУ фактически объединены и находятся в одном микропроцессорном блоке.

СКУ анализирует пять аналоговых значений напряжения и два аналоговых сигнала с термодатчиков. После оцифровки и анализа параметров вырабатывается телеметрическая информация, которая формируется в виде ответного кадра и передается по шине МКО в БВМ.

Функционал СКУ также можно расширить добавив дополнительные возможности:

- формирование команд для системы терморегуляции КА;
- формирование команд для выравнивания напряжений и подзаряда АБ;
- расчет емкости каждого аккумуляторного блока.

Причиной проявления разбаланса аккумуляторных блоков является разная скорость саморазряда. Это происходит как по электрическим, так и по химическим причинам. Есть несколько методов выравнивания напряжений:

- параллельный заряд ЛИА;
- заряд с последовательным отключением полностью заряженных АБ;
- шунтирование заряженных АБ электронной схемой;
- выравнивание посредством перераспределения энергии между АБ;
- подзаряд АБ с напряжением меньше среднего.

Наиболее простым и зарекомендовавшим себя методом является параллельный заряд ЛИА. Каждый аккумулятор заряжается по схеме СС/СУ. Можно использовать одно ЗУ с управляемыми ключевыми элементами или многоканальное ЗУ, позволяющее ограничивать ток каждого канала. Также можно использовать ЗУ с гальваническими развязанными выходами.

Для высоковольтных батарей желательно применять отключение заряженных АБ от цепи заряда. Последовательно соединенные ЛИА заряжаются максимальным током, при превышении напряжения ЛИА отключается и продолжается заряд оставшейся части ЛИАБ. Затем ток заряда уменьшается и процедура повторяется. Такая система усложняет СКУ, но позволяет отключать наиболее разряженные или вышедшие из строя аккумуляторы.

Последовательный заряд может происходить и без отключения ЛИА от зарядной цепи при шунтировании ее электронной схемой. В таком случае к ЛИА параллельно подключается схема стабилизации напряжения при заряде остальной части ЛИАБ. Заряд продолжается, пока напряжение всех ЛИА не выйдет на заданный уровень, затем ток ступенчато уменьшают, повторяя циклы заряда. Этот метод проще в реализации, но связан с повышенными потерями энергии в ЛИАБ и, как следствие, разогревом.

Наиболее сложными в технической реализации являются трансформаторные схемы выравнивания напряжений. Число обмоток равное количеству ЛИА наматывается равным числом витков и через блок коммутации подключается к ЗУ. Тогда выравнивание напряжения происходит индуктивно.

ПОДВИЖНЫЕ ТОКОСЪЕМЫ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*А.К. Надкин,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»*

Проблема токопередачи между вращающимися друг относительно друга частями электрической цепи занимает особое значение во многих разделах электромеханики. Подвижный токосъем является составной частью электромеханических систем различных типов. В космической электромеханике он занимает важное место, являясь частью системы электроснабжения космического аппарата, и обеспечивает транзит электрической энергии от вращающихся солнечных батарей к внутренним системам. Подвижный токосъем чаще всего встречается в составе машин постоянного тока, представляя собой систему из щеток на основе графита и медного коллектора. В асинхронных машинах с фазным ротором подвижный токосъем представлен в виде щеток,

скользящих по контактными кольцам. Наибольшую значимость подвижный токосъем занимает в униполярных машинах, эффективность работы которых практически полностью определяется потерями в токосъеме. Широкая область применения и высокие требования, предъявляемые к токосъемам, являются причиной того, что исследования проблем токопередачи являются актуальными на всех этапах развития науки и техники. Традиционно подвижный токосъем представляется в виде системы из графитовых щеток, скользящих по контактной поверхности – коллектору или контактными кольцам. Однако, несмотря на простоту конструкции, такие токосъемы отличаются высокими электрическими и механическими потерями, что существенно ограничивает область их применения. С целью минимизации этих потерь был разработан токосъем на основе жидкого металла. Достоинствами такого токосъема являются быстроходность (80 – 200 м/с), высокая плотность тока порядка 10^7 А/м², хорошие условия охлаждения. Малые электрические потери являются следствием небольшого переходного падения напряжения, а механические – малым трением. Обычно в качестве контактных жидкостей выступает ртуть или легкоплавкие сплавы, например Na-K, Ga-In-Sn. Среди недостатков жидкометаллических токосъемов отмечают высокую сложность конструкции, токсичность жидкого металла, наличие гидродинамических и магнито-гидродинамических потерь и др. Альтернативой указанным выше токосъемам является катящийся токосъем, который выгодно отличается от жидкометаллического простотой конструкции, а от щеточного – меньшими значениями механических потерь при меньших или равных значениях электрических потерь. В настоящее время именно к данному типу токосъемов обращено внимание большинства исследователей.

Для определения свойств катящегося токосъема был создан его макет на основе роликовых конических подшипников. Проведены эксперименты по снятию зависимости сопротивления токосъема от частоты вращения, величины постоянного тока и силы поджатия токопроводящих роликов. Относительное сопротивление роликов определяется выражением (1)

$$R_{\text{отн}} = \frac{M[R_{\text{КТ}}] \cdot \frac{n_{\text{рол.пар}}}{n_{\text{рол.пос}}}}{l_{\text{рол}}} \quad (1)$$

где $\rho_{\text{рол}}$ (Ом/м) – удельное контактное сопротивление ролика, $M[R_{\text{КТ}}]$ (мОм) – математическое ожидание сопротивления катящегося токо-схема (по данным рисунка 2.15), $n_{\text{рол.пар}}$ – количество роликов, включенных параллельно, $n_{\text{рол.пос}}$ – количество роликов, включенных последовательно, $l_{\text{рол}}$ (мм) – длина ролика.

По значениям, полученным с использованием выражения (1) построены зависимости относительного сопротивления ролика от частоты вращения и усилия поджатия при различных по величине токах (рис. 1).

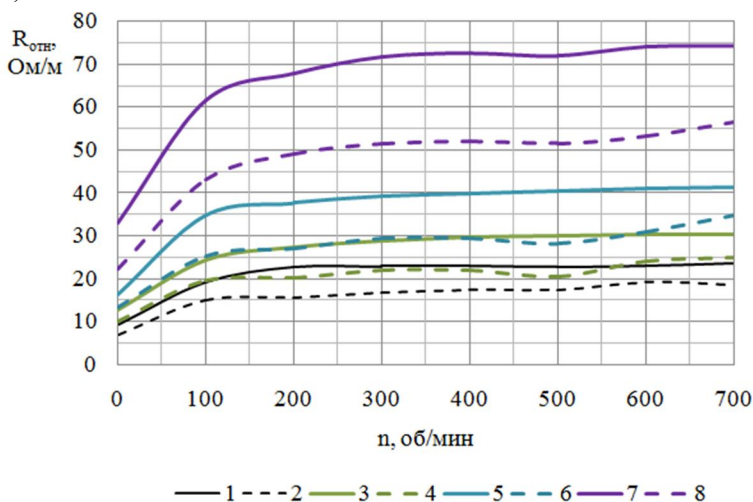


Рис. 1. Зависимость относительного сопротивления роликов от частоты вращения при: 1 – удельный ток $I=(0,318, 0,358)$ А/мм, сила поджатия $F=3,43$ Н; 2 – удельный ток $I=(0,330, 0,367)$ А/мм, сила поджатия $F=23,03$ Н; 3 – удельный ток $I=(0,252, 0,284)$ А/мм, сила поджатия $F=3,43$ Н; 4 – удельный ток $I=(0,261, 0,294)$ А/мм, сила поджатия $F=23,03$ Н; 5 – удельный ток $I=(0,180, 0,206)$ А/мм, сила поджатия $F=3,43$ Н; 6 – удельный ток $I=(0,182, 0,208)$ А/мм, сила поджатия $F=23,03$ Н; 7 – удельный ток $I=(0,097, 0,108)$ А/мм, сила поджатия $F=3,43$ Н; 8 – удельный ток $I=(0,100, 0,110)$ А/мм, сила поджатия $F=23,03$ Н;

Из полученных на рис. 1 результатов следует, что переходное контактное сопротивление зависит от величины проходящего через него тока и от силы поджатия. При большем токе сопротивление токосъема оказывается меньшим, что может быть объяснено большей интенсивностью процессов, имеющих место в зоне контакта, а именно, туннельного эффекта и образования мостиков проводимости.

Влияние силы поджатия на величину переходного контактного сопротивления исследовано отдельно, при токе 0,5 А, исключаяющем нагрев токосъема. Полученная зависимость сопротивления от силы показана на рис. 2.

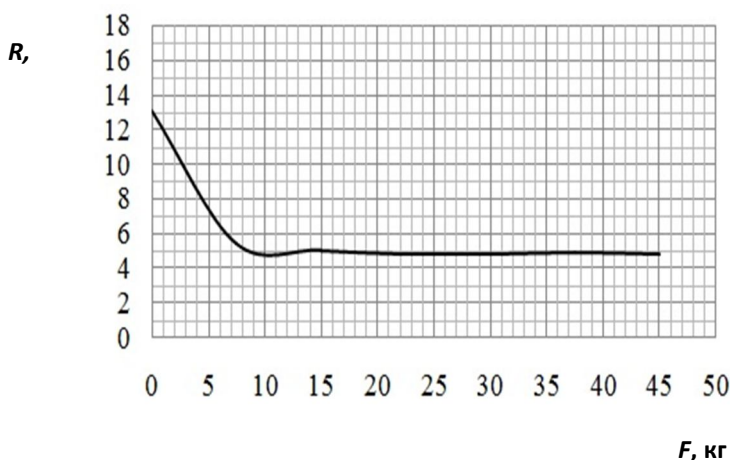


Рис. 2. Зависимость контактного сопротивления от усилия сжатия

Выводы

1. Проведен сравнительный анализ подвижных токосъемов различных типов. Показано, что катящийся токосъем выгодно отличается простотой конструкции и малыми потерями.

2. Экспериментальным способом определены зависимости сопротивления модели катящегося токосъема от частоты вращения и силы поджатия. Из полученных результатов следует, что катящийся токосъем способен стать альтернативой другим известным типам токосъемов.

3. Полученные результаты могут быть также использованы при анализе электрокоррозионной стойкости несущих роликовых подшипников электрических машин и электромеханических систем.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ NCR18650B ПРИ СОЗДАНИИ БАТАРЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.И. Груздев, Г.А. Жемчугов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Одной из приоритетных задач увеличение удельных энергетических характеристик аккумуляторных батарей (АБ), масса которых может составлять до 50 % от массы всей системы электроснабжения.

Решить эту задачу можно только используя литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), которые в настоящее время имеют наиболее высокую удельную энергоемкость, реализованную на серийных образцах. В частности, фирма ABSL Space Products (Англия) показала перспективность использования промышленных аккумуляторов фирмы Sony ЛИА 18650 НС емкостью 1,5 А·ч для создания высокоэнергоемких батарей с большим сроком службы и высокой надежностью работы в составе КА.

В данной работе проведено исследование возможности использования ЛИА NCR18650B фирмы Panasonic для создания АБ для СЭС КА ДЗЗ. Этот ЛИА имеет встроенный механический размыкатель (CID), разрывающий его силовую цепь при повышении внутреннего давления, что позволяет организовать защиту АБ от отказов единичных аккумуляторов.

Проведенные комплексные испытания партии из более 1500 аккумуляторов показали, что они:

- не только обладают высокой удельной энергией (240 Вт·ч/кг), но и благодаря большому объему и высокой культуре производства, имеют отличную воспроизводимость основных параметров: средне-квадратичное отклонение для емкости – 1,7 %, для $R_{вн}$ – 3 % (рис. 1);
- имеют очень низкий саморазряд: за 4500 часов хранения снижение НРЦ составило около 10 мВ, за 12000 часов – порядка 20 мВ, при-

чем среднеквадратичное отклонение в скорости саморазряда для партии из 750 аккумуляторов составило менее 7 %;

- работоспособны в условиях пониженного (до $1 \cdot 10^{-6}$ Па) давления;
- устойчивы к воздействию радиационных факторов открытого космического пространства;
- обладают необходимой устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям, имеющим место при транспортировке и выведении КА на орбиту;
- успешно прошли тесты на безопасность: перезаряд, короткое замыкание, принудительный разряд (переполусовка).

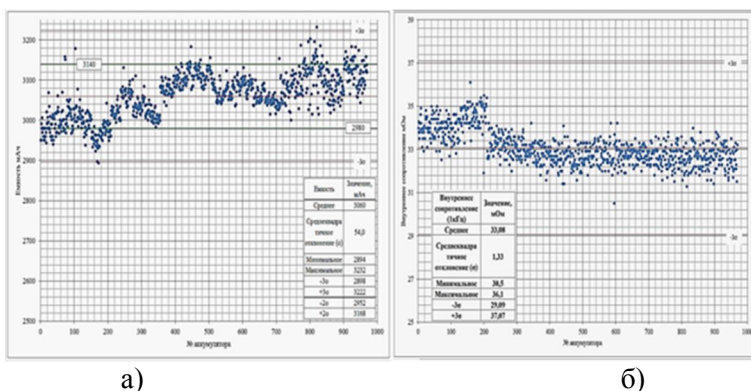


Рис. 1. Значения емкости (а) и внутреннего сопротивления партии ЛИА

Экспериментально подтвержден ресурс ЛИА при глубоком разряде (80 %) – 1400 циклов. При испытаниях на циклический разряд глубиной 23% при наработке более 9000 циклов снижение напряжения окончания разряда за 24 месяца составило порядка 1,4 % (рис. 2).

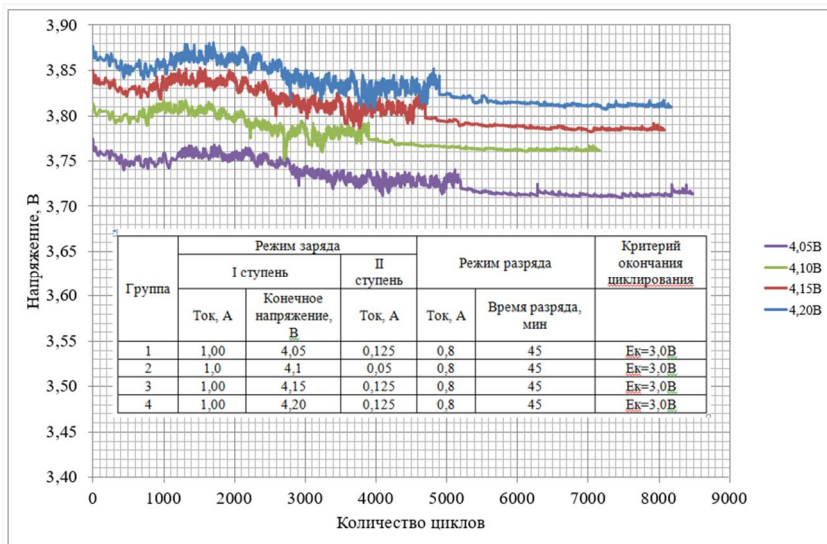


Рис. 2. Напряжения окончания разряда для 4-х групп ЛИА

Таким образом результаты выполненных АО «Корпорация «ВНИИЭМ» комплексных исследований подтверждают перспективность использования ЛИА NCR18650В фирмы Panasonic для создания высокоэнергоемких отказоустойчивых батарей с большим сроком службы при работе вне гермоотсека КА. Проведенные ресурсные испытания позволяют прогнозировать ресурс их работы в составе АБ более 30000 циклов.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПОСРЕДСТВОМ НИВЕЛИРОВАНИЯ РАЗБАЛАНСА ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*В.Е. Никифоров,
Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН),
г. Москва, г. Троицк*

Одними из основных элементов служебных систем КА являются буферные химические батареи (БХБ), которые не только определяют срок активного существования объектов, но и имеют наибольшие

массу и габариты из всех служебных систем. Вследствие этого повышение эффективности использования БХБ в составе систем электроснабжения (СЭС), в частности, за счет нивелирования разбаланса отдельных элементов батарей, является актуальной задачей, т. к. позволяет улучшить массогабаритные показатели систем, увеличить ресурс, повысить энергоотдачу, обеспечить более высокую надежность.

Разбаланс характеристик отдельных аккумуляторов свойственен для всех типов химических источников тока (ХИТ) и обусловлен необходимостью последовательно-параллельного соединения отдельных аккумуляторов, изначально различающихся собственным внутренним сопротивлением, емкостью, уровнем саморазряда и т.д., в единую батарею для обеспечения требуемых электрических параметров накопителя. Имеющий минимальную величину при комплектации (порядка 3–5% от номинальной емкости для ответственных применений), разбаланс увеличивается в несколько раз по мере эксплуатации и циклирования батарей, что приводит к таким необратимым последствиям, как газовыделение отдельных элементов при перезаряде и переполюсовка при разряде батареи, что резко снижает срок службы элементов и батарей в целом, а также уменьшает разрядную емкость батарей.

На ряде эксплуатирующихся объектах для снижения разбаланса батарей применяют различные средства и способы, в том числе режимные, например, используя алгоритм регулируемого перезаряда никель-водородных элементов в системах, содержащих централизованные регуляторы заряда батарей. Для литий-ионных батарей наиболее распространенным аппаратным решением является селективное шунтирование избыточной зарядной мощности отдельных элементов, т.н. «балансировка».

Несмотря на доступность и кажущуюся несложность технической реализации названных «пассивных» аппаратных средств балансировки, обеспечивающих защиту элементов батарей от перезаряда, они имеют ряд ограничений и недостатков, в том числе:

- низкую энергетическую эффективность вследствие необходимости преобразования всей энергии разбаланса в тепло, утилизация которого на автономных объектах часто является самостоятельной и достаточно сложной задачей;

- балансировка производится по слабейшему аккумулятору в батарее, шунтируя избыток энергии с наилучших элементов, вследствие чего полная энергоемкость батарей аккумуляторов недоиспользуется;
- работа в активном режиме устройств выравнивания происходит ограниченное время и только в режимах заряда батареи, а в режимах НРЦ и разряде разбаланс увеличивается;
- при селективном дискретном управлении силовыми ключами пассивных балансиров требуется применение поэлементного контроля напряжений отдельных аккумуляторов, что усложняет аппаратуру регулирования и увеличивает количество проводов в батарее;
- обеспечивается сравнительно невысокая скорость балансировки, при этом длительность процесса балансировки достаточно велика, что влияет на динамику управления систем и ограничивает применение пассивных средств балансировки при проведении оперативных действий в системах.

Устранение перечисленных недостатков «пассивных» средств балансировки возможно путем применения высокоэффективных, практически без потерь энергии, «активных» устройств нивелирования разбаланса, например, типа ЭЛНИ (электронный нивелир разбаланса), функционирование которых основано на высокоэффективном перераспределении энергии разбаланса с элементов, имеющих повышенную энергоемкость в элементы с пониженной энергоемкостью. Устройства обеспечивают двунаправленную передачу энергии разбаланса во всех эксплуатационных режимах работы батарей, включая режим НРЦ (напряжение разомкнутой цепи), заряда, разряда, подзаряда, буферных режимах, при циклировании батарей, независимо от уровня их рабочих токов. Это обеспечивает относительно одинаковые, близкие к оптимальным, условия эксплуатации для отдельных элементов, входящих в батареи и повышает срок службы батарей, приближая его к сроку службы отдельных элементов.

В настоящий момент созданы различные модификации устройств нивелирования для батарей, состоящих из 3, 5, 10, 22, 30 последовательно соединенных элементов номинальной емкостью от 4 до 300 А·Ч для батарей, состоящих из никель-кадмиевых герметичных, литий-ионных, литий-железосфатных и других типов аккумуляторов, а также для батарей ионисторов (суперконденсаторов).

Опыт эксплуатации и эксперименты по выравниванию напряжений на образцах батарей посредством ЭЛНИ и их модификаций показали, что в номинальных режимах обеспечивается скорость «выравнивания» напряжений не менее $(30 \div 90)$ мВ/час при начальной величине разбаланса элементов батарей по напряжениям порядка 0,3 В и конечной величине не выше 5 мВ. При этом модули ЭЛНИ допускают последовательное и параллельное включение, что позволяет их использовать для батарей практически любой номенклатуры и состава ХИТ, в том числе для гибридных накопителей.

Применяемые в устройствах схемотехнические решения в достаточной степени унифицированы и не накладывают принципиальных ограничений на количество элементов в последовательной цепи батарей, тип используемых аккумуляторов, абсолютные уровни выравниваемых напряжений, рабочие и зарядно-разрядные токи батарей.

Таким образом, при сравнительно высоких массогабаритных характеристиках и высокой надежности, активные модули нивелирования разбаланса типа ЭЛНИ повышают энергетические характеристики и ресурс аккумуляторных батарей, позволяют увеличить срок их службы в несколько раз по сравнению с традиционными решениями, доведя его до показателей, характерных для отдельных элементов.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЙ ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

¹ В.В. Ганченко, ¹ А.А. Дудкин, ¹ Е.Е. Марушко,

² С.А. Золотой, ² С.Н. Чарин,

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

²НИРУП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси, г. Минск

В докладе рассматривается задача прогнозирования параметров системы электроснабжения (СЭС) космических аппаратов с использованием ансамблей нейронных сетей по поступившей телеметрической информации (ТМИ).

В состав СЭС входят: модуль регулирования и распределения мощности; батарея солнечная (БС); литий-ионная аккумуляторная батарея (АБ).

БС со временем деградируют под действием следующих факторов:

метеорная эрозия уменьшающая оптические свойства поверхности фотоэлектрических преобразователей; радиационное излучение, особенно при солнечных вспышках и при полёте в радиационном поясе Земли; термические удары из-за охлаждения конструкции на затенённых участках орбиты и нагрева на освещённых и наоборот. Литий-ионные АБ неизбежно начинают стареть с момента их производства. Происходит это из-за деградации силовых модулей в аккумуляторе как из-за присутствующих химических процессов, так и под воздействием постоянных циклов перезарядки. Скорость деградации зависит не только от внешних факторов, но и от режимов эксплуатации. Вышеперечисленное означает, что время эффективной работы СЭС ограничен и прогноз состояния позволяет проводить мониторинг и увеличивать ресурс системы.

Состояние СЭС описывается набором телеметрических данных: токи заряда и разряда батарей, напряжения батарей, напряжение шины питания и электрические параметры различных компонент системы. Данный набор представляет собой многомерный временной ряд, а прогнозирование состояний СЭС сводится к решению задачи прогнозирования данного многомерного ряда или отдельных рядов.

Задача прогнозирования многомерного временного ряда в общем виде формулируется следующим образом: по известному текущему значению последовательности $y(k)$ и некоторой предыстории $y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-m)$ дать оценку следующего значения $\hat{y}(k+1)$. Каждый элемент последовательности $y(k)$ представляет собой набор значений в момент k . Длина предыстории m , которая используется для прогнозирования, называется временным окном. При этом для задачи обучения с учителем формирование пар обучающих примеров <входной вектор, желаемый выходной вектор> осуществляется по принципу скользящего окна: берется отрезок временного ряда (окно) длиной m и из него формируется входной вектор. Значением желаемого выхода в обучающем примере будет следующее по порядку наблюдение. Затем окно сдвигается на одну позицию в направлении возрастания времени, и процесс формирования следующей пары обучающей выборки повторяется.

Широкое распространение для решения задач прогнозирования находит нейросетевой подход, так как он позволяет моделировать за-

висимости между данными в результате обучения на примерах. При этом эффективность использования нейронных сетей (НС) зависит от архитектурных решений и методов обучения.

В данной работе представлена нейросетевая модель на основе ансамблей нейронных сетей (АНС) для доловременного прогнозирования телеметрических параметров СЭС. АНС – это набор НС, принимающего решения путем оценки результатов работы отдельных НС.

В предлагаемой модели выходное значение АНС формируется как взвешенная сумма выходов отдельных НС. В качестве базового элемента АНС используется многослойный персептрон с одним скрытым слоем с нелинейной функцией активации *гиперболический тангенс*. Размер скрытого слоя определяется поиском на интервале с использованием 8-кратной перекрестной проверки. Обучение одиночной НС осуществляется алгоритмом RPROP. АНС включает 20 базовых элементов.

Для реализации долгосрочного прогнозирования в вычисляются интервальные оценочные параметры ТМИ каждого датчика. Были определены следующие параметры: минимальное значение на интервале; максимальное значение на интервале; среднее значение на интервале. Интервал вычисления параметра равен 24 часа. Окно прогнозирования выбрано равным 90 отсчетам. Выполнялся прогноз для значения через 30 дней.

Эксперимент показал, что: наименьшая среднеквадратическая ошибка среднего значения параметров на интервале при прогнозировании ТМИ, формируемой датчиками СЭС, для напряжения АБ составляет 0,01, для напряжения шины питания 0.008, для тока заряда АБ 0.02.

Описанная нейросетевая модель предоставляет интеллектуальный инструмент решения задач прогнозирования ТМИ для разрабатываемого в ОИПИ НАН Беларуси совместно с центром управления полетами БКА экспериментального образца нейросетевой системы мониторинга состояния подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ: ОТ КА «РЕСУРС-ДК» К МКА «АИСТ-2Д»

*С.В. Ивков,
АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»*

ДВИГАТЕЛЬ-МАХОВИК С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Р.С. Городецкий, В.Н. Кубрак, В.Н. Кузьмин,
В.В. Некрасов, И.В. Соколуни, М.Ю. Щетинин,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Разрабатывается двигатель-маховик для использования в качестве исполнительного органа систем ориентации и стабилизации высокодинамичных космических аппаратов. При относительно малых массогабаритных показателях, двигатель-маховик создает управляющий момент 1000 мНм, что обеспечивает высокие динамические характеристики космических аппаратов. Двигатель-маховик имеет пониженное возмущающее воздействие на космический аппарат обеспеченное конструкцией.

Благодаря микроконтроллерному управлению появились новые возможности, по сравнению с предыдущими аналогами данного изделия, разработанными в АО «Корпорация «ВНИИЭМ». Впервые применен инновационный алгоритм установки и стабилизации заданной скорости вращения ротора, позволяющий осуществлять (во всем диапазоне скоростей) в 3,5 раза быстрее выход и стабилизацию заданной скорости по сравнению с классической системой ПИД-регулирования.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТРОЙСТВА ПОВОРОТНОГО СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*Д.О. Якимовский, Д.С. Положенцев,
Д.И. Джуквич,
АО «Научно-исследовательский институт командных приборов»,
г. Санкт-Петербург*

Современный исполнительный электропривод (ИЭП) устройства поворотного солнечной батареи (УПСБ) космического аппарата (КА) характеризуется низкими рабочими скоростями вращения выходного вала (ВВ), которые могут быть на уровне десятых, сотых и даже тысячных долей градуса в секунду. Другой особенностью ИЭП УПСБ является наличие требования по ограничению ускорения вращения ВВ и наличие высокого момента сухого трения, возникающего в контактно-щеточном устройстве передачи энергии от солнечной батареи к системе энергообеспечения КА. Высокие требования по ограничению габаритно-массовых характеристик бортовых приводов, стойкости к факторам космического пространства, длительный срок активного существования КА существенно влияют на структуру и состав электропривода. Современные бортовые электропривода строятся на основе вентильного двигателя. Для обеспечения требуемой точности и динамики работы привода, а также функционирования вентильного электродвигателя, используют один измеритель углового положения. Его разрешающая способность ограничена указанными требованиями и обычно не превышает 16 – 18 разрядов.

В данной работе рассмотрены вопросы создания ИЭП УПСБ, включающий в состав индукционный датчик угла с малой разрешающей способностью. В качестве примера рассматривается привод, который должен создавать угловую скорость ВВ в диапазоне $\pm (0; 0,0039...0,5)^\circ/\text{с}$, при этом дискретность не более $0,000244^\circ/\text{с}$. Значение углового ускорения вращения ВВ должно быть в диапазоне от $0,0012$ до $0,01^\circ/\text{с}^2$, а погрешность создания угловой скорости в установившемся режиме должна быть не более 10 % для всего диапазона. Момент сухого трения на валу может достигать $0,4$ Нм, внешний возмущающий момент от $-0,3$ до $0,3$ Нм.

Структурная схема такого ИЭП УПСБ представлена на рис. 1, где И – интегратор скорости; РУ – регулятор контура угла; ВШИМ – векторный широтно-импульсный модулятор; КУМ – ключевой усилитель мощности; ДВ – двигатель; СБ – солнечная батарея; ДУ ВВ – датчик угла ВВ; ЭП ДУ ВВ – электронный преобразователь датчика угла выходного вала; УС – устройство сопряжения; МК – микроконтроллер; БУУП – блок управления устройством поворотным; ИЭП – исполнительный электропривод; N_ω – код задаваемой угловой скорости вращения ВВ; – расчётный код поворота ВВ; ΔN_ϕ – сигнал рассогласования

контура угла; – входное значение кода ВШИМ; T_a ; T_b ; T_c – длительности сигналов ВШИМ, управляющие КУМ; – амплитудные значения линейных напряжений подаваемых на двигатель; $a_{ВВ}$ – значения углового положения ВВ; – значения угловой скорости СБ; – значение упругого момента создаваемого СБ; – код измеренного угла поворота ВВ; МПИ – магистральный последовательный интерфейс.

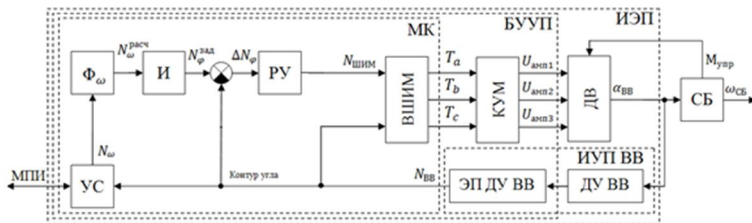


Рис. 1. Структурная схема ИЭП УПСБ

На рис. 2 представлен результат экспериментальной отработки ИЭП УПСБс инерционной нагрузкой задаваемых скоростей вращения $+0,5^\circ/\text{с}$, соответственно. Видно, что ускорение, как и скорость, контролируется системой управления с достаточно высокой точностью.

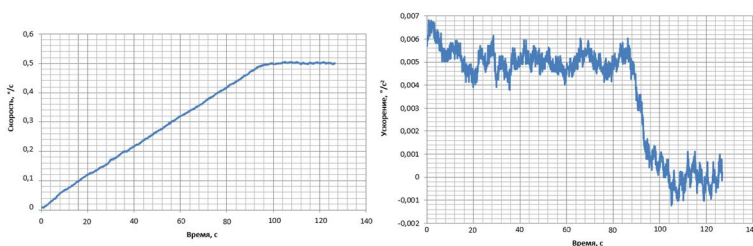


Рис. 2. Отработка реальным ИЭП УПСБ скорости вращения $+0,5^\circ/\text{с}$

Таким образом, результаты моделирования и испытаний опытных образцов ИЭП УПСБ показали эффективность принятых схемотехнических решений. Предложенная структура привода позволяет обеспечить точное управление скоростью вращения с управляемым значением ускорения в условиях действия большого нестабильного момента сухого трения.

ХОЛЛОВСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ЗАБОРТНОМ ВОЗДУХЕ ДЛЯ СПУТНИКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Д.В. Духопельников, С.Г. Ивахненко,

В.А. Рязанов, С.О. Шилов,

*Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования*

«Московский государственный технический университет

имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана),

г. Москва

В современной космонавтике растет интерес к использованию спутников, находящихся на низкой околоземной орбите (НОО) для дистанционного зондирования Земли. На сегодняшний день спутники на НОО составляют около 75 % от всех космических аппаратов (КА). Длительное нахождение КА на орбитах от 150 до 250 км требует постоянной работы двигательной установки для компенсации торможения в остаточной атмосфере Земли. Поэтому основным фактором, определяющим ресурс подобного КА, будет запас рабочего тела двигателя. Для электроракетного двигателя решить этот вопрос можно используя в качестве рабочего тела забортный воздух. В работе рассматривается возможность применения в качестве двигателя КА на НОО холловский двигатель, работающий на смеси азота и кислорода.

Принципиальная схема двигателя на забортом воздухе представлена на рис. 1.

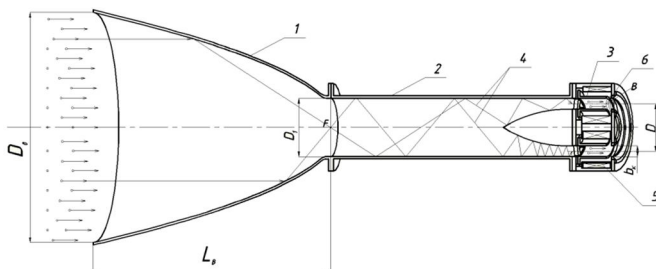


Рис. 1. Принципиальная схема двигательной установки на забортом воздухе: 1 – конфузор, 2 – воздушный канал; 3 – анод; 4 – траектории движения частиц; 5 – магнитная система, 6 – ускорительный канал.

Забортный воздух не является типичным веществом для холловского двигателя. Поэтому для дальнейшего проектирования необходимо для всего возможного диапазона высот определить базовые характеристики двигателя, такие как: средний диаметр канала, напряжение зажигания и т. д. В свою очередь для определения диапазона возможных высот необходимо ввести ряд ограничений:

1. Недостаточный расход рабочего тела через ускорительный канал.
2. Избыточный расход газа через канал.
3. Возможности бортовой системы электропитания.
4. Габариты космического аппарата.

Будем считать, что в разряде действует механизм диффузии электронов к аноду за счет упругого рассеяния на нейтральных частицах плазмообразующего газа, а ионизация нейтральных частиц происходит из основного состояния электронным ударом.

Исходя из экспериментальных данных и принимая во внимание, точно в воздухозаборнике и воздушном канале будут происходить сжатие и термализация смеси, примем долю кислорода a_{O_2} в смеси равной $1/3$, а азота – $a_{N_2}=2/3$. Зависимости сечений ионизации и упругого рассеяния для электронных столкновений с молекулами кислорода и азота определим по данным. Объемные скорости столкновений электронов Σ_{ea} и ионизации Σ_i рассчитаем согласно.

Для установленного значения вероятности ионизации $P=0,5$ частицы при пролете через анодный слой находим минимальную плотность тока нейтральных частиц j_{amin} :

$$j_{amin} = 1,6 \cdot 10^{-7} \frac{B}{A} \sqrt{\frac{T_a}{\Sigma_{ea} \Sigma_i}}, \quad (1)$$

где T_a – температура газа К, $A=29$ а.е.м. – средняя атомная масса воздуха, B – величина индукции магнитного поля, Тл.

Максимальная плотность потока j_{amax} , при которой перестает выполняться ограничение 2:

$$j_{a \max} = 4 \cdot 10^{-6} \frac{B}{\beta_{\min} \Sigma_{ea}} \sqrt{\frac{T_a}{A}}, \quad (2)$$

где $\beta_{\min}$ – минимальное значение параметра Холла, необходимое для эффективной работы двигателя.

Были показаны зависимости силы тяги, ускоряющего напряжения и подводимой к двигателю мощности от высоты орбиты, при условии обеспечения необходимой силы тяги для поддержания КА на заданной орбите. Воспользовавшись этими зависимостями, определим средний диаметр канала D для заданной высоты орбиты h как:

$$D(h) = \sqrt{\frac{ep_{Air}(h)}{kT_{Air}(h)} \frac{V_{KA}(h)S_0}{j_{a \min} \pi \delta}}, \quad (3)$$

где S_0 – входная площадь конфузора, m^2 , $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $p_{Air}(h)$ и $T_{Air}(h)$ – давление и температура воздуха на высоте орбиты h , $V_{KA}(h)$ – скорость КА, $\delta = 0,15-0,2$ – отношение ширины канала к среднему диаметру.

Степень сжатия воздушного потока в конфузоре, необходимая на заданной высоте для создания необходимого потока частиц равна:

$$\alpha_K(h) = \left(\frac{D_0}{D_1(h)} \right)^2 = \left(\frac{D_0}{D(h)(1+\delta)} \right)^2. \quad (4)$$

При этом длина параболического воздухозаборника может быть вычислена по формуле:

$$L_B(h) = \frac{D_1(h)}{2} (\alpha_K(h) - 1) \approx D(h) \frac{\alpha_K(h)}{2} \quad (5)$$

Габаритные размеры конфузора ограничены размерами головного обтекателя и с учетом существующих возможностей не могут превышать 3 – 3,5 м, а создание двигателя со средним диаметром канала меньше 40 мм связано с конструктивными и технологическими слож-

ностями (размерами изоляторов, разъемов и т. д.). С учетом указанных ограничений максимальные степени сжатия, которые могут быть конструктивно обеспечены, составляют около 100.

Выводы

Показано, что использование холловского двигателя с анодным слоем на забортном воздухе возможно на высотах от 200 до 300 км. При этом требуемая потребляемая мощность двигательной установки будет составлять от 400 до 2000 Вт в указанном диапазоне высот при площадях поперечного сечения КА от 1 до 3 м². Минимальные ускоряющие напряжения для поддержания КА на заданной орбите составляют от 150 до 250 В. Характерные значения диаметра канала двигателя лежат в диапазоне от 60 до 120 мм. Требуемые степени сжатия в конфузоре составляют от 20 до 70 в зависимости от высоты орбиты.

Финансовая поддержка

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-38-00776\16 от 25.02.2016 г.

МАГНИТНО-ГИРОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ МАЛОГО КА

*С.Г. Макеев, Л.И. Нехамкин, В.С. Рябиков,
АО «ВНИИЭМ», г. Истра*

Для осуществления непрерывного оперативного мониторинга радиационных условий в околоземном космическом пространстве необходимо иметь группировку МКА (100 кг), находящихся на круговых орбитах разной высоты.

Для реализации проекта для всех космических аппаратов группировки требуется создать универсальную, сравнительно недорогую, простую в изготовлении и эксплуатации систему ориентации, способную работать в большом диапазоне высот (300...8000 км) и наклонений орбит (45...135°).

К системе ориентации предъявляются следующие основные требования:

- поддержание трехосной ориентации МКА в орбитальной системе координат (ОСК) в течение всего полета (а также начальное успокоение и приведение в ОСК из любого положения);
- небольшая масса (< 20 кг) и энергопотребление (< 25 Вт);

– высокая точность ориентации и стабилизации (для научных приборов) не требуется (допустимая погрешность 5° , $0,01^\circ/\text{с}$ на низких орбитах).

В данном докладе представлена магнитно-гироскопическая система ориентации (МГСО) малых космических аппаратов (МКА), разработанная АО «НИИЭМ» при участии ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Работа проводилась по договору с НИИЯФ МГУ в рамках НИР «Разработка научно-технических решений и методов создания малых (сверхмалых) космических аппаратов для осуществления радиационного мониторинга в околоземном космическом пространстве и космических систем на их основе в части разработки систем ориентации и стабилизации МКА» по соглашению с Минобрнауки России.

В результате проработки различных типов систем была выбрана, так называемая, магнитно-гироскопическая система ориентации. Она представляет собой активную магнитную систему ориентации, включающую трехосный магнитометр и три ортогональных электромагнита (ЭМ) соленоидного типа с линейным управлением. Кроме того, для улучшения характеристик системы, по оси тангажа установлен электродвигатель-маховик (ДМ), выполняющий функцию гиростабилизатора.

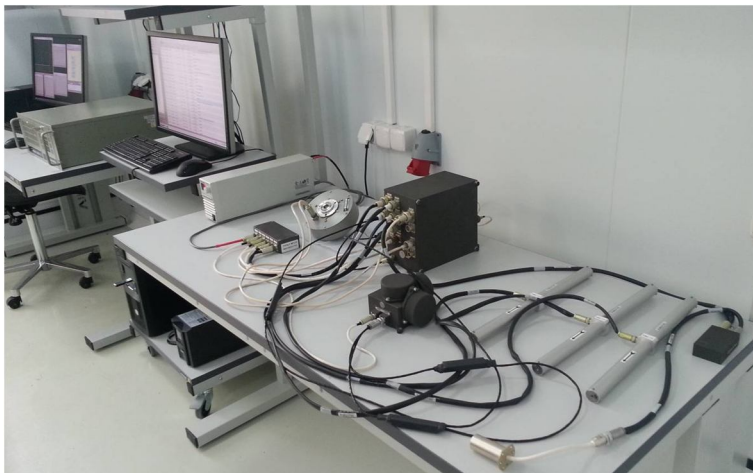
Управление ЭМ реализуется по принципу ПД-регулятора – с обратной связью по отклонению от ОСК (по углу и угловой скорости).

Определение текущей ориентации в МГСО реализуется по принципу бесплатформенной инерциальной системы (БИС) на основе оптоволоконного трехосного датчика угловых скоростей (ДУС). В БИС углы ориентации, получаемые интегрированием измеренных угловых скоростей, постоянно корректируются по измерениям магнитометра (по отклонению измеренного вектора геомагнитного поля относительно расчетного). Для расчета текущего вектора геомагнитного поля используется модель IGRF. Расчет текущего местоположения МКА и ориентации ОСК в этой точке выполняется по навигационным данным, поступающим в систему извне.

В результате работы была подтверждена возможность создания системы, с заданными характеристиками. Был изготовлен рабочий макет системы (без резервирования приборов). Масса макета – 10 кг, энергопотребление – до 15 Вт. В АО «Корпорация «ВНИИЭМ» (индустриальный партнер НИР) создан специальный стенд, на котором проведены совместные исследования динамических характеристик макета МГСО.

На основе результатов НИР разработан проект технического задания на ОКР.

Макет МГСО показан на рисунке.



Макет МГСО с исследовательским стендом в АО «Корпорация «ВНИИЭМ»

РАЗЪЁМНЫЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ АКТИВНЫЕ МОДУЛИ ПРОИЗВОДСТВА НПП «ОПТЭКС»

*А.М. Кузьмичев, А.Ю. Шиляев, Е.А. Несмаиный,
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС»,
г. Москва, Зеленоград*

Повышение степени интеграции блоков ОЭП привело к необходимости отказа от поразрядной передачи информации с выходов блоков через проводные жгуты параллельных шин передачи данных.

Встал вопрос о замене линий передачи информации, на более высокоскоростные линии. В результате комплексной оптимизации структуры построения бортовой аппаратуры КА ДЗЗ было принято решение о внедрении межсистемных волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП).

Благодаря внедрению ВОЛП улучшился ряд эксплуатационных характеристик систем дистанционного зондирования:

- повысилась помехоустойчивость линий связи к воздействию электромагнитных помех;
- возросла скорость передачи информации через единичную линию; (Например, на КА ДЗЗ «Ресурс-ДК», по одному проводному кабельному жгуту передавался поток не более 240 Мб/сек., а через один волоконный жгут на КА ДЗЗ «Ресурс-П» – до 960 Мб/сек., то есть в 4 раза больше.);
- существенно уменьшилась общая масса кабельной сети.

Использование волоконно-оптических линий связи позволило добиться максимально возможного снижения массогабаритных характеристик СППИ и общего количества межсистемных линий связи, а соответственно и количества соединителей (опторазъемов). Применение ВОЛП на борту КА устраняет побочные излучения при передаче данных по линиям связи и позволяет работать в условиях внешних жестких электромагнитных помех. Использование в ВОЛП одномодовых кварцевых оптических волокон обеспечивает высокую скорость передачи информации при высокой достоверности передаваемой информации. В отечественной практике на КА ВОЛП с подобными передаваемыми цифровыми потоками использованы впервые на КА ДЗЗ «Ресурс-П».

В настоящее время в НПП «ОПТЭКС» освоено производство ряда, как стандартных элементов ВОЛП (шнуров), так и оригинальных пассивных и активных компонентов собственной разработки.

Наряду с оптическим волокном, волоконно-оптическими соединителями, и другими пассивными компонентами, важнейшими изделиями ВОЛП являются высокоскоростные лазерные передающие и фотодиодные приемные волоконно-оптические активные модули, также изготавливаемые в НПП «ОПТЭКС». Характеристики разработанных компонентов ВОЛП находятся на уровне не ниже, а в ряде случаев и выше мировых достижений, что подтверждено патентами на изобретения.

Одним из ключевых элементов бортовых передающих, приемопередающих и приемных разъемных модулей ВОЛП являются передающие и приемные разъемные волоконно-оптические головки.

При постановке задач на проектирование высокоскоростных приемопередающих модулей с повышенными требованиями к скорости передачи информации до 5-ти более Гбит/сек. встал вопрос об использовании бортовых высокоскоростных разъемных лазерных головок с кристаллами лазерных диодов типа DFB. В результате проработки возможных конструктивных вариантов было принято решение о раз-

работке отечественной конструкции разъемной лазерной и фотодиодной головок.

В настоящее время в НПП «ОПТЭКС» ведутся работы по дальнейшему совершенствованию конструкции и технологии производства бортовых волоконно-оптических компонентов.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БАТАРЕЙ В SP- И PS-КОНФИГУРАЦИЯХ К ДЕГРАДАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

*А.И. Груздев, С.В. Давыдов, Г.А. Жемчужов, Е.О. Лебедев,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

В настоящее время перспективы развитие СЭС КА связаны с использованием литий-ионных АБ. Для низковольтных батарей малых КА, емкость которых обычно не превышает нескольких десятков ампер*часов, применение литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) большой ёмкости приводит к частичной или полной потере их работоспособности при отказе хотя бы одного ЛИА. Перспективный подход к созданию высокоэнергоемких АБ с большим сроком службы при работе вне гермоотсека КА заключается в использовании ЛИА габарита 18650 индустриального применения в сочетании с оптимальными конфигурациями АБ. Сегодня, благодаря развитию литий-ионных технологий, ёмкость таких аккумуляторов достигает 3 и более А·ч, а удельная энергоемкость – 250 Вт·ч/кг.

В данной работе проведено исследование и сравнительный анализ устойчивости батарей в SP (последовательно-параллельной) и PS (параллельно-последовательной) конфигурациях к потерям ёмкости и повышению внутреннего сопротивления ($R_{вн}$) восьми единичных ЛИА. Расчеты проведены для изменений ёмкости ЛИА от $C_{ном}$ до 0, $R_{вн}$ – до 3-х раз, а также значения в 1 МОм, соответствующего обрыву внутренней цепи ЛИА.

Был проведен анализ емкости и внутреннего сопротивления батарей в конфигурациях 8S8P и 8P8S для 1000 случайных распределений восьми деградирующих ЛИА. Возможные распределения ЛИА в АБ были получены с помощью генератора случайных чисел.

Наиболее информативными являются те результаты, которые отражают поведение АБ в критических условиях, то есть при полной деградации ёмкости восьми ЛИА или при обрыве внутренней цепи АБ. При $C_{ном}$ в условиях полной ($C_{ЛИА} = 0$) деградации ёмкости 8-ми единичных аккумуляторов было просчитано изменение ёмкости АБ для заданных конфигураций. Полученные данные представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, для АБ в PS- конфигурации ёмкость в 99 % случаев не менее 50 % от начальной ёмкости. В тоже время АБ в SP-конфигурации имеет такую ёмкость имеет только 14,5 % случаев, причем в некоторых вариантах распределения деградировавших ЛИА АБ теряет ёмкость полностью.

Для той же выборки из 1000 вариантов проведен расчет внутреннего сопротивления АБ при обрыве внутренней цепи 8-ми единичных аккумуляторов. Часть полученных результатов расчета представлена на рис. 2.

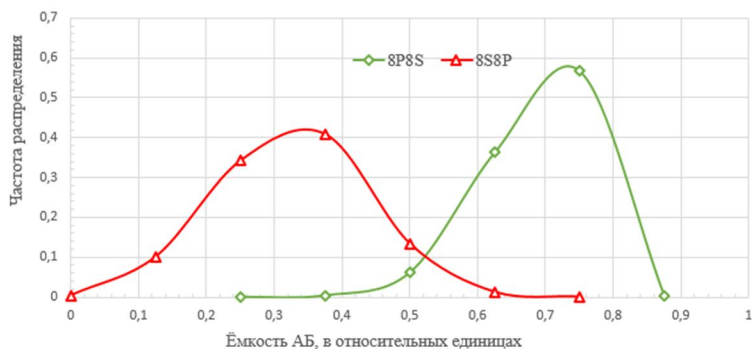


Рис. 1. Частотное распределение ёмкости АБ при полной деградации ёмкости восьми ЛИА

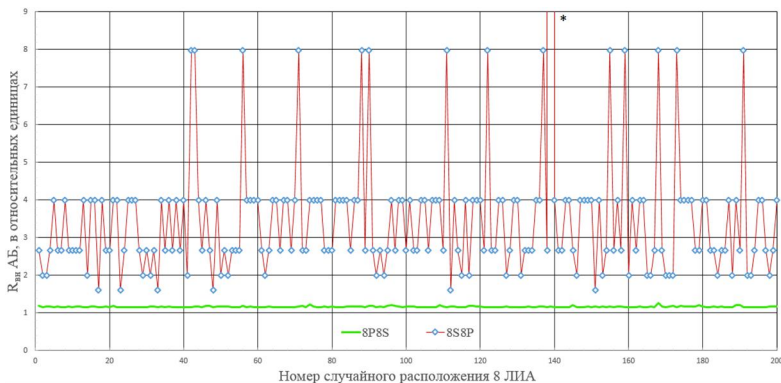


Рис. 2. Диаграмма распределения $R_{вн}$ АБ при обрыве внутренней цепи ЛИА
для части выборки (*показано значение $R_{вн} \sim 1700$ отн. ед.)

Анализ расчетов $R_{вн}$ АБ показывает, что в PS- конфигурации обрыв внутренней цепи ЛИА приводит к увеличению внутреннего сопротивления на $14 \div 41$ %. Для АБ в SP-конфигурации эта величина изменяется значительно больше – от 60 до 700 %, причем в 6-ти из 1000 вариантов распределения ЛИА внутреннее сопротивление увеличивается более чем в 1700 раз.

Таким образом проведенные исследования показали, что АБ в PS-конфигурации более устойчива к деградации ёмкости и увеличению внутреннего сопротивления единичных ЛИА.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕЕ 16P8S ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

*А.И. Груздев, С.В. Давыдов, Г.А. Жемчугов, Е.О. Лебедев,
 АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» на базе промышленных цилиндрических литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) габарита 18650 разработан экспериментальный образец батареи (АБ) для использования в системах электроснабжения КА ДЗЗ. Для достижения требуемого ресурса работы одной из важнейших задач при проектировании АБ явля-

лось обеспечение эффективного теплоотвода от всех аккумуляторов в условиях вакуума. Решение этой задачи позволяет выровнять токи саморазряда, снизить скорости деградационных процессов в ЛИА. Для обеспечения равномерного температурного поля в АБ предусмотрены металлические радиаторы, обеспечивающие кондуктивный теплообмен между всеми аккумуляторами и металлическим основанием, с помощью которого АБ устанавливается на посадочной поверхности КА.

Целью данной работы являлось исследование температурного поля АБ при ее циклировании в условиях, аналогичных работе вне гермоотсека КА (отсутствия конвекционного теплообмена с окружающей средой). Исследования проводились в диапазоне температур посадочной поверхности от минус 10 до +37 °С при непрерывной работе АБ со средним тепловыделением за цикл заряда/разряда 8,5 Вт. Измерения температуры производились с использованием цифровых термодатчиков в автоматическом режиме с дискретностью регистрации 1 минута и точностью определения температуры ± 1 °С. Основные результаты исследования температурного поля АБ приведены на рис. 1 и 2.

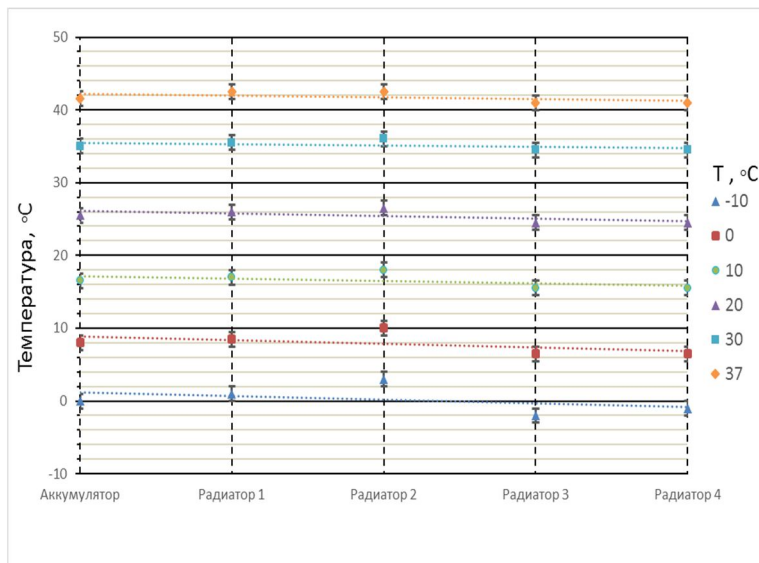


Рис. 1. Температура составных частей АБ при различных температурах посадочной плиты

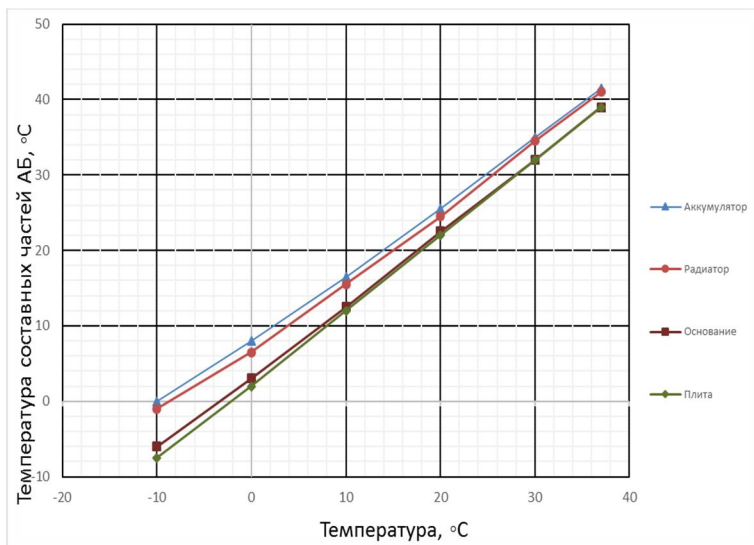


Рис. 2. Влияние температуры посадочной плиты на температуру составных частей АБ

Как видно из рис. 1 во всем исследованном диапазоне температур посадочной плиты различие между температурами аккумуляторов и радиаторов не превышает 2 – 3 °C.

Разность температур составных частей АБ (рис. 2) уменьшается при увеличении температуры внутри климатической камеры. Максимальная превышение температуры аккумуляторов относительно температуры посадочной плиты (7,5 °C) наблюдается при ее температуре минус 10 °C, минимальная разница – при температуре плиты 37 °C (3 °C). При этом разница температур между радиатором и основанием АБ снижается от 4,5 °C до 2 °C, соответственно. Разность температур между основанием АБ и посадочной плитой не зависит от температуры и не превышает 1,5 °C.

Таким образом проведенные исследования показали, что конструкция АБ обеспечивает в условиях вакуума:

- равномерность теплового поля в АБ во всем исследованном диапазоне температур посадочной плиты;

– хороший теплообмен аккумуляторов через радиаторы с основанием АБ, что позволяет эффективно отводить выделяющееся в аккумуляторах тепло на посадочную плиту.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ.....	3
СЕКЦИЯ 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ, ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ.....	9
СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ И СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	30
СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ.....	61
СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	81
СЕКЦИЯ 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА.....	107
СЕКЦИЯ 6. АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	155

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
Пятой международной научно-технической конференции
«Актуальные проблемы создания космических систем
дистанционного зондирования Земли»

Подписано в печать 15.05.2017.
Тираж 150 экз.