



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

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



МОСКВА
2014

Тезисы докладов Второй международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014. – 143 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.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Один из важных и актуальных вопросов на сегодняшний день – проблема создания космических систем дистанционного зондирования Земли. Необходимость работы в данном направлении неоднократно подчеркивалась Президентом Российской Федерации, лицами Правительства Российской Федерации и руководителем Федерального космического агентства. Эта та сфера деятельности, которая жизненно необходима стране. Социально-экономическое развитие страны все больше зависит от наблюдений Земли из космоса, т. е. от дистанционного зондирования Земли.

Направление дистанционного зондирования Земли в России, к сожалению, в последнее десятилетие утратило свое преимущество. И даже там, где Россия занимала лидирующие позиции – первыми вышли на коммерческий рынок с фотоматериалами высокого разрешения, использовали спутник «Комета» – негативные последствия 1990-х годов свели все это на нет. Но, тем не менее, отраднo то, что на данный момент мы сократили былое отставание, и сейчас идет позитивная тенденция роста и развития направления – дистанционное зондирование Земли возрождается. Это выражается в том, что стали создаваться в этих непростых условиях принципиально новые космические аппараты, например, созданы и запущены космические аппараты «Канопус-В» и Белорусский космический аппарат, начинают развиваться системы наземной обработки космической информации, появляются новые алгоритмы ее обработки, появляются новые технические решения. Россия выходит на мировой рынок, показывая миру наш потенциал, наших специалистов. Таким образом, это уже не только копирование зарубежных проектов, а создание чего-то нового.

В связи с этим тема нынешней международной конференции действительно является актуальной и крайне важной на сегодняшний день для космической сферы деятельности в частности и для всей страны в целом.

*Генеральный директор, д-р техн. наук
Л.А. Макриденко*

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ГРУППИРОВКИ МАЛЫХ КА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Л.А. Макриденко, И.В. Минаев,
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)*

*А.Ю. Потюпкин
(Военная академия РВСН им. Петра Великого)*

Одним из возможных направлений сокращения затрат на разработку, изготовление, эксплуатацию КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и развитие их функциональных возможностей является перенос акцента с крупных и тяжелых на малогабаритные космические аппараты (МКА).

В настоящее время понятие «малый космический аппарат» определяет не только возможность реализации очевидных достоинств МКА (небольшие массогабаритные и стоимостные характеристики), но и принципиально новую архитектуру построения и применения каждой из четырех составляющих «малой» (информационной) космической системы:

- собственно малого аппарата (проектирование, изготовление, испытания), использующего современные достижения микроэлектроники, микромеханики, информатики;
- системы оперативного управления в реальном времени орбитальной группировкой МКА, которая должна иметь наземный и космический сегменты и обеспечивать доступ к любому аппарату системы в любое время в глобальном масштабе;
- системы запуска МКА и оперативного восполнения состава орбитальной группировки;
- персональной аппаратуры пользователя, которая имеет малые габариты, массу, энергообеспечение и способна обеспечить доступ пользователя в любой момент времени к любому виду космической информации.

В известных отечественных и зарубежных публикациях рассматриваются отдельные вопросы сложной проблемы обоснования возможности и необходимости создания МКА и их группировок для решения разнообразных социально-экономических задач, принципов разработки конструкции МКА, технического обеспечения решения целевых

задач, особенностей запуска, управления орбитальным полетом, принципов получения, обработки, хранения и распространения информации и решения других многочисленных задач функционирования МКА.

Вместе с тем, проведенный анализ показал, что уровень реализации новых возможностей, предоставляемых МКА, является недостаточным. Прежде всего, это связано с недостаточным исследованием качественно новых свойств группировок МКА, позволяющих формировать для потребителя информационные поля с высокими показателями глобальности, непрерывности и оперативности. Другой причиной является отсутствие разработок по способам реализации нового качества группировки, например, по управлению многоспутниковыми группировками МКА, обеспечивающих реализацию указанных свойств. Также следует отметить недостаточную проработку оперативных средств вывода МКА на различные орбиты для развертывания и выполнения орбитальных группировок.

Малогобаритные КА ДЗЗ открывают широкие возможности по синтезу космических систем, обладающих новыми качественными возможностями и позволяющими на практике реализовать ряд прикладных эффектов, включающих:

- многопозиционность, многодиапазонность и одновременность наблюдения объекта с нескольких МКА, обеспечение эффекта стереосъемки;

- возможность комплексирования информации, получаемой от разнородных бортовых комплексов специальной аппаратуры МКА, приводящая к повышению информативности наблюдения и обеспечению требуемой достоверности распознавания объектов;

- обеспечение непрерывности наблюдения за счет возможности «передачи эстафеты» наблюдения последовательно входящим в зону видимости цели другим МКА орбитальной группировки.

Проведенные исследования показали, что для реализации указанных эффектов МКА должны функционировать в составе целевых подсистем орбитальной группировки, получивших в специальной литературе наименование кластеров МКА. Под кластером в данном случае понимается совокупность КА различного целевого назначения, совместно выполняющих общую задачу и воспринимаемых потребителем как единое целое.

Отличительными особенностями кластера являются реализация системного эффекта эмерджентности, приводящего к повышению эффективности группировки, и восприятие потребителем кластера как единого многофункционального «виртуального» аппарата. Такой подход позволяет использовать существующие технологии управления КА для управления целыми кластерами, что особенно актуально ввиду ограниченной пропускной способности наземного автоматизированного комплекса управления.

В представленном докладе рассмотрены основы системного подхода к структуризации проблемных особенностей создания и управления группировками МКА применительно к перспективным системам ДЗЗ.

СОСТОЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРОЙ ДЗЗ

*В.Н. Крутиков (1), Ф.В. Булыгин (2),
Е.В. Маколкин (3), В.И. Саприцкий (1)*

((1) Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, г. Москва

(2) Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, г. Москва

(3) Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, г. Королев)

Ключевые слова: обеспечение единства измерений, аппаратура ДЗЗ, калибровка, калибровочная установка, эталон, точность, нормативно-методическая база.

Обеспечение единства измерений в РФ (в том числе измерений с применением аппаратуры космического базирования) осуществляется в соответствии с законодательством РФ об обеспечении единства измерений (ОЕИ). основополагающий документ по ОЕИ – Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.07.2008 г. № 102 (ФЗ). В соответствии с ФЗ в сферу государственного регулирования ОЕИ входят измерения с помощью аппаратуры ДЗЗ, которые выполняются при осуществлении деятельности в области:

- гидрометеорологии, картографии и геодезии,
- охраны окружающей среды,
- обороны и безопасности государства.

К основным принципам ОЕИ можно отнести:

- четкое определение измеряемых величин, данное с достаточной полнотой и принятое всеми исполнителями измерений;
- прослеживаемость результатов измерений к первичному эталону измеряемой величины;
- выражение результатов измерений в узаконенных единицах;
- точностные характеристики результатов измерений должны быть определены по единой методике и с заданной вероятностью не выходить за установленные пределы.

В докладе представлено состояние с начала 2000-х годов по таким ключевым для получения качественных данных ДЗЗ направлениям как нормативно-методическая и техническая базы ОЕИ оптико-электронной аппаратурой ДЗЗ.

В 2005 г. совещание представителей организаций Росстандарта, Роскосмоса, РАН и других организаций так оценило состояние метрологического обеспечения калибровки аппаратуры ДЗЗ в России:

- отсутствует единая нормативно-методическая база,
- стендовая база калибровки в видимой и ближней ИК-областях спектра не удовлетворяет требованиям по точности и нуждается в глубокой модернизации,
- криогенно-вакуумная стендовая база для калибровки аппаратуры теплового ИК-диапазона не отвечает требованиям современного мирового уровня и нуждается в модернизации и дооснащении.

С 1981 г. действует разработанная ВНИИОФИ калибровочная установка видимого и ближнего ИК-диапазона «Камелия» ОАО РКС. Несмотря на устаревшую методологию и невысокую точность, в 2012–2013 гг. она была модернизирована и в настоящее время проходит процесс утверждения ее в качестве рабочего эталона.

Для повышения точности калибровки и обеспечения калибровки перспективной аппаратуры с крупногабаритной оптикой во ВНИИОФИ в 2006–2010 гг. разработан и утвержден Государственный первичный специальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) и относительного спектрального распределения мощности излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 25,0 мкм (ГПСЭ). Возможность использования ГПСЭ для калибровки аппаратуры ДЗЗ в диапазоне 0,3–2,5 мкм и передачи размера единицы ей без использования вторичных и рабочих эталонов непосредственно от ГПСЭ позволяет повысить точность калибровки примерно в $5 \div 10$

раз по сравнению с точностью калибровки на единственной действующей в России установке «Камелия». ВНИИОФИ разработал введенный в действие с 1 января 2014 г. ГОСТ Р 8.798-2012 «Государственная поверочная схема для средств измерений СПЭЯ и относительного спектрального распределения мощности излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 25,0 мкм» во главе с ГПСЭ.

В 2011–2013 гг. на основе эталонной базы ГПСЭ диапазона 3–15 мкм и высоковакуумного стенда «Квант-20» ЦНИИмаш создан радиометрический комплекс для калибровки в указанном диапазоне аппаратуры ДЗЗ с крупногабаритной оптикой и протяженных излучателей в низкофоновых условиях, соответствующих условиям штатной эксплуатации. До последнего времени этому требованию отвечал только специализированный стенд ФГУП «Центр Келдыша» для калибровки спектрометрической аппаратуры ИК-диапазона с малогабаритной оптикой. В настоящее время стоит задача аттестации обеих установок в ранге рабочего эталона.

В 2014 г. во ВНИИОФИ начата разработка ГОСТа «Оптико-электронная аппаратура наблюдения Земли космического базирования. Общие радиометрические требования». Это будет первый нормативный документ, характеризующий аппаратуру ДЗЗ как средство радиометрических измерений и базирующийся на ФЗ. Он должен устанавливать цель, задачи, нормативно-методические положения и порядок обеспечения единства радиометрических измерений с помощью аппаратуры ДЗЗ.

ТЕНДЕНЦИИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ОРБИТЫ ВЫСОКОПОДВИЖНЫХ КА ДЗЗ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛИГЕНТНЫХ ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ

*R. Hartmann, K. Michel, D. Ratzsch,
H. K. Raue, U. Schmidt, D. Schödlbauer
Jena-Optronik GmbH, Jena (Йена-Оптроник)*

Ключевые слова: датчик для системы управления положением и орбиты КА (S/C AOCS), звездный датчик, интегрированный гироскоп (rate gyro), совмещение датчиков, обработка данных со совмещенных датчиков.

Йена-Оптроник, ведущий в мировом масштабе поставщик датчиков для космических систем управления положением и орбиты, провел исследование требований к будущим датчикам данного класса космических приборов. Исследование проводилось на основе работающих более чем 430 приборов данного класса в космическом пространстве в течение более чем 675 лет, если взять в расчет как солнечные, так и звездные датчики. Были исследованы последние результаты соответствующих технологических достижений. Результаты исследований обсуждались с ведущими изготовителями КА, работающими с Йена-Оптроник и с ее научными партнерами.

Были определены наиболее острые требования к рабочим параметрам будущих динамических КА ДЗЗ:

- На порядок более точное измерение углов положения КА и скорости их изменений с минимальной корреляцией ошибок по отношению к имеющимся системам.
- Синхронизация всех измерений в микросекундном диапазоне с минимальной задержкой.
- Непрерывное определение положения и получение измерительных сигналов при наибольших динамических перемещениях порядка $10^\circ/\text{s}$ & $7^\circ/\text{s}^2$ и при любых внешних воздействиях на оптические датчики типа ложных пятен или солнечных вспышек.
- Высокоэффективные оптические сенсорные головки для размещения их на главном инструменте с минимальными тепловыми и массовыми воздействиями.

Эти требования трудно выполнить с датчиками, работающими на основе актуальной системной архитектуры систем управления положения и орбиты КА, где датчики подключаются к интерфейсной шине КА.

Йена-Оптроник предлагает новую совмещенную архитектуру [1] с дополнительной, отдельной от шины КА, интерфейсной шиной для датчиков. Типичная для высоко динамичных КА ДЗЗ конфигурация, имеющая дополнительную интерфейсную шину, показана на рисунке 1. Главными преимуществами такой архитектуры являются:

- Двойное использование датчиков, что приводит к снижению количества датчиков.
- Уменьшение трафика на шине S/C AOCS и менее сложная система каблирования.

- Совмещенная мультисенсорная предобработка информации.

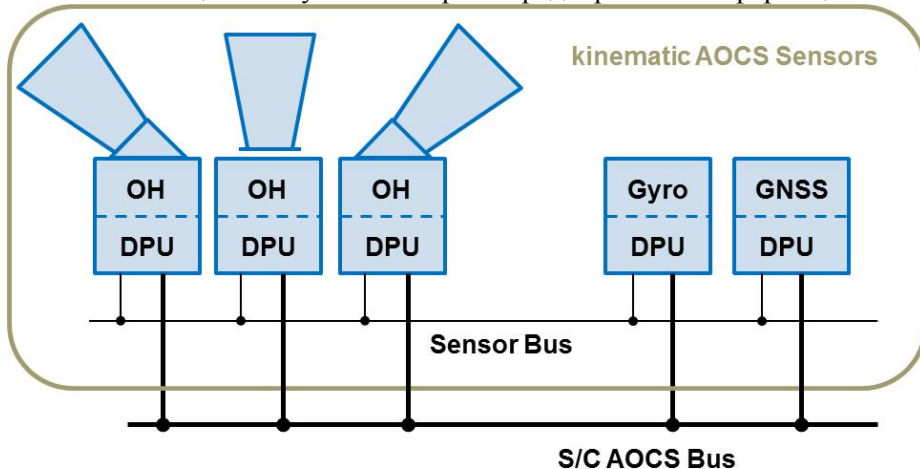


Рис. 1. Стандартная конфигурация датчиков для высокодинамичных КА Д33 с дополнительной интерфейсной шиной Sensor Bus

В качестве наиболее значительного шага для создания системы совмещенной мультисенсорной предобработки информации Йена-Оптроник создала концепцию прибора ASTROgyro [1], направленную на совмещение работы звездных датчиков и интегрированных гироскопов (rate gyroscopes). Основными требованиями к совмещенной системе «звездные датчики – интегрированные гироскопы» являются:

- Обеспечение оптимальных условий работы датчиков.
- Гарантированные непрерывные измерения положения и орбиты КА при граничных условиях работы (in worst case conditions).
- Автоматическое восстановление номинального режима звездного датчика с использованием информации от гироскопа.
 - Постоянная рекалибрация гироскопа.
 - Увеличение абсолютной точности с помощью использования данных с гироскопа.

Метод увеличения абсолютной точности совмещенной системы использует комплементарность спектров ошибок звездных датчиков и гироскопа и использует новые по сравнению с применяемыми способами [3] процедуры статистической оптимизации (of maximum likelihood estimation, box estimation, extended Kalman filter estimation, and multiple model adaptive estimation).

На Йена-Оптроник концепция ASTROgyro находится в стадии опытно-конструкторских работ. В ближайшем будущем планируется демонстрационный полет.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В.В. Ганченко, А.А. Дудкин
(Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь)*

Дистанционное зондирование, лесопользование, мониторинг земельных ресурсов.

На территории Беларуси и прилегающих территориях Украины и России находится много больших лесов и болот, которые являются основными легкими Европы. Большое значение в этом плане играют пойменные леса и болота Белорусского Полесья. Основной проблемой лесопользования является сельскохозяйственная экспансия, в результате которой в Центральной и Западной Европе леса, где могла бы водиться хоть бы какая дичь, полностью исчезли. Значительная часть лесов повреждается в результате пожаров, болезней, нападения насекомых, нерациональной ирригационной политики, ведущей к существенному изменению уровня грунтовых вод, что ведет к заболеваниям и гибели леса. В настоящее время эффективным инструментом экологического и сельскохозяйственного мониторинга с целью предотвращения чрезвычайных ситуаций является обработка и анализ мультиспектральных изображений высокого пространственного разрешения лесных и заболоченных районов, получаемых со спутников ДЗЗ. Надлежащая обработка мультиспектральных изображений высокого пространственного разрешения позволяет обнаружить повреждения леса на ранней стадии. Данная технология является единственно применимой для областей Припятского заповедника, где экономическая деятельность минимальна, в связи с чем дороги практически отсутствуют.

Базовой процедурой в тематической обработке мультиспектральных снимков, получаемых со спутников ДЗЗ, является сегментация на основе многомерного кластерного анализа. В процессе сегментации

мультиспектральных изображений несколько каналов обрабатываются одновременно, при этом пространственный анализ и многомерный кластерный анализ тесно объединяются в одном алгоритме. Пространство кластерного анализа формируется из каналов исходного изображения. Это позволяет учесть тот факт, что пиксели одного сегмента изображения помимо всего прочего расположены компактно в оптическом спектральном пространстве, т.е. спектральные цвета пикселей, принадлежащих одному сегменту изображения, различаются гораздо меньше, чем средние спектральные цвета различных сегментов. Для того чтобы учесть пространственные соотношения между пикселями это пространство может дополняться другими измерениями, отражающими реальные метрические соотношения между пикселями изображения. Такая конструкция пространства позволяет достаточно хорошо сегментировать области и выделить объекты, в пределах которых спектральные цвета изменяются незначительно.

Алгоритмы обработки, разработанные на основе Fuzzy C-Means, Gustafson-Kessel и Gath-Geva, реализованы в виде отдельных программных модулей в составе программного обеспечения сегментации мультиспектральных спутниковых снимков.

Экспериментальное тестирование алгоритмов сегментации выполнялось на изображениях, полученных с помощью аппаратуры Landsat 7 ETM+. Для эксперимента использовались каналы 3,4,7,8.

На рис. 1 представлены результаты сегментации достаточно сложного участка, характерного для Белорусского Полесья. Объект представляет собой окрестности болота



Рис. 1. Результат сегментации с помощью FCM на 15 кластеров без фильтрации

Званец в Брестской области, где присутствуют различные типы покрытий, включая болота, открытую воду, заливные луга, пахотные угодья, хвойный, лиственный и смешанный лес различных пород.

Для решения ряда практических задач, связанных с обработкой данных ДЗЗ при помощи предложенных алгоритмов, необходимо выполнение геопривязки обрабатываемых изображений. Наиболее удобным подходом к решению этой задачи является использование ГИС. Для решения задач кластеризации мультиспектральных спутниковых изображений используется открытая, бесплатная ГИС GRASS. Этот выбор обусловлен не только низкой стоимостью, но и широкими возможностями указанной ГИС к расширению посредством разработки дополнительных программных модулей.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ГЛОБАЛЬНОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ АКТУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЗЗ

*Е.А. Бровко, С.А. Ефимов, А.Н. Мироненко, С.О. Дубенсков
(ОАО «Научно исследовательский и производственный
центр «Природа», г. Москва*

НИЦ ТГНО ФГКУ «27 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва)

Ключевые слова: государственный топографический мониторинг, глобальный топографический мониторинг, дистанционное зондирование Земли, космические съемочные системы.

Формирование единой государственной политики в сфере актуализации пространственных данных – государственных цифровых (электронных) топографических карт и планов в целях эффективного их использования для социально-экономического развития, обороны и национальной безопасности Российской Федерации являются основополагающими факторами коренной модернизации государственной системы картографо-геодезического обеспечения территории страны. Современным решением проблемы актуализации пространственных данных является создание глобальной национальной системы актуализации пространственных данных, в которую интегрируются система глобального топографического мониторинга, государственного топо-

графического мониторинга и территориального топографического мониторинга.

Глобальный топографический мониторинг – это постоянное, охватывающее весь земной шар, регламентированное слежение за изменениями объектов местности на основе аэрокосмической и другой информации с оперативной регистрацией этих изменений с точной географической привязкой.

Под государственным топографическим мониторингом понимается непрерывное, регламентированное слежение на территории Российской Федерации за изменениями объектов местности на основе цифровой картографической, аэрокосмической, отраслевой и другой информации, оперативное картографирование изменившихся объектов и актуализация пространственных данных.

Основными принципами создания как системы государственного, так и глобального топографического мониторинга являются: обеспечение нормирования (правового и технического); единство классификации, кодирования информации, условного обозначения; стандартизации в области дистанционного зондирования Земли; сертификации данных топографического мониторинга.

И в первом, и во втором случае основными задачами космических средств ДЗЗ являются:

- наблюдение за большими площадями и протяженными объектами;
- получение съемочных материалов в большом количестве спектральных каналов, с высоким пространственным разрешением и геометрической точностью;
- выполнение съемки с высокой периодичностью и оперативной передачей полученных данных на последующую обработку.

Решение этих задач позволяет многократно получать однородную и сравнимую по качеству информацию одновременно для обширных территорий (включая недоступную) с точной географической привязкой и оперативностью, которая практически недостижима при использовании других средств.

Выполнение как государственного, так и глобального топографического мониторинга подразделяется на 3 этапа: обзорный, детальный и актуализация пространственных данных.

В процессе обзорного мониторинга выполняется анализ пространственно-временных изменений объектов местности и оценивается степень про-

изошедших изменений со времени последнего обновления по снимкам цифровой картографической информации на данную территорию.

По результатам детального мониторинга обеспечивается оперативное картографирование по данным ДЗЗ высокого пространственного разрешения изменений объектов местности, показываемых на топографических картах и планах. За детальным мониторингом следует этап актуализации пространственных данных обновление цифровых (электронных) топографических карт и планов городов.

В настоящее время решение задач государственного топографического мониторинга может обеспечить существующая отечественная группировка КА ДЗЗ оптико-электронного наблюдения с учетом её расширения в соответствии с планами федеральной космической программы до 2020 г. Для детального топографического мониторинга в масштабах 1:10 000 и 1:25 000 могут использоваться КА «Ресурс-ДК» и КА серии «Ресурс-П», для мониторинга в масштабе 1:50 000 – КА серии «Канопус-В» и БКА, для мониторинга в масштабе 1:100 000 – КА серии «Обзор-О», которая должна быть развернута в полном объеме к 2020 г.

В состав космического сегмента для ведения глобального топографического мониторинга, помимо указанных, должны входить комплексы ДЗЗ, разрабатываемые по заказу Минобороны. В их число должны войти несколько КА оптико-электронного наблюдения и один-два КА, оснащенных радаром с синтезированной апертурой.

Для обеспечения детального топографического мониторинга материалами космической съемки с высокими измерительными свойствами и с линейным разрешением на местности не хуже 0,5 м, в рамках федеральной целевой программы «ГЛОНАСС-2020» представляется важным начать разработку отечественной цифровой космической картографической системы в составе двух специализированных КА оптико-электронного наблюдения.

Очевидно, для получения научно-технического и социально-экономического эффекта от реализации поставленных в настоящее время публикации задач, необходимым является проведение дальнейших мероприятий в части:

- разработки организационно-функциональной структуры национальной системы космического мониторинга;

- наращивания отечественной орбитальной группировки КА, в том числе за счет запуска радарных КА, с повышением их пространственного разрешения и точностных характеристик;
- разработки высокоэффективных методов и средств получения, обработки и использования различных видов геопространственной информации, в том числе, методов обработки разновременных космических снимков с целью выявления изменений объектов местности;
- практического применения инновационных технологий в сфере цифрового картографирования, дистанционного зондирования Земли, спутниковой навигации;
- апробации технологии топографического мониторинга на примере пилотных регионов Российской Федерации и трансграничных территориях.

Таким образом, национальная система актуализации пространственных данных может рассматриваться как новый, научно поставленный вид деятельности на современном уровне развития науки и техники, а также как одно из приоритетных направлений в реализации проблемы актуализации геоинформации и оперативного картографического обеспечения страны.

СЕКЦИЯ 1.

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, КОСМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО БАНКА ДАННЫХ ПО КС И КА ДЗЗ

*А.А. Феденев, А.В. Карелин, Ю.А. Кузьмин, М.В. Устинова
(Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения»
г. Королев, Московская область)*

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, мониторинг, космические аппараты и системы, база данных, средства программирования, компьютерные технологии, бортовая целевая аппаратура.

Доклад посвящен итогам разработки и актуализации электронного банка данных (ЭБД) по космическим системам (КС), космическим ап-

паратам (КА), целевой аппаратуре (ЦА) ДЗЗ, предназначенного для информационного и научно-технического сопровождения НИОКР по созданию и совершенствованию космических средств и систем дистанционного зондирования Земли.

В мире создано несколько ЭБД по КС, КА и ЦА ДЗЗ. Ранее была сделана попытка по объединению информации этих электронных банков в один ЭБД, однако информация в нем являлась неполной, отсутствовали возможности гибкого поиска и фильтрации данных для целей последующего анализа, использования в экспертной деятельности. К тому же, неполно были представлены данные по КС, КА и ЦА ДЗЗ отечественного производства.

Для устранения этих недостатков ЭБД был существенно переработан, как в программно-аппаратной части, так и в части структуры данных, их представления и наполнения. Был расширен список и произведена переклассификация объектов, входящих в ЭБД. Были объединены разрозненные БД, при этом унифицирована технология их построения с облегчением процесса администрирования и обновления, как самого ЭБД, так и содержащихся в нем данных.

В докладе описывается внутренняя структура БД ДЗЗ, выбранный перечень основных объектов и выбор принципов их классификации, который не расходится с принятыми мировыми нормами. В качестве классификации КС и КА ДЗЗ предлагается использовать классификацию, сложившуюся в Роскосмосе. Для классификации ЦА был выбран подход, отталкивающийся от назначения аппаратуры, а не от её физического исполнения. Это позволяет, во-первых, определить необходимые параметры и критерии поиска и фильтрации в БД ДЗЗ для каждого типа, учитывая конкретное применение, а не абстрактные характеристики прибора; во-вторых, это позволяет безболезненно синхронизироваться с международными банками данных, например CEOS.

Программное исполнение БД ДЗЗ представляет собой веб-приложение, состоящее из «связки» Сервер БД (MySQL), Коннектор (django) и клиентское отображение, реализованное с помощью HTML, AJAX и dojo. Среди многочисленных плюсов такой реализации: единая точка доступа, постоянно актуальные данные, нет необходимости держать специализированное программное обеспечение (ПО) на клиентских машинах и т. д.

Схема работы и используемые технологии представлены на рис. 1.

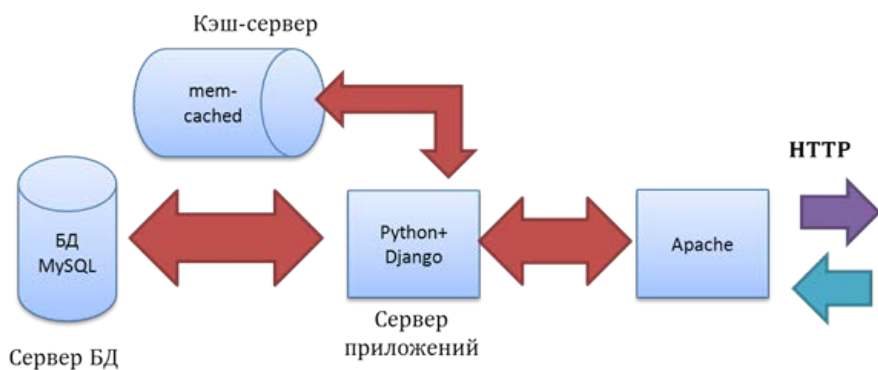


Рис.1. Схема работы и использованные в ЭБД КС и КА ДЗЗ технологии

Реализованная версия ЭБД космических систем, космических аппаратов и целевой аппаратуры ДЗЗ позволяет вводить, отображать данные, делать выборки по различным параметрам, экспортировать результаты в форматы MS Word и MS Excel, выводить на печать. Также функционал ЭБД поддерживает разграничение прав доступа на уровне пользователей и групп пользователей.

ЭБД размещен на сервере внутренней сети ФГУП ЦНИИмаш. В настоящее время происходит тестирование и наполнение ЭБД недостающими данными. В дальнейшем рассматривается возможность сделать ЭБД доступным для всех предприятий отрасли.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И МНОГОКАНАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ И СВЯЗИ

В.В. Дарных, В.В.Мальшиев

(Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), МАИ)

Проектирование современных космических систем наблюдения (КСН) и космических систем связи (КСС) (направлено на многофункциональность их целевого применения, т. е. предоставления потребителям (пользователям, потребителям, заказчикам и т.д.) широкого спектра услуг и информации, например: получения снимков территорий земной поверхности или локальных объектов в различных спек-

тральных диапазонах с требуемым разрешением в нужное время суток, в любых метеоусловиях и при любой освещенности, обеспечения персональной спутниковой связью или передачей данных между различными абонентами с широкой географией в мобильном или фиксированном режиме с требуемой оперативностью по времени, трансляции данных через низкоорбитальную сеть спутниковой связи с космических аппаратов (КА), расположенных на более высоких орбитах и иных услуг.

В этой связи эффективность целевого функционирования КСН и КСС определяется по нескольким показателям, которые, в свою очередь, зависят от: количественного состава и пространственного расположения орбитальной группировки систем, в которых КА могут располагаться в различных и разновысотных плоскостях; параметров бортовой целевой аппаратуры КА и оперативных планов ее целевого функционирования, координирующих работу всей группировки с учетом технических возможностей; факторов внешней среды; интересов менеджеров системы и потребителей целевой информации; стоимостных и экономических ограничений. Для повышения эффективности целевого функционирования КСН и КСС по нескольким показателям требуется решить проблему многокритериальной оптимизации и ряд связанных с ней частных задач. Таким образом, все указанные обстоятельства позволяют говорить об актуальной научно-технической проблеме многокритериальной оптимизации эффективности целевого функционирования орбитальных группировок многофункциональных и многоспутниковых КСН и КСС.

Цель доклада – демонстрация работы специализированного прикладного программно-математического обеспечения, позволяющего проводить комплексное моделирование и параметрический анализ процессов целевого функционирования КСН и КСС и решать задачи оптимизации эффективности их целевого функционирования по нескольким показателям (в том числе построения орбитальных группировок) на основе оперативного планирования целевых операций на любом наперед заданном временном интервале.

В докладе приводятся и обсуждаются примеры решения модельных задач оптимизации и параметрического анализа эффективности целевого функционирования некоторых многоспутниковых КСН и КСС.

Доклад подготовлен с использованием результатов научных исследований, проводимых авторами при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 11-08-01278-а и № 13-08-01381-а).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

М.В. Новиков

(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Ключевые слова: информационный комплекс космической системы дистанционного зондирования Земли, космический сегмент, сеть наземных пунктов приема информации, математическая модель.

Информационный комплекс космической системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) состоит из информационного комплекса космического сегмента и наземного комплекса приема и обработки информации (НКПОР). Космический сегмент в общем случае может состоять из нескольких космических аппаратов, находящихся на орбитах с различными характеристиками. Таким образом, космический сегмент представляет собой пространственно распределенную структуру орбитальных средств, взаимное положение элементов которой меняется в соответствии с баллистическими законами движения КА по орбитам. НКПОР является пространственно распределенной по территории Российской Федерации сетью наземных пунктов приема информации (ППИ). Информационные возможности космической системы, оперативность получения информации определяются характеристиками орбитальной группировки, числом и расположением ППИ и пространственно-временным взаимодействием космического и наземного сегмента космической системы.

Для определения наилучших способов построения и управления космической информационной системой, с целью повышения объемов принимаемой на Земле информации и оперативности ее доставки; прогнозирования прямых и косвенных последствий реализации различных способов и форм воздействий на систему нужна математическая модель. В данной работе рассматривается математическая модель, позволяющая провести анализ функционирования космической информационной системы, и приводятся результаты вычислительных экспериментов на компьютере.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ДЗЗ

В.В. Бутин

(ООО «Компания «Совзонд», г. Москва)

Дистанционное зондирование Земли из космоса (ДЗЗ) относится к одной из наиболее успешно и динамично развивающихся инновационных отраслей. К сожалению, Россия, являвшаяся некогда ведущей державой в сфере ДЗЗ из космоса, в настоящее время в значительной степени утратила свои позиции. Планами Роскосмоса до 2020 года предполагается восстановление отечественной группировки спутников ДЗЗ. Вместе с тем для того, чтобы построить успешную отрасль ДЗЗ нам необходимо определиться, какие спутники необходимы стране, какие мировые тенденции есть на рынке и какие космические аппараты (КА) планируется запустить в течение предстоящего десятилетия. Это также необходимо для понимания, какие ниши будут заняты в ближайшее время, а какие останутся свободными, куда есть смысл направить усилия.

Итак, в настоящее время на орбите уже работают КА со съемочными системами нового поколения, позволяющие получать снимки со сверхвысоким пространственным разрешением (до 41 см у спутника GeoEye-1). Съемки ведутся в многоканальном мультиспектральном (в настоящее время до 8 каналов у спутника WorldView-2 с перспективой до 16 у WorldView-3) режимах. Основными тенденциями последних лет является формирование группировок КА ДЗЗ, причем как с разным пространственным разрешением (французская система Pleiades плюс SPOT-6/7), так и, в перспективе, с различными физическими принципами съемки (радарная плюс оптическая). Еще одной тенденцией становится формирование группировок малых спутников (SkySat, RapidEye, DMC). Появляются разработки, связанные с оперативной видеосъемкой объектов из космоса (перспективная группировка из 24 малых спутников SkySat). Есть информация о появлении на орбите спутников ДЗЗ на геостационарной орбите с возможностью непрерывной съемки, в том числе в видеорежиме со сверхвысоким разрешением.

В 2013 г. Россия запустила спутник сверхвысокого разрешения «Ресурс-П». К 2015 г. российская орбитальная группировка спутников ДЗЗ будет включать в себя 19 КА, а к 2020 г. — 33 КА.

Говоря о России, можно констатировать ряд положительных моментов, которые укладываются в мировые тенденции — развертывание группировок спутников сверхвысокого разрешения («Ресурс-П») и высокого разрешения («Канопус-В», БКА, «Обзор-О») в планах наращивание таких группировок, в том числе за счет запуск радарных КА («Обзор-Р»), попытка занять пока пустующую нишу гиперспектральной съемки высокого разрешения («Ресурс-П»). Однако надо говорить и о недостатках. Необходимо закладывать в планы развития отрасли передовые заделы:

1. Переход на группировки малых и сверхмалых КА, особенно для природоресурсного обеспечения с задачей решения именно мониторинговых задач.
2. Повышение пространственного разрешения до 20 см в панхроматическом режиме съемки.
3. Повышение точностных характеристик снимков — до 2–3 м СКО в плане без наземных точек привязки.
4. Развитие спутников с возможностями видеосъемки высокого и сверхвысокого разрешения.

Основная проблема российской отрасли ДЗЗ лежит все-таки не в плоскости технической или технологической, а скорее в организационной. Основным приоритетом должно стать формирование конкурентоспособной на мировом, а не только на российском рынке бизнес-концепции продвижения как исходных данных ДЗЗ из космоса, получаемых с российских КА, так и технологий и продуктов с высоким уровнем переработки и добавочной стоимости.

Вот основные аспекты, над которыми сейчас работают ведущие мировые компании, и где надо сосредоточить усилия российским компаниям:

1. Создание высококачественных радиометрических продуктов.
2. Создание глобальных карт землепользования и почвенно-растительного покрова.
3. Создание глобального техногенного слоя.
4. Автоматизированное обнаружение объектов и определение их параметров.
5. Распознавание типов объектов.
6. Мониторинг процессов во времени.
7. Новые возможности краудсорсинга.

8. Пространственно-временной анализ.
9. Оперативный ситуационный анализ.

Появление программных средств автоматизированного дешифрирования и обработки космических снимков, совершенствование геоинформационных приложений и программно-аппаратных комплексов визуализации пространственных данных, развитие технологии облачных вычислений кардинально меняют взаимоотношения поставщиков и заказчиков на рынке геоинформационных услуг. Появились и активно развиваются геоинформационные онлайн-сервисы.

Примером успешной реализации геоинформационного сервиса является разработка компании «Совзонд» — веб-сервис «ГЕОмонитор», который предоставляет возможность получения, редактирования и публикации архивных и оперативных данных ДЗЗ.

Таким образом, для успешного развития отрасли ДЗЗ из космоса в России необходимо:

1. Дальнейшее развитие отечественной группировки спутников ДЗЗ в соответствии с мировыми тенденциями и потребностями российской экономики.
2. Развитие наземной инфраструктуры приема и распространения как данных ДЗЗ, так и продуктов на их основе.
3. Совершенствование технологий обработки ДДЗ в соответствии с мировыми тенденциями.
4. Решение организационных проблем, сдерживающих развитие отрасли.

ЗАДАЧИ, ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ ОАО «КОРПОРАЦИЯ «ВНИИЭМ»

*А.В. Горбунов, В.К. Саульский
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)*

Разрабатываемые в настоящее время в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» спутники различного хозяйственного и научного назначения базируются на 4-х типах космических платформ (КП):

- КП среднего класса для гидрометеорологических КА с массой до 3000 кг,
- малоразмерная КП для многоцелевых КА с массой 500–800 кг,
- малая КП для КА геофизического мониторинга с массой 300 – 500 кг,

– микрокосмическая платформа для КА с массой до 100 кг.

Исторически первым космическим направлением во ВНИИЭМ явилось создание космических платформ среднего класса для спутников гидрометеорологического назначения. Еще в XX веке созданы 2 типа унифицированных космических платформ: СП-I и СП-II (Ресурс-УКП). На их базе изготовлены и выведены в космос десятки спутников 1-го и 2-го поколений КА серии «Метеор». С 2009 г. функционирует уже ИСЗ 3-го поколения «Метеор-М» №1. Ведется разработка перспективных спутников 4-го поколения «Метеор-МП» и «Метеор-М» №3. Первый из них предназначен для решения задач оперативной метеорологии, второй – для океанографии и всепогодного наблюдения объектов на суше и море.

Спутники 4-го поколения создаются на основе специально разрабатываемой для них новой платформы, имеющей высокую степень новизны. Впервые она будет иметь горизонтальную компоновку в виде пятигранной призмы. Для обеспечения требуемых прочностных и динамических характеристик внутри призмы помещается силовая сетчатая конструкция из углепластика. Принципиальной модернизации подвергнутся служебные системы. Все это позволит значительно расширить возможности установки на спутниках нового поколения больших комплексов целевой аппаратуры, в максимальной степени соответствующих перспективным требованиям отечественных потребителей и рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО).

В частности, на КА «Метеор-МП» планируется использовать следующие целевые приборы: многозональный сканер малого разрешения, комплекс многозональной спектральной съемки, инфракрасный Фурье-спектрометр, спектрометр газового состава атмосферы, микроволновый спектрометр температурно-влажностного зондирования, метеорологический радиолокатор, аппаратуру радиозатменного зондирования атмосферы и бистатической радиолокации земной поверхности. На КА «Метеор-М» №3 предполагается разместить сканер цветности океана, сканер береговой зоны, многорежимный радиолокационный комплекс, скаттерометр и аппаратуру радиозатменного мониторинга атмосферы.

Однако, наиболее приоритетным направлением сейчас является разработка экономичных и эффективных малоразмерных космических платформ. В 2012 году завершено создание платформы для КА типа

«Канопус-В». Эта компактная платформа обладает высокими технико-эксплуатационными характеристиками и удобна для многоцелевого применения. Впервые в практике ВНИИЭМ в области КА среднего и малого классов она получила негерметичную конструктивно-компоновочную схему. Применен ряд новшеств в бортовом комплексе управления, аккумуляторных батареях, автономной системе навигации и других служебных системах. На основе данной платформы изготовлены, выведены в космос и успешно функционируют 2 ИСЗ: российский спутник «Канопус-В» и Белорусский КА. 2-ой из них, как следует из его названия, разработан по заказу Республики Беларусь. Оба спутника снабжены идентичными комплексами целевых приборов, обеспечивающих съемку Земли с высоким и средним разрешением на местности.

Рассматриваемая платформа располагает большими возможностями для установки разнообразных целевых нагрузок. В частности, в настоящее время разрабатывается новый КА «Канопус-В-ИК», на котором дополнительно будет установлен инфракрасный (ИК) радиометр для обнаружения очагов лесных пожаров. Ведется создание КА научного назначения «Михайло Ломоносов». Завершено предварительное проектирование (на стадии аванпроекта) перспективного цифрового картографического космического комплекса для получения снимков Земли с детальным пространственным разрешением, обладающих высокими геометрическими свойствами.

На базе малоразмерных КА, формируемых на основе данной КП, предполагается построение высокоэффективных орбитальных группировок различного хозяйственного, научного и прикладного назначения. Сейчас в стадии перехода к практической реализации находится дополнительное изготовление 4-х КА «Канопус-В» для организации достаточно крупной системы спутников в интересах оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Новым, но имеющим растущую важность направлением является создание спутников геофизического мониторинга (ГФМ). Для них разработана малая платформа, конструкция которой имеет сотовую компоновку, удобную для установки многочисленного комплекса небольших целевых приборов. Именно это важно для ГФМ, так как его специфической особенностью является применение широкого состава целевых приборов (до двух десятков), что диктуется обширным спис-

ком решаемых задач. Они группируются по следующим областям: мониторинг ионосферы, наблюдение и контроль Солнца и его активности, мониторинг верхней атмосферы Земли, контроль магнитосферы, диагностика волновой активности, диагностика корпускулярных ионизирующих потоков, мониторинг озонового слоя. Данный спектр задач имеет важное прикладное значение. Хорошо известно о влиянии процессов на Солнце, в ионосфере Земли и ОКП на погоду, эволюцию климата и хозяйственные процессы. Для мониторинга этих процессов на базе платформы ГФМ будут созданы спутники «Ионосфера» и «Зонд», из которых планируется сформировать космический комплекс «Ионозонд».

Значительным, хотя пока еще не очень востребованным потенциалом развития обладает созданная в 2009 году микрокосмическая платформа (МККП). На ее базе изготовлен и запущен на орбиту научный микроспутник «Университетский – Татьяна-2». Однако, это лишь первый опыт. Существуют большие возможности совершенствования микроплатформы. Сфера ее будущего использования достаточно велика. В частности, из микроспутников можно построить перспективную систему радиозатменного мониторинга профилей температуры, влагосодержания, электронной концентрации и других характеристик нижней и верхней атмосферы, важных для прогнозирования погоды. Должна оказаться актуальной также и многоспутниковая система раннего обнаружения очагов лесных пожаров. Микроспутники оптимально подходят для создания больших орбитальных группировок, благодаря минимальным затратам на изготовление и запуск.

Таковы основные направления создания и развития космических платформ и аппаратов в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ. Далее следует отметить, что специалисты ВНИИЭМ прилагают постоянные и интенсивные усилия по совершенствованию технико-эксплуатационных характеристик разрабатываемых космических платформ и общему повышению информационно-технического уровня спутников на их основе. Реализуются следующие возможности:

- негерметичное исполнение,
- модульное построение,
- интеллектуальность бортового комплекса управления с расширением способов парирования нештатных ситуаций,

- гибкость управления за счет корректировки алгоритмов в процессе эксплуатации на орбите,
- внедрение отказоустойчивых многомашинных вычислительных систем,
- применение сетевых структур управления бортовой аппаратурой,
- использование новых конструкционных материалов,
- применение литий-ионных аккумуляторов,
- высокоточное координатно-временное обеспечение за счет совместной работы звездных датчиков ориентации и аппаратуры автономной навигации,
- внедрение эффективного режима ориентации «Земля–Путь»,
- преимущественное применение пассивных способов терморегулирования,
- использование плазменных корректирующих двигательных установок.

Ныне действующие спутники ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» уже решают большой список задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Тем не менее отечественные потребители заинтересованы в дальнейшем расширении состава и улучшении информационных характеристик получаемых космических данных. Будущая орбитальная группировка КА нашей организации должна обеспечить решение следующего перечня укрупненных задач ДЗЗ, соответствующих возрастающим запросам российских пользователей космических данных:

- комплексный гидрометеорологический мониторинг,
- комплексный мониторинг Мирового океана,
- ледовая разведка на высокоширотных акваториях,
- детальная и высокодетальная съемка земной поверхности,
- всепогодное наблюдение объектов на суше и морских акваториях,
- контроль правил использования прибрежной экономической зоны России,
- мониторинг чрезвычайных ситуаций,
- раннее обнаружение и мониторинг лесных пожаров,
- экологический мониторинг,
- мониторинг хозяйственных процессов для информационного обеспечения деятельности в ряде отраслей природопользования,
- информационное обеспечение поиска и добычи полезных ископаемых,
- комплексный гелиогеофизический мониторинг,

- проверка и мониторинг потенциальных предвестников землетрясений,
- проведение широкого спектра научных исследований на поверхности и в атмосфере нашей планеты и в околоземном космосе.

Расширение задач и областей применения космических аппаратов ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» будет достигнуто за счет повышения технического уровня и надежности космических платформ, совершенствования бортовой целевой аппаратуры, разнообразия вариантов комплектации КА, численного роста орбитальной группировки и оптимизации ее баллистического построения.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ SPACEWIRE ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

*В.Ю. Гришин, П.М. Еремеев, А.В. Лобанов, В.Г. Сиренко
(ОАО «НИИ «Субмикрон», г. Москва)*

Ключевые слова: SpaceWire, SpaceWire-RUS, GigaSpaceWire, SpaceFibre, QoS, быстрота реакции, детерминизм, надёжность.

SpaceWire является перспективной системообразующей технологией для высокоскоростной коммуникации и комплексирования бортовых систем космических аппаратов (КА), принятая в качестве базовой в ESA, Роскосмосом, США (NASA) и Японии (JAXA), которая обеспечивает высокие скорости передачи информации, малые задержки доставки сообщений, определенную устойчивость к отказам и сбоям, низкое энергопотребление, электромагнитную совместимость, компактную реализацию в СБИС, поддержку систем реального времени и системных функций комплексов бортового оборудования (КБО).

Стандарт SpaceWire (2003 г.), регламентирует логические протоколы, физические разъемы и кабели, электрические свойства соединений, архитектуру коммуникационной сети, обеспечивает средства передачи пакетов информации от исходного узла до требуемого узла назначения через масштабируемую коммуникационную сеть и описывает работу коммутационной сети на шести уровнях иерархии, условно соотносимых с четырьмя нижними уровнями семиуровневой эталонной модели взаимодействия открытых систем OSI. В 2008 году опубликована редакция SpaceWire ECSS-E-50-12C, содержащая правки под новые формы ECSS. Технология SpaceWire, определяемая этими стандартами, явилась первым, успешным этапом и обеспечила се-

тельные технические средства для обработки данных полезной нагрузки во многих космических полётах. Однако этот этап не полностью соответствует растущим требованиям к КБО перспективных КА. Существующая технология SpaceWire, приемлемая для обработки данных, не предназначена для КБО с основными требованиями в скорости реакции, устойчивости к ошибкам и сбоям, детерминизме и надёжности. Имеется потребность в сетевых КБО перспективных КА, которая сочетает ключевые характеристики технологии SpaceWire с требованиями к качеству сервиса прикладных систем реального времени КБО. Необходимо фундаментальное расширение технологии SpaceWire, на что и нацелена программа SpaceWire-RT. В настоящее время усовершенствование технологии SpaceWire проводится двумя международными рабочими группами: SpaceWire WG и SpaceWire-RT. Первая ведет разработку новой редакции стандарта SpaceWire ECSS-E-50-12D, в которой уточняются спецификации технологии SpaceWire и осуществляется доработка её механизмов путем введения как сигналов распределенных прерываний с временем доставки кодов прерываний в единицы микросекунд при любой загрузке каналов передачи данных, так и ещё одного типа каналов между узлами сети SpaceWire, названного каналом GigaSpaceWire и обеспечивающего передачу с гигабитными скоростями на десятки метров с возможностью гальванической развязки.

В 2012 г. Национальной рабочей группой SpaceWire, организованной Роскосмосом, разработан проект Российского отраслевого стандарта SpaceWire-RUS, включающего как положения ECSS-E-50-12C, так и его уточнение и расширения, такие как механизм распределённых прерываний и каналы GigaSpaceWire. В рамках 7-й рабочей группы ЕС проводится программа исследований SpaceWire-RT, нацеленная на создание сетевых технических средств, подходящих для перспективных КА, в которых основными требованиями являются скорость реакции, детерминизм, устойчивость к ошибкам и сбоям и надёжность. Технология SpaceWire-RT будет: 1) использовать концепцию виртуальных каналов для обеспечения качества сервиса QoS; 2) обеспечивать возможность широко вещания и мультивещания; 3) увеличивать производительность; 4) обеспечивать доставку сообщений с малым временем ожидания; 5) включать механизмы внеполосной сигнализации с очень малым временем задержки; 6) включать новые методы обнаружения и локализации неисправностей, а также методы вос-

становления; 7) делать сеть полностью ответственной за передачу информации; 8) разъединять прикладные задачи и передачу данных; 9) способствовать реализации соответствующих механизмов передачи данных в относительно простых аппаратных средствах. В основе технологии SpaceWire-RT лежит технология SpaceFibre, которая является высокоскоростным каналом для последовательной передачи данных, разработанным ESA и предназначенным для высокой скорости передачи данных полезной нагрузки в сетях обработки данных. Технология SpaceFibre способна передавать данные по волоконно-оптическим и медным кабелям и увеличить скорость передачи данных в 10 раз, уменьшить массу кабеля в четыре раза и обеспечить гальваническую развязку.

В 2013 г. создан проект стандарта SpaceWire-RT. Результаты работ распространяются для анализа и использования среди международного аэрокосмического сообщества.

Применение технологии SpaceWire в Российской аэрокосмической отрасли обеспечивается наличием серийно выпускаемой отечественной электронной компонентной базой (ЭКБ), в том числе – радиационно-стойкой. Серийные СБИС интерфейсных контроллеров, сетевых коммутаторов SpaceWire, микропроцессоров со встроенными каналами SpaceWire выпускает ОАО «ЭЛВИС», целый ряд других ведущих отечественных разработчиков ЭКБ также ведут проектирование своих изделий с каналами SpaceWire.

МАЛЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЗЗ «МИР-2»

*И.И. Зимин, М.В. Валов, А.В. Яковлев, В.В. Попов
(ОАО «Информационные спутниковые системы»
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Железногорск)*

Ключевые слова: малый, космический, аппарат, МКА, ДЗЗ, МиР-2, НТ-100, ИСС.

МКА «МиР-2» создается на базе платформы «НТ-100». Платформа негерметичного конструктивного исполнения будет повышенной надежности, живучести, стойкости за счет использования элементной базы более высокого качества, чем на предыдущих платформах для малых КА, разработки ОАО «ИСС». Снижение габаритно-массовых характеристик платформы будет осуществлено за счет включения в состав специализированной платформы современного бортового комплекса управления собственного производства и перспективной трех-

осной активной системы ориентации (на базе микро аппаратуры – двигателей маховиков, звездного датчика и т.п.) обладающей высокими точностными характеристиками в обеспечение выполнения всевозможных целевых задач ДЗЗ. Уменьшение времени изготовления платформы достигается за счет использования собственного задела по созданию МКА, а так же уменьшения кооперации соисполнителей.

Платформа должна будет обеспечивать возможность одиночного и группового выведения МКА «МиР-2» на низкие орбиты на различных типах РН легкого, среднего и тяжелого классов.

МКА «МиР-2» будет разработан для получения данных ДЗЗ в интересах различных заказчиков (министерства и ведомства РФ, исполнительные органы власти в регионах РФ, управляющие структуры и субъекты экономической деятельности, региональные центры космических услуг и информационно-аналитические центры, предприятия горнодобывающей промышленности, сельского, лесного и рыбных хозяйств и т.д.).

В состав полезной нагрузки МКА войдет мультиспектральная съемочная система (МСС) разработки ОАО «Пеленг» г. Минск, Республика Беларусь.

В состав МСС входит: фурье-видеоспектрометр (ФВС), инфракрасная съемочная система (ИКСС), блок управления и синхронизации (БУС), комплект межблочных кабелей.

МСС предназначена для получения цифровых гиперспектральных и ИК-изображений земной поверхности из космоса с борта МКА.

Основные технические характеристики МСС для зачетных условий съемки представлены в таблице 1. Зачетные условия съемки: съемка в надир, высота съемки 1500 км, высота Солнца над горизонтом более 20°.

Таблица 1. Технические характеристики МСС

Параметр	ФВС		ИКСС
	Канал видеоспектрометра	Панхроматический канал	
Разрешение на местности, м	100	50	94
Полоса захвата, км	100	100	96
Число спектральных каналов, шт.	30	1	1

Параметр	ФВС		ИКСС
	Канал видеоспектрометра	Панхроматический канал	
Спектральное разрешение, нм	20	–	–
Спектральный диапазон, мкм	0,45 – 0,9	0,5 – 0,9	1,55 – 1,7
Поток целевой информации, Мбит/с (12 разрядное АЦП)	121	3,5	0,9
Потребляемая мощность, Вт	10		7
Габаритные размеры, мм	200x300x100		300x100x100
Масса, кг	не более 25		

Полученная информация с МКА «МиР-2» может быть использована при:

- породной и возрастной классификации лесов;
- мониторинге биологического состояния лесных массивов;
- мониторинге состояния экосистем (заболачивание, опустынивание, засоление, загрязнение территорий и их последствия);
- оценке состояния сельскохозяйственных объектов;
- обнаружении посадок наркосодержащих растений;
- оценке уровня углеводородных загрязнений земной поверхности;
- оценке экологического состояния водоемов;
- оценке загрязнений береговой линии и морских прибрежных вод;
- тематическом мелкомасштабном картографировании лесных массивов, сельскохозяйственных угодий, почвенных ресурсов.

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ КА «КОНДОР-Э»

*К.А. Боярчук, В.В. Виленский,
В.Ю. Гришин, П.М. Еремеев, С.Э. Зайцев, С.Н. Зимин,
Л.М. Морозова, Л.И. Нехамкин, В.С. Рябиков, Р.С. Салихов
(ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики
(ОАО «НИИЭМ»)
г. Истра, Московская область)*

Рассмотрена комплексированная система управления ориентацией и стабилизацией (СО и СС), содержащая три независимых контура управления по связанным осям изделия с магнитным способом сброса накапливаемого суммарного кинетического момента.

Структурно система содержит систему ориентации (СО) и систему стабилизации (СС).

Особенностью СО и СС является то, что СО построена по принципу БИС, моделирующей на борту КА необходимые базовые системы отсчета (системы координат), которыми служат инерциальная, орбитальная и путевая. БИС реализуется на базе бесплатформенного giro-прибора ориентации, являющимся высокоточным датчиком угловой скорости, и работает в двух режимах: с внешней коррекцией и без внешней коррекции – «гиروпамяти».

Применение режима «гиروпамяти» позволяет исключить попадание собственных шумов датчиков коррекции в контуры вычисления оценок параметров ориентации и, тем самым, в значительной степени повысить точность СО.

Комплексирование системы в части СО состоит в использовании для коррекции БИС датчиков внешней информации, использующих в своей работе различные физические принципы – звездные датчики и датчики ИК-вертикали.

СС содержит исполнительные органы контуров управления (ИО) и магнитную систему сброса кинетического момента.

Комплексирование СС состоит в использовании в качестве ИО двигателей-маховиков двигателей ЖРД -СС, входящих в состав изделия.

В докладе приводятся параметры СО и СС, описание режимов работы, функциональные алгоритмы и сравнительные данные по параметрам ориентации, полученные при моделировании и натурной эксплуатации в орбитальных условиях.

АНАЛИЗ ДОСТАТОЧНОСТИ ПРИБОРНОГО СОСТАВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «МЕТЕОР-М» №3 И «МЕТЕОР-МП»

И.Ю. Ильина

(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

В докладе проводится анализ практической востребованности максимально возможного перечня различных типов бортовой целевой аппаратуры для комплексного гидрометеорологического наблюдения и мониторинга окружающей среды. На этой основе и с учетом требований отечественных и зарубежных пользователей, отраженных в Комплексной целевой программе (КЦП) Роскосмоса и Концепции ВМО «VISION FOR THE GOS IN 2025», определяется приоритетный состав приборов. Далее проводится сравнение запланированного набора информационной аппаратуры спутников «Метеор-МП» и «Метеор-М» № 3 с этим составом, КЦП и Концепцией ВМО.

В настоящее время ВНИИЭМ разрабатывает перспективные гидрометеорологические спутники «Метеор-М» № 3 и «Метеор-МП» в интересах Росгидромета и других российских ведомств и организаций-потребителей. Они должны быть выведены на орбиты соответственно в 2017 и 2018 гг. Учитывая то, что Роскосмос и Росгидромет являются членами Всемирной метеорологической организации (ВМО) ООН, состав и информационные характеристики этих спутников обязаны также удовлетворять требованиям концептуальных документов ВМО, на основании которых российские метеоспутники входят в международную орбитальную группировку вместе с аналогичными КА США, Европейского Союза, Китая, Японии и некоторых других стран. В связи со сказанным бортовые целевые приборы КА «Метеор-МП» и «Метеор-М» № 3 должны отвечать запросам как отечественных, так и международных потребителей космических метеорологических данных.

Анализируя российские и зарубежные данные, составлены таблицы задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, решаемых двумя группами приборов: 1) приборами ультрафиолетового (УФ), видимого (В) и инфракрасного (ИК) диапазонов электромагнитного спектра, 2) радиофизическими приборами (активные и пассивные

приборы СВЧ-диапазона). В таблицах отмечены задачи, реализуемые конкретными типами приборов, а затем подсчитаны их относительные количества. На этой основе построены диаграммы потенциальной востребованности разных видов бортовой информационной аппаратуры.

В таблицах отражены следующие типы приборов:

- для 1-й группы: съемочные радиометры в ИК-диапазонах; ИК-зондировщики профилей температуры и влагосодержания атмосферы; коротковолновые (КВ) спектрометры для целей атмосферной химии; радиометры цветности морской воды; приборы радиационного баланса системы Земля – Солнце; приборы обнаружения вспышек молний; многоугловые радиометры (они представляют группу типов приборов для наблюдения земной поверхности под разными углами); лидары; лимбовые КВ-спектрометры; лимбовые ИК-спектрометры;

- для 2-й группы: микроволновые (СВЧ) радиометры, микроволновые радиометры L-радиодиапазона, лимбовые микроволновые спектрометры, микроволновые поляриметры, приборы радиопросвечивания (для радиозатменного зондирования), скаттерометры, радиовысотометры (радиоальтиметры), «облачные» радары, «дождевые» радары, съемочные радары (радиолокаторы бокового обзора С-, Х-, L-, S- диапазонов), ионозонды.

Используя результаты выполненного анализа востребованности различных видов аппаратуры, положения российской Комплексной целевой программы (КЦП), подготовленной по поручению Роскосмоса в ЦНИИмаш совместно с ФГБУ «НИЦ «Планета» и рядом других организаций, а также требования Концепции ВМО «VISION FOR THE GOS IN 2025», обоснован приоритетный состав целевых приборов. Он предназначен для оснащения перспективных спутников для оперативной метеорологии, мониторинга окружающей среды, изучения эволюции климата, океанографии и океанологии. Полученный перечень достаточно полно отражает интересы как отечественных, так и зарубежных потребителей космических данных.

Состав и параметры бортовых целевых комплексов перспективных спутников «Метеор-МП» и «Метеор-М» №3 сформулированы в Технических заданиях на их разработку и создание, выданных Роскосмосом совместно с Росгидрометом. В докладе представлена таблица, в которой объединенный комплекс приборов этих КА сравнивается с КЦП, Концепцией ВМО и вышеуказанным приоритетным составом.

Результаты сравнения объективно свидетельствуют в пользу того, что объединенный комплекс хорошо соответствует запросам российских потребителей, сформулированным в Комплексной целевой программе, и интересам международных пользователей, отраженных в Концепции ВМО «VISION FOR THE GOS IN 2025». Он также достаточно полно учитывает оценки практической востребованности различных типов аппаратуры для гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, анализ которых лег в основу приоритетного состава.

Тем самым обосновывается корректность бортовых комплексов целевой аппаратуры перспективных гидрометеорологических КА, «Метеор-М» № 3 и «Метеор-МП», создаваемых во ВНИИЭМ, а также подтверждается их важная роль и приоритетное место в международной Глобальной системе наблюдения, формируемой под эгидой ВМО.

СЕКЦИЯ 2. ПРИБОРЫ СЛУЖЕБНЫХ СИСТЕМ КА, КОНСТРУКЦИИ И АНТЕННЫ КА

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

*А.В. Есиновский, А.В. Леонтьев, А.Б. Уманский
(ФГУП «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова»,
г. Екатеринбург)*

Ключевые слова: система управления, космический аппарат, факторы космического пространства, резервирование.

Одним из приоритетных направлений технической политики РФ является достижение научной и технологической независимости в создании цифровых вычислительных систем для бортовых систем управления (СУ) подвижными объектами, таких как космические аппараты длительного пребывания на околоземной орбите. Независимость от зарубежной элементной базы в данной области обеспечит высокую конкурентоспособность на рынке предоставления услуг наблюдения, телекоммуникаций и связи.

На НПО автоматики (НПОА) данная задача определила необходимость начала работ с использованием отечественной микроэлектроники по созданию малогабаритных цифровых вычислительных систем, работающих в режиме жесткого реального времени и устойчивых к факторам космического пространства (ФКП).

Основной опасностью для аппаратуры СУ, функционирующей в космическом пространстве являются ионизирующие излучения и тяжелые заряженные частицы, вызывающие сбои в работе аппаратного обеспечения СУ, в том числе и тиристорный эффект, который может приводить к выводу из строя микроэлектроники СУ. Следовательно, управляющая цифровая часть СУ космического аппарата (КА) должна быть спроектирована на устойчивой к ФКП элементной базе с соответствующими встроенными аппаратно-программными средствами контроля и восстановления.

К настоящему времени на НПОА проводится отработка макетных образцов малогабаритной СУ на базе трехканального вычислительного модуля (ВМ).

Каждый канал вычислителя содержит: процессор, ОЗУ, ПЗУ, интерфейсную ПЛИС. Процессорные каналы связаны друг с другом последовательным интерфейсом SpaceWire.

ПЗУ вычислительного канала условно разделено на два банка с возможностью переключения используемого в данный момент банка соседним или собственным каналом вычислителя. Для противодействия повреждениям памяти в обоих банках ПЗУ хранятся одинаковые программы. Каждая копия программы разбита на блоки, снабженные контрольными суммами. Смена банка ПЗУ достигается путем манипулирования старшим разрядом шины адреса микросхемы ПЗУ. Каждый канал имеет мажоритированную схему управления собственным питанием, команда на управление питанием подается из соседних каналов.

Программно-логическая защита от выдачи ложных команд заключается в формировании ключа, разрешающего выдачу информации только после МПО. Во всех процедурах выдачи, сравнивается значение сформированного ключа с заданным для выдачи. Несовпадение ключа считается сбоем, и процессор, физически подключенный к внешнему устройству, считается сбившимся.

При фиксации сбоя перезагружают сбившийся процессор. Сигнал снятия питания выставляется с обоих соседей. Восстанавлива-

емый процессор инициализируется аналогично, как и при первой подаче питания. Инициализировавшись, процессор квитирует соседние процессоры об успешном запуске. При отсутствии квитанции в течение определённого времени соседний процессор меняет зону загрузки для восстанавливаемого процессора и заново перезапускает его. При удачном восстановлении, восстанавливаемый процессор должен получить из соседнего процессора данные для восстановления вычислительного процесса.

Заложенные аппаратно-алгоритмические средства контроля и восстановления позволяют обеспечить работоспособность системы в условиях возникновения кратковременных разовых сбоев (с частотой не чаще, чем один сбой раз в 50–100мс), что позволяет управляющему вычислителю не только реализовать выполнение всей совокупности задач, решаемых СУ КА в реальном масштабе времени, но и с большой долей вероятности обеспечить живучесть СУ в условиях воздействия ФКП.

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРИБОРОВ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПО ЗВЁЗДАМ

В.И. Федосеев

(Открытое акционерное общество

«Научно-производственное предприятие «Геофизика-Космос»,

г. Москва)

Ключевые слова: звёздные приборы, основные характеристики, устойчивость к сбоям.

Традиционно основными направлениями совершенствования звёздных приборов КА были повышение точности и помехозащищённости, снижение массы и габаритов, увеличение срока службы. К настоящему времени разработано большое количество технических решений, благодаря которым достигаются весьма высокие показатели по этим направлениям и на базе которых могут проводиться работы по дальнейшему их развитию. По мере накопления опыта эксплуатации современных звёздных приборов на КА различного назначения выявляется необходимость введения ещё одной группы показателей, характеризующих эксплуатационные возможности приборов, – показателей сбоеустойчивости. Именно проблема обеспечения сбоеустойчивости

при воздействии факторов космического пространства сегодня выдвигается на первое место.

Согласно ГОСТ 27.002 – 89, под сбоем в работе аппаратуры понимается «самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора». Термин «незначительное вмешательство» в общем случае допускает широкое толкование, но для космической аппаратуры, по нашему мнению, он может быть существенно конкретизирован: отказ должен устраняться в полёте без замены материальной части и с минимальными затратами времени. Актуализация понятия сбоя связана с вычислительной техникой, где по мере повышения степени интеграции элементной базы проявлению сбоев способствовал взрывоподобный рост количества активных элементов в ЭВМ, недостаточно устойчивых к воздействию всевозможных факторов (зачастую ненормируемых). Повышение сбоеустойчивости аппаратуры можно обеспечивать двумя путями – использованием сбоеустойчивой элементной базы и разработкой специальных мер по парированию сбоев, возникающих в подверженных сбоям элементах. Для разработчиков аппаратуры предпочтителен первый путь, но, к сожалению, он далеко не всегда возможен, поэтому на практике вынужденно используется и второй путь.

Особенность современных звёздных приборов по сравнению с предшествующими состоит в резком увеличении количества функций по обработке информации, которые могут быть реализованы только программными средствами с помощью вычислителей высокой производительности. К таким функциям относятся: выделение слабых сигналов на фоне всевозможных помех (световых, электрических и электромагнитных, порождаемых заряженными частицами космического пространства и т.п.), высокоточное измерение угловых координат с учётом паспортизации и различных калибровок, распознавание групп звёзд, вычисление матриц или кватернионов ориентации и др. Поэтому быстродействующий вычислитель с большим объёмом памяти, работающий в реальном времени, – неотъемлемая принадлежность современных звёздных приборов и все сбои, присущие современным элементам вычислительной техники, в той или иной степени могут проявляться при работе звёздных приборов. Но, с другой стороны, все методы парирования сбоев, применяемые в вычислительной технике, также могут быть применены в вычислителях звёздных приборов.

Другая особенность современных звёздных приборов – это использование многоэлементных матричных приёмников излучения. Такой приёмник, содержащий несколько миллионов пикселей, собирает в каждом кадре огромное количество информации о различных источниках излучения, что, несомненно, полезно с точки зрения обеспечения основных характеристик – точности, помехозащищённости. Но одновременно в таком приёмнике генерируются в большом количестве новые разновидности помех – начиная от неоднородностей темновых и световых сигналов самого приёмника и кончая одиночными эффектами реакции пикселей на воздействие заряженных частиц. Эти помехи могут быть источником дополнительных сбоев, что вынуждает создавать специальные алгоритмы для борьбы с ними.

В материалах доклада рассматриваются различные виды сбоев, которые проявляются в звёздных приборах, – обратимые запоминаемые и незапоминаемые, тиристорный эффект, искажения информации в ППЗУ, сбои из-за влияния заряженных частиц на приёмную матрицу, приводятся описания мер по парированию таких сбоев. В частности, для устранения искажений информации в ППЗУ (в случае их возникновения) необходимо осуществлять перезапись ППЗУ в полёте, что должно рассматриваться как ремонт. Реализация всех перечисленных мер может осуществляться как средствами программного обеспечения самого прибора, так и программами управления работой прибора в бортовой системе ориентации. В последнем случае должны быть использованы специальные алгоритмы идентификации сбоев и выработаны соответствующие управляющие воздействия на прибор.

Для количественной оценки сбоеустойчивости целесообразно использовать следующие показатели – среднее время бессбойной работы, время восстановления выдачи информации после сбоя, среднее время безремонтной работы (без перезаписи ППЗУ).

На базе результатов лётно-конструкторских испытаний приборов звёздной ориентации 329К в составе КА «Луч-5А», «Луч-5Б» проводится оценка эффективности разработанных мер по парированию сбоев, результаты оценки приводятся в виде численных значений показателей сбоеустойчивости.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОВ ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ БОКЗ

*Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов, А.А. Фори
(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва)*

Ключевые слова: прибор звездной ориентации, космический аппарат, характеристики приборов звездной ориентации, БОКЗ.

За последнее десятилетие ИКИ РАН накопил значительный опыт в разработке, создании и эксплуатации на борту КА приборов звездной ориентации. Первое поколение приборов БОКЗ отработало 10 лет на КА «Ямал-100», функционирует на МКС, начиная с 2000 года и на КА «Ямал-200» с 2003 года. Следующее поколение приборов, получивших название БОКЗ-М, начало эксплуатироваться в космосе с 2004 года. На данный момент в ИКИ РАН создано более 120 звездных приборов различных модификаций, 51 из которых запущены в космос на 25 КА с суммарной наработкой в космическом пространстве более 1,2 миллиона часов. Приборы БОКЗ-М60 используются на блоке выведения «Волга», в том числе на активных участках работы реактивных двигателей. Кроме того, на разных стадиях наземной отработки находятся еще около 20 КА, укомплектованных различными модификациями приборов БОКЗ.

Существующие образцы приборов БОКЗ, выполнены на элементной базе космического применения десятилетней давности. Резервы, заложенные при создании первых образцов приборов БОКЗ, в сочетании с непрерывным развитием программно-алгоритмического обеспечения приборов позволяли улучшать их характеристики по частоте обновления информации об ориентации, диапазону угловых скоростей и ускорений при сохранении параметров точности и массы. Так, в приборах БОКЗ-М60/1000 по сравнению с приборами БОКЗ-М на порядок повышены частота обновления информации и диапазон угловых скоростей, а диапазон угловых ускорений – на два порядка.

На текущем этапе появляется радиационно-стойкая элементная база следующего поколения, которая позволяет продолжать улучшение характеристик приборов звездной ориентации. Более того, показано, что характеристики приборов, построенных на новой элементной базе, достигают предельных величин, ограниченных такими фундаменталь-

ными параметрами как апертура. Можно говорить, что более тяжелый и габаритный прибор будет обладать более высокими характеристиками по точности, допустимой угловой скорости и частоте обновления информации, чем малогабаритный прибор звездной ориентации.

Вследствие этого, ИКИ РАН ведет разработку линейки приборов различных классов. Малогабаритный прибор массой до 1 кг обладает точностью до 0,7 угл.с, частотой обновления информации до 10 Гц и диапазоном угловых скоростей до 10°/с. Более тяжелый прибор массой до 4 кг обладает точностью до 0,1 угл.с, частотой обновления информации до 40 Гц и диапазоном угловых скоростей до 10°/с. Разрабатываемая линейка приборов позволяет перекрыть требования всех типов российских КА на ближайшее десятилетие.

ПОЧЕМУ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ ЯВЛЯЕТСЯ ЛУЧШИМ ОТВЕТом НА ПОТРЕБНОСТИ ПОЛЕТОВ В ЦЕЛЯХ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ?

*Жильбер Крос
(AIRBUS DS)*

В последние четыре десятилетия волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) получили значительную выгоду от огромного развития наземной телекоммуникационной техники и промышленности. Их основные компоненты (оптические и оптико-электронные части) достигли очень высоких характеристик и стали очень надежными при доступной цене. Присущие ВОГ характеристики таковы, что их производство не требует узкоспециального и дорогостоящего производственного оборудования средств (как например станка для полирования зеркала для кольцевых лазерных гироскопов (RLG) или устройств для обработки резонаторов для волновых твердотельных гироскопов (HRG)). Таким образом, в наземных применениях ВОГ все больше и больше приходят на смену кольцевым лазерным гироскопам.

Технология ВОГ имеет очень высокий потенциал роста характеристик. Кроме того, в силу присущих характеристик, она хорошо подходит для потребностей космических применений и хорошо пригодна для космических условий, где колебания температуры и механические нагрузки являются достаточно плавными. Потемнение волокна под воздействием излучения было проблемой в прошлом; путем подбора радиационно-стойких

волокон (что подтверждается результатами эксплуатации на орбите) ВОГ оказываются стойкими к космической среде.

Будет представлено краткое введение в физику ВОГ. Работа ВОГ основана на принципах интерферометрии (эффекте Саньяка). С помощью методов модуляции/демодуляции, постоянно оценивается информация об угловой скорости и коэффициент усиления замкнутого контура гироскопа на очень высокой частоте (> 100 кГц). Это позволяет достичь высоких и очень высоких инерциальных характеристик, одновременно предлагая непревзойденное покрытие встроенным контролем.

Затем в презентации будут перечислены в деталях все преимущества технологии ВОГ для полетов в целях наблюдения за Землей. Они многочисленны и несомненно превосходят другие твердотельные технологии для данной области применения. Среди наиболее интересных преимуществ с точки зрения инерциальных характеристик - широкая полоса пропускания, высокое разрешение и низкий уровень шумов (чистый случайный угловой дрейф), которые являются главными факторами, влияющими на качества изображения. Благодаря низкому рассеиванию и отсутствию движущихся частей, ВОГ являются неинтрузивными датчиками, поэтому они могут быть установлены близко к инструментам и измеряют их фактическое движение независимо от деформаций конструкции космического аппарата. Благодаря очень короткому времени запуска (менее 1 угловой секунды) и простоте использования в сочетании с высокой надежностью, облегчается внедрение и эксплуатация ВОГ,

В начале 2000-х годов, компания AIRBUS DS (ранее ASTRIUM SAS) в сотрудничестве с французской фирмой IXSPACE разработала (при поддержке Французского Космического Агентства и ЕКА) семейство инерциальных измерительных блоков (IRU) для широкого диапазона космических применений. В настоящее время более 44 ВОГ-осей функционируют на орбите, демонстрируя отличные результаты и надежность. В статье представлен краткий обзор опыта орбитальной эксплуатации на примере двух представительных приложений, а именно: COMS, где ВОГ подвергаются жесткой радиации на геостационарной орбите (GEO) среды в течение 4 лет, и спутниковая группировка PLEAIDES для наблюдения за Землей, в которой выдающиеся инерциальные характеристики ВОГ являются одним из ключевых факторов признанного успеха этой миссии. Предлагаются две конфи-

гурации. На изделиях ASTRIX200 и ASTRIX120, основной блок датчиков (ICU) отделен от блока электроники (GEU), выделяющего тепло. Они состоят из четырех электрически и функционально независимых ВОГ каналов, а их сенсорная головка установлена на четырехгранной конструкции. ASTRIX1090 и ASTRIX1120 представляют собой отдельные блоки с 3 измерительными осями ВОГ. Резервирование обеспечивается путем установки двух отдельных блоков на космическом корабле

В заключение, будут обсуждаться новые возможности, которые этот продукт предлагает для космических полетов, и пути дальнейшего развития для повышения конкурентоспособности и характеристик продукта.

УНИФИЦИРОВАННЫЙ РЯД СИЛОВЫХ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.Р. Мкртычян, Н.И. Башкеев, Д.И. Акашев, О.Б. Яковец
(ФГУП «НИИ командных приборов», г. Санкт-Петербург)*

Ключевые слова: силовые гироскопические комплексы, СГК, система управления ориентацией космического аппарата, гиродин.

НИИ командных приборов проводит разработки силовых гироскопических комплексов (СГК) для космических аппаратов (КА), решающих задачи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), с 1969 года. Первым поколением СГК стали спаренные трехстепенные гироскопы с кинетическим моментом каждого гироскопа 100 Н·м·с.

Совершенствование систем управления КА обусловило с 1978 года начало разработок двухстепенных силовых гироскопических приборов, названных гиродинами, впоследствии ставших основой при построении систем управления ориентацией КА ДЗЗ.

Учитывая потребности разработчиков КА в создании гирогинов для КА с различными массами и размерами и, соответственно, требующих разных значений кинетического момента гироскопов, на заседании секции № 4 НТС Министерства общего машиностроения 22.12.1981 года была поставлена задача унификации разработок гиро-

динов из ряда значений кинетического момента ($\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$): 100, 250, 500, 1000, 2500.

К концу 1980-х гг. НИИ командных приборов были разработаны и отработаны гиродины с кинетическими моментами 100 $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$, 250 $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$, 2500 $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$.

Гиродин с кинетическим моментом 1100 $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ был разработан ВНИИЭМ для орбитальной станции «Мир», находившейся в эксплуатации с 1986 по 2001 годы.

В течение 1990-х гг. осуществлялись поставки гиродинов различных конструкций.

В начале 2000-х гг. НИИ командных приборов спрогнозировал потребность отрасли в СГК, обеспечивающих малоразмерные высокодинамичные КА, связанную с современными тенденциями уменьшения массы разрабатываемых КА и, соответственно, со снижением их стоимости и возрастанием общего количества потенциальных потребителей.

В результате, в настоящее время в НИИ командных приборов проводятся опытно-конструкторские работы по созданию гиродинов со значениями кинетических моментов 3, 5, 30, 50 $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ в интересах различных заказчиков, а также поставляются прошедшие летные испытания гиродины с кинетическими моментами 100 и 250 $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$.

Отдельно отмечается, что в рамках перспективной работы по созданию орбитальной базы (станции) реализована проработка гиродина тяжелого класса с номиналом кинетического момента 1000 $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$. Головная организация – РКК «Энергия».

В основу унифицированного по значениям кинетических моментов ряда современных гиродинов заложены следующие основные унифицированные технические решения:

1. в качестве двигателей гиromотора (ГМ) используются бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ) с дублированными обмотками без датчика положения ротора (ДПР), что позволяет избежать наличия слаботочных линий в устройстве трансляции сигналов с неподвижной на подвижную часть подвеса ГМ, повысить ресурс и надежность изделия, улучшить его габаритно-массовые характеристики. Обеспечена возможность длительного (свыше 15 лет) ресурса работы ГМ на шарикоподшипниковой опоре с одноразовой закладкой смазки подтверждена испытаниями 7-ми ГМ с наработкой более 20 лет каждый и 9-ти – с наработкой более 15 лет каждый;

2. в исполнительном электроприводе используются низкоскоростные БДПТ без ДПР в составе двигателя. Информация об угле поворота ротора двигателя формируется по сигналам с датчика угла на оси подвеса ГМ. Для гиродинов с кинетическим моментом $30 \div 1000 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ оптимальным является одноступенчатый редуктор с передаточным числом $10 \div 20$;

3. для целей управления скоростью вращения привода подвеса ГМ, измерения угла поворота подвеса ГМ и в качестве ДПР ротора двигателя привода используется резервированный многополюсный индуктивный датчик угла, устанавливаемый на оси подвеса ГМ, и двадцатиразрядный цифровой преобразователь угол-код. Это позволяет обеспечить высокие точностные и динамические характеристики скорости поворота подвеса ГМ (момента управления) и уменьшить габаритно-массовые характеристики привода;

4. цифровые системы управления частотой вращения ротора гиromотора и скоростью вращения привода подвеса ГМ построены на основе современных микроконтроллеров, ЦАП, АЦП, других модулей и микросхем и в последних разработках интегрированы с блоками конечных устройств мультимплексного канала обмена по ГОСТ Р52070-2003.

Технические характеристики современных гиродинов разработки НИИ командных приборов, приведены в таблице.

Таблица. Технические характеристики гиродинов

Наименование изделий	Кинетический момент, $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$	Управляющий момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$	Масса, кг	Год разработки	Заказчик
402НП21	3	$\pm(0,001 \div 1,1)$	4,5	2013	РОСКОСМОС
СГК-5	5	$\pm(0,0015 \div 1,5)$	5,6	2014	НПО им. С.А. Лавочкина
Колибри	30	$\pm(0,0036 \div 30)$	17 (моно-блок)	2013	РОСКОСМОС
СГК-50	50	$\pm(0,006 \div 50)$	20	2014	РОСКОСМОС
14М537	60; 100	$\pm(0,012 \div 100)$	25,6	2010	ЦСКБ-Прогресс

14М533	250	$\pm(0,018\div37,5)$	49	2004	ЦСКБ-Прогресс
СГК-1000	1000	$\pm(0,1\div200)$	99	2011	РКК «Энергия»

Дальнейшими этапами модернизации СГК являются:

- изменение схемо-технических решений, реализуемых на цифровых элементах импортного производства, на максимально возможное использование разрабатываемых отечественных ЭРИ с повышенной радиационной стойкостью;
- реализация обмена по интерфейсу Space Wire;
- улучшение вибродинамических характеристик.

Многолетний опыт и научно-технический потенциал НИИ командных приборов позволяют обеспечить все классы разрабатываемых КА, от микро- до тяжелых КА и орбитальных станций, силовыми гироскопическими комплексами, отвечающими высоким современным техническим требованиям

ОТ МИНИАТЮРИЗАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ К СОЗДАНИЮ МИКРОСПУТНИКОВ

В.Н. Бойкачев, В.В. Хоменко

(Автономная некоммерческая организация «Научно-технический инновационный центр «ТЕХКОМ», г. Москва)

Ключевые слова: микроспутники, бортовая радиоэлектронная аппаратура, миниатюризация.

Под микроспутниками будем подразумевать космические аппараты (КА) весом до 50 кг. В основном это КА нанокласса. За рубежом это направление космонавтики активно развивается. В России же подобные вопросы еще только обсуждаются. Из летающих в настоящее время российских микроспутников рассматриваемого класса необходимо отметить КА «Чибис», созданный в ИКИ РАН. В Фонде «Сколково» в стадии разработки находятся несколько так или иначе связанных с микроспутниками проектов. Есть также несколько учебных проектов.

За последние несколько лет в АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ» было разработано и изготовлено несколько образцов бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) для космических аппаратов (КА), электроракетных двигателей и систем, создававшихся в НПО им. С.А. Лавочкина,

Фонде «Сколково», ОКБ «Факел», Центре Келдыша и др. (БЦВМ, бортовой радиокомплекс, блок управления остроуправленной антенной, интеллектуальные системы электропитания и др.). Вся РЭА создавалась на единой конструкторско-технологической и производственной базе. Конструкция РЭА имеет модульную схему и характеризуется высоким уровнем конструктивно-технологической унификации.

Накопленный опыт позволил АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ» приступить к созданию собственной космической платформы на основе микроспутника. Постановка данной задачи была обусловлена достижениями предприятия в области миниатюризации РЭА КА и существующим мировым трендом миниатюризации КА. Развитию данного тренда способствуют высокие темпы научно – технического прогресса в области микроэлектроники, в том числе космической, в результате чего массогабаритные характеристики РЭА космического применения постоянно снижаются, а её функциональные возможности растут.

На основе интеграции РЭА, созданной в АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ», была разработана и запатентована конструкция микроспутника «ТЕХКОМсмартсат». Благодаря высокой прочности и жёсткости входящих в него систем, данное изделие не требует каркаса. В результате его вес составляет порядка 10 кг. Запатентованная бескаркасная модульная конструкция спутника создает уникальные возможности для адаптации его служебных систем к полезной нагрузке, позволяя существенно снижать габаритно-массовые характеристики.

Как показала практика космических полётов, современный БРК должен быть многоканальным. Рассматриваемый БРК способен работать одновременно в L, S и X диапазонах частот (есть возможность увеличения числа диапазонов). Такой подход значительно расширяет функциональные возможности создаваемой космической платформы, а также позволяет по-новому решить задачу радиосвязи с Землей и другими КА.

Создание маломассогабаритного БРК, работающего одновременно в трёх диапазонах частот (L, S и X), позволит с помощью микроспутников решить задачи связи, подобные тем, которые решают существующие группировки низкоорбитальных спутников («Иридиум», «Глобалстар»).

Кроме того, в группе компаний «ТЕХКОМ» начата разработка плазменного микродвигателя для микроспутников. Данный проект реализуется

компанией ООО «ТЕХКОМ-минитрастер» в Фонде «Сколково». Этот проект позволит сделать микроспутники управляемыми.

Наличие управляемых микроспутников позволит приступить к созданию их орбитальных группировок. Такой подход позволит значительно сократить затраты в связи с их относительно низкой стоимостью изготовления и дешевым доступом в космос, особенно при кластерном запуске.

С этой целью предлагается проведение нескольких НИОКР, которые будут иметь целью создание орбитальной группировки информационно связанных между собой микроспутников, построенных на платформе «ТЕХКОМсмартсат». Входящие в группировку КА будут иметь отличия по функциям, объемам переработки информации и др., но будут совместно выполнять комплекс задач связи и дистанционного зондирования Земли.

С указанным выше БРК будет работать создаваемый в ООО «ТЕХКОМ-электроник» микроэлектронный резервированный многофункциональный модуль управления КА (бортовой компьютер). Прототипом проекта является дублированная перепрограммируемая ЦВМ22, которая уже около 3 лет летает на КА нового поколения «ГЛОНАСС-К». Она весит 1,9 кг (с учетом полного дублирования).

Модульная схема микроспутника «ТЕХКОМсмартсат» позволит наращивать вычислительные возможности бортового компьютера для переработки на борту большого объема информации, что необходимо для решения задач связи.

Проведенный краткий анализ показывает, что в России начинает формироваться научно-технический потенциал, необходимый для создания микроспутников разного назначения, включая управляемые.

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

*Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева
(Московский авиационный институт (государственный технический
университет), МАИ)*

Ключевые слова: антенная решетка; спутниковая связь; широкоугольное сканирование.

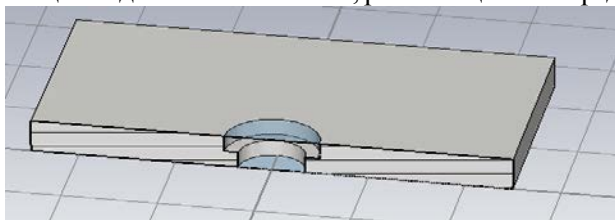
В настоящее время возникает необходимость в расширении функциональных возможностей систем спутниковой связи с подвижными

объектами. При этом антенны, устанавливаемые на подвижном объекте, должны обеспечивать устойчивый прием сигнала при изменении ракурса объекта. Основным требованием, предъявляемым к таким системам, является обеспечение высокого энергетического потенциала в секторе сканирования.

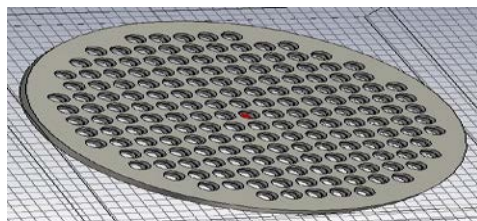
В литературе приводятся антенные решетки с электрическим сканированием в угломестной плоскости и механическим сканированием в азимутальной плоскости. Однако не все варианты позволяют отслеживать направление на спутник при изменении ракурса подвижного объекта.

Антенные решетки (АР) для мобильных систем спутниковой связи обычно изготавливаются по печатной технологии и обладают хорошими массогабаритными характеристиками. Однако печатные антенные решетки имеют большие потери в распределительной системе. Поэтому перспективным вариантом построения является использование волноводных элементов и радиального волновода в качестве распределительной системы. Излучающий элемент такой решетки образуется волноводом прямоугольного или круглого поперечного сечения и возбуждающим плоским или радиальным волноводом.

Общий вид излучателя показан на рис.1, а. Высота ступеньки излучателя и его диаметр выбираются исходя из согласования волновода со свободным пространством. В приведенной электродинамической модели возбуждение осуществляется волноводным портом. При моделировании антенного полотна необходимо определить оптимальную схему размещения элементов. Здесь возможны три варианта: размещение элементов в узлах прямоугольной сетки, гексагональной сетки и по концентрическим окружностям. По количеству элементов, а также для сохранения характеристик направленности при сканировании в горизонтальной плоскости наиболее подходящим вариантом является размещение элементов по концентрическим окружностям. На рис.1, б представлен общий вид антенного полотна, работающего на передачу.



а)



б)

Рис. 1.

Характеристики направленности антенной решетки в вертикальной плоскости представлены на рис. 2 в диапазоне на передачу

Farfield (Array) Directivity Abs (Phi=90)

Farfield (Array) Directivity Abs (Phi=90)

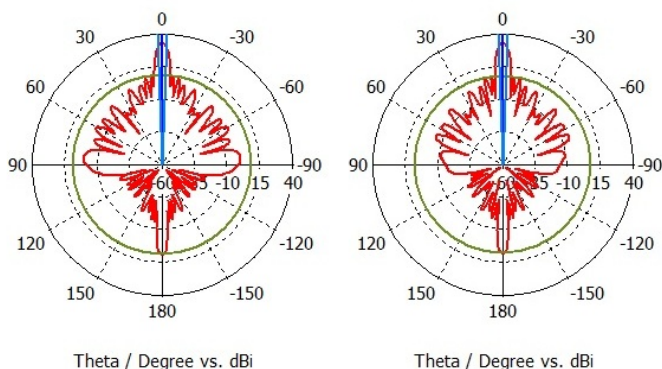


Рис. 2.

Таким образом, определены схемы построения антенных решеток спутниковой связи с широкоугольным сканированием. Разработаны электродинамические модели различных вариантов построения антенного полотна. Рассмотрены различные типы замедляющих систем, обеспечивающих формирование луча. Определены параметры антенного полотна и характеристики распределительной системы.

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ОСТРОНАПРАВЛЕННЫХ АНТЕНН ПРИ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

*В.И. Гусевский, В.Е. Бондарев, А.А. Копытина
(ОАО «Особое конструкторское бюро
Московского энергетического института»,
г. Москва)*

Ключевые слова: зеркальная антенна, ФАР, ортогональные полиномы, фазовые гармоники.

Проблема увеличения срока активного функционирования остро-направленных антенн космических аппаратов (КА) различного назначения всегда остается одной из приоритетных задач космической техники. Увеличение времени активного функционирования антенны хотя бы в 2 раза эквивалентно стоимости вывода на орбиту нового КА с такой же антенной системой.

В России и западных странах имеется большое количество публикаций и изобретений, направленных на решение поставленной задачи. Однако в большей части этих работ рассматриваются конкретные отказы отдельных элементов и приводятся рекомендации по компенсации вносимых искажений за счет изменения комплексных состояний возбуждения поля исправных соседних элементов, то есть отсутствует методология общего подхода к проблеме восстановления выходных характеристик антенн при различных искажениях диаграммы направленности (ДН).

В настоящем докладе задача восстановления пространственных характеристик апертурных антенн рассматривается в достаточно общей постановке, также предлагается конструктивный способ её решения, основанный на методе апертурных ортогональных полиномов (АОП).

Рассмотрим процедуру восстановления «испорченной» ДН зеркальной антенны, поверхность которой деформировалась в процессе длительной эксплуатации таким образом, что практически исчезли её фокусирующие свойства. На рис. 1, а показаны исходная ДН и фактическая для раскрыва диаметром порядка 20π со спадающим амплитудным распределением, описываемым в сечении раскрыва функцией $\rho(x) = 1 - x^2$. Пусть в результате контроля фазовое распределение представляется функцией

$$\Phi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_7x^7. \quad (1)$$

В соответствии с методом АОП функция (1) может быть представлена отрезком ряда Фурье (2) по ортогональным полиномам, порожденным выше заданной функцией амплитудного распределения

$$\Phi(x) = \sum_{n=0}^7 C_n P_n(x), \quad (2)$$

в котором все слагаемые обладают свойством взаимной ортогональности. В связи с этим можно определить относительные парциальные ортогональные дисперсии, или «мощности» фазовых искажений, отвечающие каждой гармонике:

$$\delta_q = \frac{\int_{\Omega} [C_q P_q(x)]^2 \rho(x) dx}{\int_{\Omega} \Phi^2(x) \rho(x) dx}; \quad q = 0, 1, 2, \dots, 7.$$

где $\int_{\Omega} \Phi^2(x) \rho(x) dx = 0 -$

суммарная «мощность» фазовых искажений в раскрыве.

Для приведенного примера картина относительных парциальных дисперсий показана на рис. 1, б в виде гистограммы, из которой следует, что в данном случае основной причиной искажения исходной ДН является отклонение линейного закона в наилучшем среднеквадратическом приближении к функции (1) от первоначального синфазного распределения.

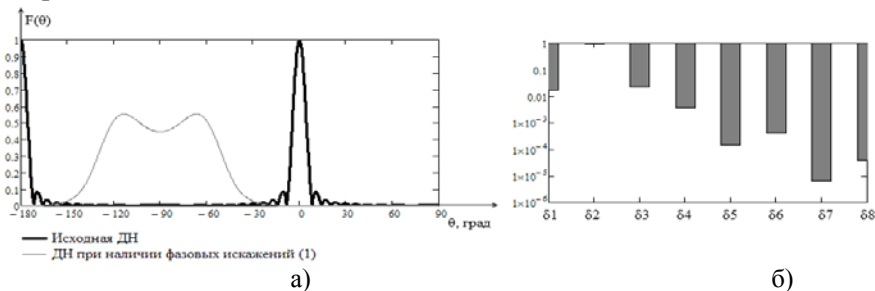
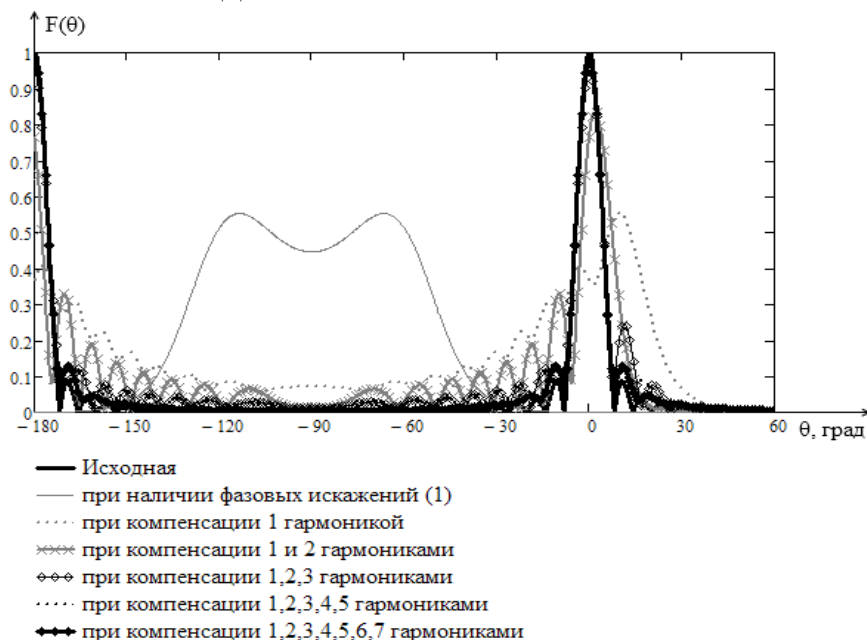


Рис. 1. Диаграммы направленности антенны и гистограмма парциальных фазовых дисперсий

На рис. 2 показан результат пошагового приближения к исходной ДН при последовательном вычитании ортогональных слагаемых ряда (2) из общей функции фазового распределения (1). При полной компенсации фазовых искажений исходная ДН восстанавливается полностью.



Практическая реализация этого способа опирается, во-первых, на известные факты о наличии локальных зон в раскрывах апертурных антенн (ФАР или зеркальных антенн), фазовые возмущения в которых максимальным образом влияют на формирование определенных парциальных гармоник фазового распределения, во-вторых, на процедуру получения оптимальных аппроксимационных выражений локальных фазовых возмущений, позволяющих скомпенсировать действие соответствующей фазовой гармоники. При этом, по крайней мере, смежные ортогональные полиномы (порядка трех и более), не имеют совпадающих экстремальных точек или нулей ортогональных многочленов, что позволяет пространственно разносить локальные фазовые возмущения на антенном раскрыве.

Технические возможности восстановления ДН апертурных антенн связываются в случае зеркальных антенн с разработкой управляемых пассив-

ных рассеивателей, а в случае ФАР опираются на корректирующие возможности фазосдвигающих устройств аналогового или цифрового типа.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «ИОНОСФЕРА»

Э.В. Гаджиев

(ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики»

г. Истра)

Ключевые слова: микрополосковая (печатная) антенна, двухчастотная антенна, бортовая антенна, космический аппарат, моделирование бортовых антенн, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления.

Введение

Активная тенденция по переходу от разработок и внедрения малых космических аппаратов (КА) вместо больших КА привела к миниатюризации бортовых систем, в том числе и бортовых антенных систем (АС). Как известно, одной из главных особенностей бортовых АС является ограниченное и определённое место установки антенн на поверхности КА.

Таким образом, при проектировании АС для малых КА необходимо разрабатывать малогабаритные, невыступающие антенны с простой конструкцией и хорошей надежностью для обеспечения целевой задачи АС.

Стремительное развитие технологий производства интегральных схем привело к появлению нового вида антенн – микрополосковых (печатных) антенн. Такие антенны могут быть выполнены с высокой точностью, поскольку для их изготовления может быть использовано прецизионное оборудование, применяемое для производства печатных плат. По этой причине микрополосковые антенны также называют антеннами в печатном исполнении, печатными антеннами.

Таким образом, при проектировании АС для малых КА необходимо разрабатывать малогабаритные, невыступающие антенны с простой конструкцией и хорошей надежностью для обеспечения целевой задачи АС. В качестве таких антенн предлагается использовать микрополосковые (печатные) антенны.

Основная часть

Представлены результаты моделирования МПА на рабочих частотах 150 МГц и 400 МГц для перспективного применения на КА

«Ионосфера». За счет подбора оптимального диэлектрика и конструктивных особенностей построения микрополосковых (печатных) антенн для указанных частот, были получены оптимальные массогабаритные показатели для бортовых антенн. При этом были получены приемлемые значения по коэффициенту стоячей волны, диаграмме направленности и коэффициенту усиления.

В данной работе представлена модель двухчастотной микрополосковой (печатной) антенны. Полученные параметры антенны в ходе моделирования удовлетворяют требованиям по техническому заданию на антенную систему КА «Ионосфера».

Заключение

Разработка двухчастотной бортовой микрополосковой (печатной) антенны позволит объединить две антенны в одну и тем самым освободить место на поверхности КА, что в свою очередь приводит к появлению возможности перекомпоновки и более эффективного использования поверхности КА.

ИТЕРАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЗАМКНУТОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМОЙ ДЛЯ КА ДЗЗ

А.А. Гусев

(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

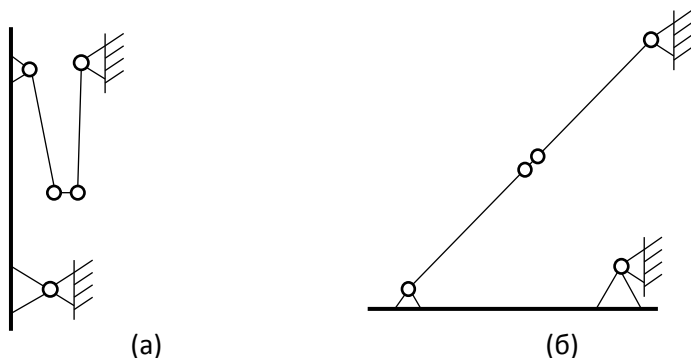
Ключевые слова: механическая система, замкнутая кинематическая схема, ударное воздействие, центробежный регулятор, математическое моделирование.

В представленной статье рассмотрена реализация итерационного подхода на примере проектирования откидной платформы космического аппарата (КА) «Метеор-М» №3. Откидная платформа предназначена для крепления бортовой аппаратуры (БА), в частности скаттерометра и блоков корректирующей двигательной установки, которые должны на этапе выведения КА на орбиту быть компактно сложены для обеспечения компоновки под обтекателем и жестко закреплены на корпусе КА.

Предварительная компоновка КА проводилась исходя из условия геометрического размещения БА под обтекателем, а также обеспечения незатенения полей обзора БА. На основании компоновки была определена предварительная конструкция и состав БА откидной платформы.

Масса БА, размещенной на откидной платформе, превышает 200 кг, поэтому суммарный момент инерции подвижной части достаточно велик. Наиболее простым вариантом раскрытия платформы является применение электромеханического привода. Однако применение электродвигателя сопряжено с необходимостью обеспечения его питания, разработки системы управления, сопряжения с бортовыми системами КА.

Отказ от электродвигателя в пользу пружин позволяет упростить конструкцию, но возникает ряд дополнительных проблем. Одной из главных проблем является уменьшение ударного воздействия в конечном положении откидной платформы при нахождении на механический упор. Для минимизации ударного воздействия на упор необходимо уменьшать жесткость пружины. С другой стороны в наземных условиях при раскрытии откидной платформы слабой пружиной сопротивление обезвешивающего стенда может не позволить осуществить движение.



Кинематическая схема откидной платформы: (а) – слощенное положение, (б) – разложенное положение

Одним из способов снизить нагрузки при раскрытии является переход от открытой кинематической схемы к замкнутой. В представленной схеме механический упор отсутствует как таковой. Вместо упора конечное положение платформы определяет длина растяжек. При этом контактные напряжения заменяются растяжением.

Для определения сил, действующих в системе наиболее целесообразно использовать САЕ-приложения, например, пакеты MATLAB Simulink и MSC.Adams. Полученные результаты моделирования пока-

зали существенные нагрузки в шарнирах растяжек даже при слабых пружинах кручения платформы.

Величина ударного воздействия зависит от скорости в конечном моменте времени, поэтому для минимизации удара необходимо ограничить скорость раскрытия. В качестве скоростного ограничителя выбран центробежный регулятор. В процессе математического моделирования определены основные характеристики центробежного регулятора, а также выявлена необходимость в применении мультипликатора на входном валу регулятора.

Предварительно выбранная схема центробежного регулятора имела неоптимальное соотношение параметров массы, габаритов, а также передаточного числа мультипликатора. Было принято решение об изменении конструкции регулятора, а проведенное уточненное моделирование позволило определить основные параметры всей механической системы.

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.Н. Аронзон,

(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

По мере развития и совершенствования искусственных спутников Земли (ИСЗ), увеличения срока их активного существования, расширения функций, а следовательно и увеличения потребляемой мощности научной аппаратуры, все большее значение приобретают вопросы создания более эффективных систем ориентации солнечных батарей (СОСБ) с лучшими удельными характеристиками и повышенным сроком службы.

Для первых ИСЗ срок активного существования которых был ограничен единицами месяцев, в качестве источников электроэнергии использовались аккумуляторные батареи (АБ). В дальнейшем в качестве источника электроэнергии ИСЗ с большим сроком активного существования стали применяться солнечные батареи (СБ), работающие в буфере с АБ. Оптимальным положением солнечных батарей, обеспечивающим при эксплуатации КА максимальный энергоприток, является положение солнечных батарей, при котором направление на Солнце совпадает с нормалью к активной поверхности солнечных батарей.

В целях обеспечения бортовой аппаратуры ИСЗ электрической энергией был разработан ряд компоновочных решений по размещению СБ на КА:

- постоянная солнечная ориентация корпуса КА (например, КА «Канопус-В», рис. 1, а);
- использование всенаправленной СБ, размещенной на корпусе КА (например, КА «IRIDIUM», рис. 1, б);
- применение электромеханической системы ориентации СБ, обеспечивающей наведение СБ на Солнце путем её поворота относительно корпуса КА.

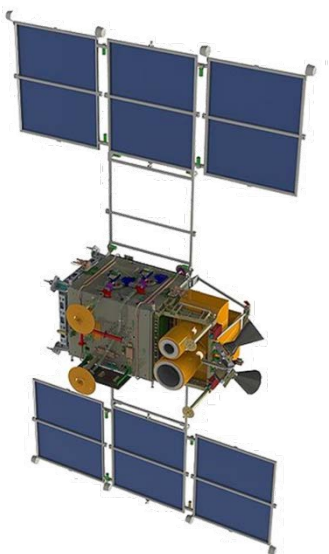


Рис. 1

а) КА «Канопус-В» с постоянной солнечной ориентацией СБ

б) КА «IRIDIUM» с всенаправленной СБ

В состав СОСБ обычно входит:

- от одного до четырех электромеханических блоков, жестко связанных с СБ;
- блок управления;
- комплект межблочных соединительных кабелей.

Почти полувековой опыт разработки автоматических космических аппаратов на предприятиях отрасли показал, что для искусственных

спутников Земли длительного срока существования, предназначенных для дистанционного зондирования Земли и телекоммуникации, оснащенных полезной нагрузкой более 350 кг со среднесуточным потреблением более 400 Вт, имеющих трехосную ориентацию и стабилизацию (одна из осей имеет постоянное направление на Землю), эффективное электроснабжение может быть обеспечено только при постоянном наведении солнечных батарей на Солнце относительно осей жестко связанных с корпусом КА.

Первая электромеханическая СОСБ разработки ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» (ранее ФГУП «НПП ВНИИЭМ») была установлена на КА «Космос-44», который был запущен на орбиту 28 августа 1964 г.

С 1965 по 2009 г. в штатной эксплуатации находилось более 200 образцов СОСБ, разработанных в НПП ВНИИЭМ. Следует отметить, что за все время эксплуатации не было ни одного отказа СОСБ.

В 60–80 гг. прошлого века длительным считался срок существования КА до 5 лет, при этом блоки управления бортовой аппаратуры КА размещались в гермоотсеке КА, а электроника и элементы кинематических цепей электромеханических блоков размещались в герметичных корпусах, устанавливаемых на внешней поверхности КА.

В настоящее время в России уже имеется опыт разработки КА со сроком эксплуатации на орбите до 12,5 лет, а требования ближайшей перспективы – от 15 лет эксплуатации и более. Новые тенденции развития потребовали разработки нового поколения СОСБ с улучшенными массогабаритными характеристиками, уменьшенным собственным энергопотреблением, что обеспечивает длительный ресурс работы, в том числе в условиях открытого космоса.

В настоящее время СОСБ нового поколения, разработанные ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», функционируют в составе КА «Метеор-М» № 1 (выведен на орбиту 17.09.2009 г., рис. 2, а), КА «Экспресс-МД1» (выведен на орбиту 11.02.2009 г.), КА «Электро-Л» №1 (выведен на орбиту 20.01.2011 г.), КА «Спектр-Р» (выведен на орбиту 18.07.2011 года), КА «Казсат-2» (выведен на орбиту 16.07.2011 г., рис. 2, б), КА «Кондор» (выведен на орбиту 27.06.2013 г.) В настоящее время в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» и предприятиях-разработчиках КА на различных этапах опытно-конструкторских работ по разработке КА находятся СОСБ для изделия 710КС, КА «Спектр-РГ», «Спектр-УФ», «Электро-Л» №2, 3, «Метеор-М» №2, КА «Ионосфера» и других.



Рис. 2

а) СОСБ для КА «Метеор-М»
(система 830), автономная

б) СОСБ для КА «КазСат-2»
(система У20) с управлением от БКУ

Характеристики СОСБ нового поколения сведены в таблицу.

КА	Монитор - Э	ондор	Электро Л Спектр	азСат-2	етеор - М	Ионосфера Зонд
Модель СОСБ	Система У10	Система Р10	Система Э10	Система а У20	Система 830	Система ИФ10
Способ сле- жения за Солнцем	дискретное слежение					
Скорость слежения за Солнцем, градус/с	0,57	0,75 – по тангажу 0,25 – по крену	0,25	0,37	0,3	0,6
Момент инерции нагрузки на валу ЭМБ, кг·м ²	не более 4,0	по оси крена – не более 125,0 по оси тангажа – не более 7,0	не более 17,3	не более 8,4	не более 40,0	не более 4,0
Диапазон	п.360	240 – по	п.360	п.360	-60....+60	-78....+54

углов поворота СБ, градус		тангажу 180 – по крену				- 126....+126
Потребляемая мощность, Вт	не более 15	не более 20	не более 10	не более 12	не более 20	не более 6
Масса**, кг	не более 17,0	не более 21,5	не более 12,7	не более 27,8	не более 16,0	не более 10
Вид электрических связей между СБ и корпусом КА	Вращающийся токосъемник	Кабельный барабан*	Вращающийся токосъемник		Кабельный барабан***	Кабельный барабан
Передаваемая от через транзитные цепи привода от СБ электр. мощность, Вт	2100	675	2460	2400	--	700
Срок функционирования на орбите	10 лет	7 лет	до 10 лет	12,5 лет	5 лет	8 лет
Примечание * - только в приводе тангажа ** - без учета межблочных кабелей *** - входит в состав системы функционально						

В рамках данной статьи рассмотрена структура СОСБ и ее классификация, исходя из принципа её управления, способа слежения за Солнцем, выбора приводного электродвигателя, построения кинематической цепи и транзитных цепей электромеханического блока СОСБ, а также рассмотрены перспективные конструкторские решения, направленные на повышение надежности СОСБ и ее унификации для применения на различных КА.

СИНХРОННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННО- ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ

В.Я. Геча, А.Б. Захаренко, С.А. Мартынова
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Для электропривода направленной антенно-фидерной системы (рис. 1) космического аппарата дистанционного зондирования Земли рассматривается возможность применения синхронной электрической машины (СМ). Преимуществами синхронных машин является возможность получения низкооборотной торцевой электрической машины, обладающей максимальной мощностью при заданных габаритах.



Рис. 1. Макет двухкоординатного электропривода направленной антенно-фидерной системы космического аппарата: 1 – приводной электродвигатель, 2 – рефлектор, 3 – контррефлектор, 4 – рупор

Конструкция антенно-фидерной системы (АФС) должна быть достаточно жесткой, при этом рефлектор, контррефлектор и элементы

конструкции АФС размещены на подшипниках приводных электродвигателей. К точности позиционирования по углу также предъявляются высокие требования. Качество изготовления, наличие люфтов в механическом редукторе существенно влияют на точность позиционирования, поэтому прямой привод предпочтительнее.

Требования привода определяют плоскую конструкцию синхронной машины, разновидностью которой является торцевая конструкция (рис. 2). Торцевая синхронная электрическая машина работает следующим образом.

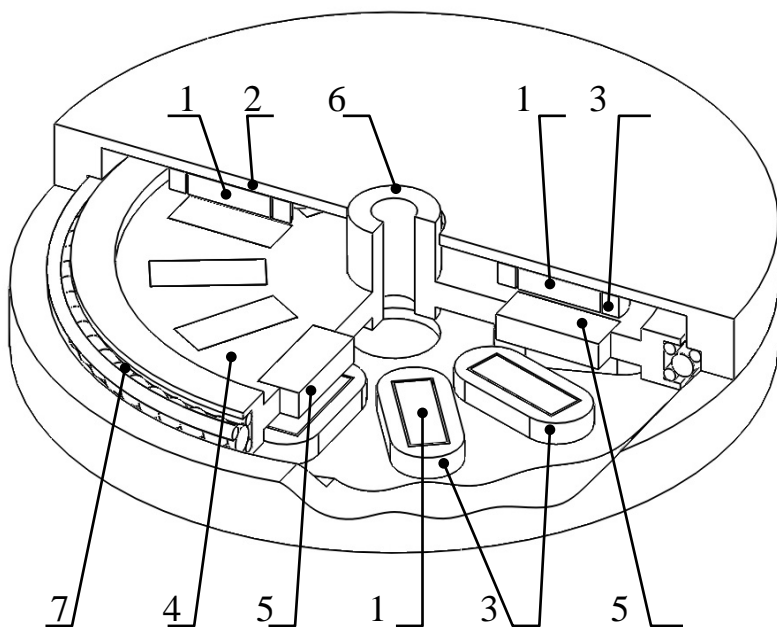


Рис. 2. Конструкция торцевой электрической машины:

- 1 – сердечники статора, 2 – корпус статора, 3 – трехфазная обмотка статора,
4 – немагнитное основание ротора, 5 – сердечники ротора,
6 – вал, 7 – подшипник

Магнитный поток, созданный обмоткой статора 3, проходит через воздушные зазоры между статором и ротором, сердечники 1 и 5 и кор-

пус 2 статора. На зажимы каждой фазы обмотки 3 статора синхронной электрической машины подается переменное напряжение, по обмотке протекает ток, вызывая вращающуюся МДС статора. При протекании электрического тока в обмотке 3 статора происходит силовое взаимодействие магнитного потока обмотки 3 с ферромагнитными сердечниками 5 ротора. Перемещаясь, волна МДС статора создает вращающий момент, действующий на ротор. Значение вращающего момента определяется «рабочей» гармоникой МДС статора, т.е. соотношением числа сердечников 1 статора и сердечников 5 ротора. Это соотношение выбирается в соответствии с патентом. Питание обмотки 3 статора осуществляется от инвертора, имеется обратная связь по углу поворота ротора.

Для анализа характеристик торцевой синхронной электрической машины создана комплексная расчетная модель на основе метода конечных элементов.

СЕКЦИЯ 3. МЕТОДЫ ДЗЗ И ЦЕЛЕВЫЕ ПРИБОРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ: ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ю.Г. Кутинов^{1,2}, С.Г. Копонов¹

*(¹Центр космического мониторинга Арктики (ЦКМА)
Северного (Арктического) федерального университета
(САФУ) имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия*

*²Институт экологических проблем Севера (ИЭПС)
Уральского отделения РАН, Архангельск, Россия)*

Ключевые слова: космический мониторинг, морские полярные экспедиции, геоинформационная поддержка.

На основе методик и наработок, использованных при информационно-навигационном обеспечении экспедиции, авторами был сформиро-

рован ряд предложений необходимых при создании масштабной системы обеспечения ледовой проводки и навигации по маршруту Северного морского пути.

На современном этапе наиболее перспективным для мониторинга ледовой обстановки является использование данных полученных с космических аппаратов, как радарных, так и мультиспектральных. Развивается также изучение арктического льда с космических аппаратов, оснащенных лидарными установками.

Использование мультиспектральных сенсоров, несмотря на малый световой период и большую облачность в высоких широтах оправдано, прежде всего, для получения метеорологических данных. На основе таких данных строятся прогнозные климатические модели региона, которые позволяют предсказать поведение ледяных полей на последующих временных интервалах.

Наиболее практично для целей ледового мониторинга применение радарных съемок. Использование установок с синтезированной апертурной решеткой и современных технологических решений позволило радарам достичь высокой разрешающей способности. Примером может служить канадский спутник Radarsat-2 с разрешением до 1 м/пиксель. Всепогодность и широкий охват территории, различные режимы съемок, использование многополяризационных данных позволяют получить информацию на основе которой можно составить полное представление о ледовой обстановке как по отдельному региону, так и для обособленных участков акватории.

Несмотря на огромные преимущества спутниковых снимков для мониторинга ледовой обстановки имеется ряд существенных недостатков ограничивающих применение этого метода. В первую очередь необходимо существование развитой орбитальной группировки космических аппаратов оснащенных радарной и мультиспектральной аппаратурой. Поддержка такой группировки возможна лишь при государственном участии. На текущий момент в нашей стране полностью отсутствуют космические аппараты, оснащенные радарной аппаратурой, информацию с которых можно использовать для гражданских целей. Отсутствие отечественных аппаратов данного типа приводит к необходимости использовать на данном этапе зарубежные спутники. На настоящий день наметилась тенденция к планированию группировки малогабаритных спутников, что сокращает расходы на запуск и

упрощает маневрирование, а также позволяет увеличить площадь снимаемой территории, сократить время между последовательными съемками одной и той же местности, увеличить надежность системы по сравнению с односпутниковой. Поэтому необходимо создание российской группировки радиолокационных спутников типа COSMO-SkyMed или TanDEM-X, возможно также размещение оптической и радарной аппаратуры на одной платформе (например, ALOS (PALSAR)). Следующим препятствием является необходимость в существовании целого ряда центров осуществляющих прием, обработку и анализ спутниковой информации. Центры мониторинга ледовой обстановки должны работать в общем информационном пространстве по единой методике, с формированием на основе имеющейся информации карты ледовой обстановки по всей акватории Северного морского пути.

Кроме чисто технических проблем, наличия аппаратуры приема и программного комплекса обработки информации, существует проблема в отсутствии подготовленных специалистов, способных провести тематический анализ полученных данных. Для создания карты ледовой обстановки существует целый ряд требований как к интерпретатору данных, так и к оформлению. Отсутствуют алгоритмы создания такой карты по полученным данным в автоматическом режиме. Анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) о ледовом покрове в настоящее время, как правило, проводится в интерактивном режиме. Точность и соответствие карты реальным условиям в первую очередь зависит от опыта интерпретатора и полноты получаемой им информации.

Создание эффективной системы ледового мониторинга и предупреждения судов наталкивается также на проблему передачи полученной информации конечным пользователям. Отсутствие развитых цифровых каналов связи ограничивает передачу данных на борт судна. В высоких широтах наиболее распространенные и развитые системы передачи основанные на геостационарных спутниках связи работают с перебоями. Для этих целей подходят системы связи, основанные на созвездии низкоорбитальных спутников (системы «Iridium», «Orbcomm», «Гонец»). При оснащении судна терминалами связи одной из данных систем возможен обмен электронными данными с бортом судна. Малая пропускная способность таких систем является существенным недостатком и ограничивает объем передаваемой информации. Т.е., необходимо развитие систем связи пригодных для использования

в арктических широтах. Целью системы мониторинга ледовой обстановки, по мнению авторов, должна стать возможность передачи информации по ледовой обстановке на борт любого судна осуществляющего навигацию по Северному морскому пути.

ВЫСОКОАДАПТИВНЫЕ МОДУЛИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*С. Маух, П. Верти, Ф. Хагманс, Б. Хеспелер
(S. Mauch, P. Wertz, F.-J. Hagmanns, B. Hespeler)
Tesat Спейском ГмбХ и Ко 71522 Германия, Бакнанг si-
mon.mauch@tesat.de
(Tesat Spacecom GmbH & Co. KG, 71522 Backnang, Germany; si-
mon.mauch@tesat.de)*

I. Введение

Рост разрешающей способности пространственной, а также частотной областей бортовых датчиков приводит к увеличению объема информации, которую необходимо накапливать и передавать на Землю[1]. Для эффективного наблюдения за поверхностью Земли необходимо использование низких околоземных орбит, в результате чего ограничиваются возможности коммуникации с наземными станциями.

Это приводит к необходимости увеличения скорости обработки данных для радиочастотных подсистем линия связи Космос – Земля на КА. На рис. I-1 представлено два способа решения этой проблемы: классическое решение включает в себя создание прямой радиочастотной линии связи Космос – Земля с использованием преобразователя-модулятора с высокой скоростью обработки данных (этот метод будет детально описан в параграфе III). Второй вариант предполагает оптическую межспутниковую связь с геосинхронным КА ретрансляции данных. Этот вариант более подробно рассмотрен в параграфе IV.

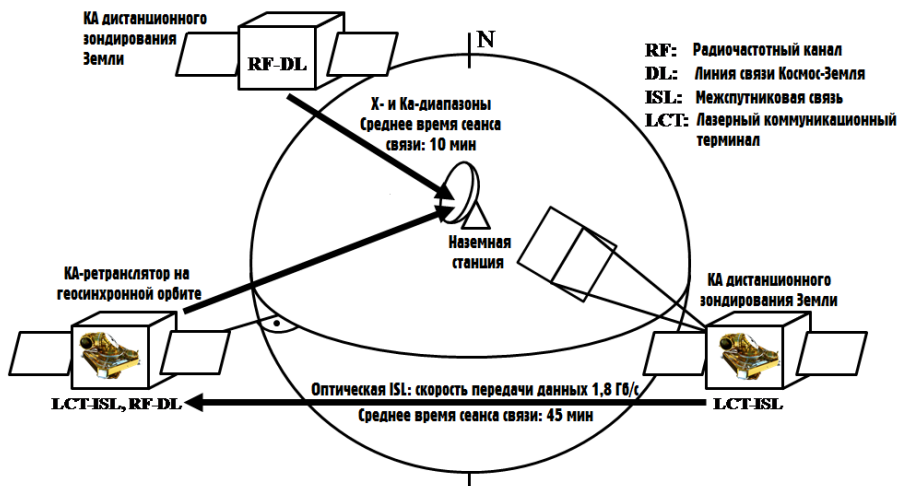


Рис. I-1. Варианты передачи данных по линии Космос – Земля

Пропускная способность радиочастотных линий связи Космос-Земля имеет ограничения, в особенности это касается диапазона X (частоты 5200–11000 МГц). Это эквивалентно ограничению скорости передачи символов. В целях повышения скорости передачи данных необходимо повысить пропускную способность (то есть количество передаваемых битов информации на канальный символ), что, в свою очередь, приведет к повышению до 16, 32 или 64 разрядной амплитудно-фазовой модуляции. Принципы повышения амплитудно-фазового кодирования и схемы модуляции более детально рассмотрены в параграфе III.

II. Структура высокоадаптивной подсистемы линии связи Космос – Земля

Структура подсистемы линии связи Космос-Земля обычно обусловлена рядом противоречивых условий. Удовлетворение этих условий связано как с рядом недостатков, так и с преимуществ, имеющих влияние на подсистему. Примеры приведены в таблице II-1.

Критическая проблема	Варианты снижения негативного воздействия	Преимущества	Недостатки
Ограничение в	Канальное ко-	Уменьшает ве-	Уменьшение до-

использовании энергии	дирование	роятность появления ошибочных битов	ступного массива информации
	Усиление до магнитного насыщения или близкого к нему состояния	Максимальная выходная мощность	Возрастание вероятности постепенного снижения технических возможностей из-за нелинейных искажений
Необходимая высокая скорость передачи данных при ограниченной пропускной способности (в особенности X-диапазон)	Повышенная разрядность модуляции	Значительное увеличение скорости передачи данных при константной скорости модуляции	Увеличение чувствительности к искажениям, может быть ослаблено предыскажением
	Формирование сигнала: уменьшение частотной границы	Снижение пропускной способности при константной скорости модуляции	Потеря мощности из-за непостоянства огибающего сигнала
	Двойная поляризация	Удвоенная скорость передачи данных при фиксированной пропускной способности	Увеличение массы, деполяризация, увеличение потребление энергии

Таблица II-1: Примеры противоречивых условий в структуре подсистемы и возможные пути их удовлетворения

Для отдельных проектов, все эти условия могут быть удовлетворены при помощи высокоадаптивной архитектуры подсистемы [2]. Пример такой архитектуры показан на рисунке II-1: подсистема X-диапазона использует квадратурную фазовую модуляцию со скоростью передачи данных около 300 Мб/с или схему 4D TCM 8PSK с

примерной скоростью передачи в 500 Мб/с на канал. Дополнительно в модуляторы может быть внедрен код исправления ошибок. Структура дублирования 2-к-3 позволяет давать высокую оценку надежности системы. Метод двойной поляризации позволяет удвоить скорость передачи данных при фиксированной доступной пропускной способности.

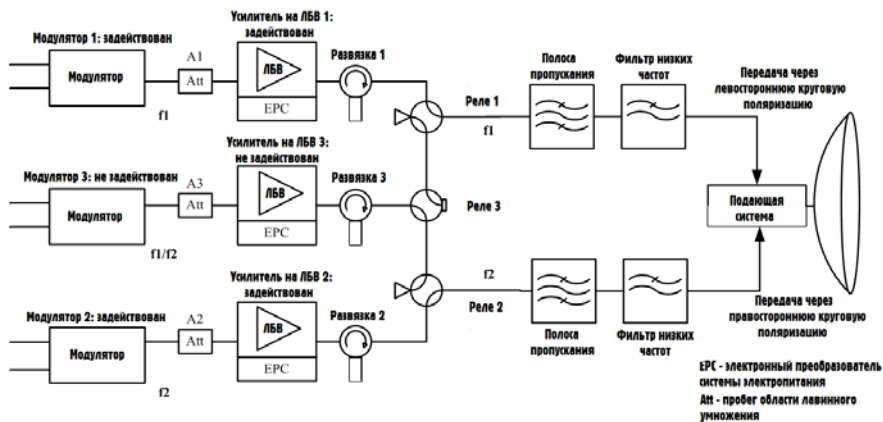


Рис. II-1 Двуканальная архитектура подсистемы линии передачи Космос-Земля с двойной поляризацией

III. Модулятор высокоскоростной передачи данных

Следующее поколение модулятора X и Ka-диапазонов, в настоящее время разрабатываемого компанией Tesat [3], предназначен для решения проблем, затронутых в параграфах I и II. Модулятор позволяет работать с амплитудно-фазовой модуляцией до 64 разрядов вместе с мощным кодом для исправления ошибок, передаваемым из центра управления спутниковой связью [4].

Расширение символьного алфавита в высокоразрядных системах уменьшает евклидово расстояние между смежными символами в комплексном представлении основной полосы частот. Из-за этого модуляция больше подвержена помехам, производимым оборудованием и нисходящей коммутационной линией, что приводит к увеличению возможности появления ошибки.

Для компенсации нелинейных искажений, появляющихся из-за усилителя на лампе бегущей волны, центр управления спутниковой связью внедряет код для исправления ошибок, а также применяются аппаратные контрмеры, к примеру, цифровое предискажение. В то время как канальное кодирование приводит к незначительному

уменьшению пропускной способности, цифровое предсказание такого недостатка не имеет. В дополнение к этому, различные виды кодирования и модуляции предоставляет возможность использования более надежной модуляции типа 8PSK в условиях низкого качества соединения.

IV. Гибридные радиочастотные и оптические ретрансляторы данных на КА

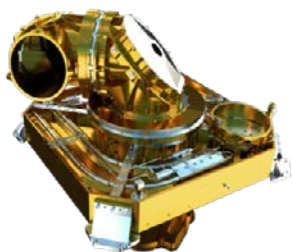


Рис. IV-1 Лазерный коммутационный терминал

Концепция ретрансляции данных на КА предусматривает такое крупное преимущество как увеличение сеансов связи сопоставимым с прямой радиочастотной нисходящей спутниковой связью между КА на низкой околоземной орбите и наземной станцией. Использование лазерного коммутационного терминала (на рис IV-1) позволяет использовать оптическую связь между КА на геосинхронной

орбите и КА на низкой околоземной орбите и передавать данные от геосинхронных КА на Землю (см. рис. I-1). Уже поставленное тестовое оборудование, созданное по технологии Alphasat является таким геосинхронным ретранслятором. В перспективе, ретрансляционные КА на геосинхронной орбите позволят использовать двустороннюю связь с очень высокой скоростью передачи данных. Такая система требует современных средств обработки данных, включая средства кодирования, распределения каналов многоканальной связи и шифрования (опционально) [5]. Использование радиочастотной линии связи Космос-Земля в Ка-диапазоне между КА на геосинхронной орбите и землей, в свою очередь, также становится более эффективным ввиду возможности использования высокоразрядных модуляционных схем вместе с мощными ресурсами упреждающей коррекции ошибок.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, ОКЕАНА И ПРИБРЕЖНЫХ УЧАСТКОВ МОРСКОГО ДНА

*В.А. Катенин, А.А. Чубыкин
(ОАО «Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»)*

Представлены результаты разработок лазерного локатора, обеспечивающего получение локационных изображений распределённых целей с восьмью и более градациями яркости на элемент разрешения и трёхмерную, пространственную, координационную привязку элементов этого изображения с метровой и субметровой точностью. Рассмотрены особенности реализации предложенных технических решений в системах детального аэрокосмического наблюдения, самоопределения летательных аппаратов по естественным и искусственным наземным ориентирам, навигационного обеспечения наземных, надводных и подводных потребителей по орбитальным навигационным точкам, картографирования местности, зондирования океана с летательных аппаратов и морских судов.

Реализация трёхкоординатного лазерного локатора (ДЗЗ) целесообразна в соответствии с принципами построения бортовых некогерентных многоканальных дальномерно-угломерных систем обзора. Метод сбора информации о трёхмерном местоположении объектов основан на пространственной селекции целей и измерении дальности на каждом отселектированном направлении.

Для пространственной селекции целей предлагается использование пространственных фильтров, а также многоканальных приёмников. Опорные направления для привязки угломерных измерений формируются по астронаблюдениям.

Навигационные технологии на основе ДЗЗ предлагаются для решения следующих задач:

1. высокопроизводительного скрытного поиска подводных объектов (ПО) при нештатных (аварийных) ситуациях;
2. определения местоположения погружённого ПО относительно авиационного ориентира, который самоопределяется в навигационном поле среднеорбитальной космической навигационной системы (ГЛОНАСС);

3. автономного самоопределения летательного аппарата (носителя) при нарушении функционирования штатных средств навигационного обеспечения.

Метод высокопроизводительного скрытного поиска аварийного ПО (при глубине погружения от 0 до 200 м) включает следующие операции:

1) облучение района поиска в режиме бокового обзора, т.е. сканирование поверхности моря ножевой диаграммой с полосой захвата от 10 до 30 км со скоростью перемещения носителя (при средней скорости носителя 500 км/час

производительность поиска от 5000 до 15000 $\frac{\text{км}^2}{\text{час}}$);

2) определение текущей ориентации ножевой диаграммы направленности относительно опорных направлений, которые с требуемой периодичностью корректируются по астронаблюдениям;

3) измерение наклонной дальности по ответному сигналу ПО при попадании последнего в зону облучения, т.е. при приёме на ПО ВИМ-запросного сигнала, передаваемого в ножевом луче, и формирование ответных лазерных импульсов в соответствии с процедурами метода несмещённого обращения луча;

4) вычисление местоположения аварийного ПО.

Решение задачи навигационного обеспечения ПЛ на основе ДЗЗ включает операции: первую и вторую поиска аварийной ПЛ;

5) закладку в лазерный ВИМ-сигнал текущей ориентации ножевого луча, координат носителя, а также при необходимости служебной информации и команд управления;

6) Решение на ПО навигационной задачи.

На принципах построения трёхкоординатного лазерного локатора (ДЗЗ) могут быть реализованы авиационная, космическая и корабельная системы для исследования океана (морские лидары).

При корабельном базировании лидар устанавливается на носу судна для разрешения проблем, связанных с качкой судна и влиянием корабля в зоне обзора, предложено принятие следующих мер:

а) синхронная регистрация качки судна по данным корабельного инерционного комплекса (с минутными точностями);

б) вариации скорости и курса судна относительно направлений ветра и волн.

Каждая съёмка организуется как факторный активный эксперимент по квазиоптимальному плану. При этом влияние качки судна на волнение в

зоне обзора корабельного лидера компенсируется известными методами дисперсионного анализа.

ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.Т. Минлигареев

*(Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова,
г. Москва)*

С.Г. Трофимчук

*(Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
имени Д.И. Менделеева, г. Санкт-Петербург)*

Ключевые слова: гелиогеофизические наблюдения; космическая погода; космический аппарат; комплексная целевая аппаратура; метрологическое обеспечение; качество измерений; калибровка; эталонная база.

В докладе рассмотрено новое актуальное направление и особенности калибровки приборов гелиогеофизических аппаратурных комплексов серии ГТАК на гидрометеорологических космических аппаратах.

В связи с актуальностью рассматриваемой проблематики, необходимым условием повышения качества гелиогеофизических наблюдений является достижение требуемой точности, достоверности и сопоставимости результатов измерений при выполнении наблюдений за состоянием ионосферы, магнитосферы, верхней атмосферы и околоземного космического пространства (ОКП). Качество наблюдений, бесспорно, может быть улучшено, в том числе, и при совершенствовании обеспечения единства измерений. Современный уровень использования данных об опасных гелиогеофизических явлениях (ОГЯ) для государственных нужд определяет более строгий подход к качеству и точности наблюдений, что требует обязательного проведения комплекса работ по обеспечению единства измерений, в соответствии с действующим законодательством.

Необходимо отметить, что фактически проблема метрологического обеспечения КЦА гелиогеофизического назначения на протяжении 20 с лишним лет (с конца 80-х и до начала 2010-х годов) не решалась в силу ряда известных исторических обстоятельств.

Проведенный анализ состояния измерений параметров ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений в Росгидромете показал, что метрологическое обеспечение КЦА практически отсутствует. На основании проведенного анализа состояния измерений в 2011 году специалистами ФГБУ «ИППГ» разработана и начала реализовываться Программа метрологического обеспечения КЦА гелиогеофизического назначения, включающая создание эталонной базы и проведение калибровочных работ.

Необходимо учитывать, что затраты на метрологическое обеспечение КЦА должны соответствовать целям проведения мониторинга параметров космической погоды, масштабам производства, сложности технологических циклов и в конечном счете обеспечивать безопасность территорий Российской Федерации. По экспертным оценкам метрологическое обеспечение КЦА КА в США обходится в среднем до 50%, в России – от 10 до 20% в пересчете на стоимость одного прибора.

Для обеспечения единства измерений космического сегмента ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений ФГБУ «ИППГ» с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Росстандарта создают эталонную базу и организывают проведение калибровочных работ измерительных приборов типовых гелиогеофизических аппаратурных комплексов ГТАК (для космических комплексов гидрометеорологического назначения серий «Электро», «Метеор», «Арктика», «Ионозонд»).

В качестве пилотного проекта по решению Руководства Роскосмоса выбран КЦА ГТАК-Э для геостационарного КА гидрометеорологического назначения «Электро-Л» № 3. Проведение данных работ предполагает:

- создание эталонной базы для проведения калибровочно-поверочных работ на постоянной основе перспективных гелиогеофизических комплексов;
- создание долгосрочной программы метрологического обеспечения КЦА гелиогеофизического назначения;
- установления действительных метрологических характеристик приборов КЦА в процессе производства и контроля их сохранности и воспроизводимости при производстве и эксплуатации;
- выдачу сертификатов калибровки аккредитованными организациями в системе Росстандарта.

На данном этапе запланирован комплекс калибровочных работ, с использованием протонных и электронных ускорителей, создание эталонных источников ионизирующих излучений и др. Рассматривается комплексирование экспериментальных и расчетных методов при наземной калибровке, проведение сличения и калибровки характеристик детекторов при проведении летных испытаний. В настоящее время в НИУ Росстандарта, Росгидромета и РАН проводятся экспериментальные работы по отработке методик калибровки на технологических образцах КЦА КА «Электро-Л» №3.

Особенностями калибровки гелиогеофизических комплексов является то, что по отдельным видам измерений впервые разрабатываются схемы калибровки, локальные поверочные схемы (например, по протонным и электронным потокам).

Данная работа легла в основу реализации Программы метрологического обеспечения перспективных КЦА гелиогеофизического назначения, предусматривающая:

- 1) Создание эталонной базы для типовых ГГАК.
- 2) Калибровку приборов КЦА типовых ГГАК.
- 3) Проведение испытаний СИ ГГАК в целях утверждения типа (внесение в Госреестр СИ).
- 4) Первичную поверку СИ ГГАК.
- 5) Испытания ГГАК в целях утверждения типа как измерительной системы.
- 6) Модернизацию эталонной базы и создание новых эталонов для перспективных ГГАК.
- 7) Разработку методик подтверждения метрологических характеристик приборов КЦА в ходе летных испытаний.

Особенностью обеспечения единства измерений в области гелиогеофизики является выход в 2013 г. (см. табл.) Перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях (приказ Минприроды № 424 от 07 декабря 2012 г.). Данный Перечень узаконил характеристики КЦА, которые должны быть в обязательном порядке подтверждены метрологическими процедурами (калибровкой, внесением в Госреестр средств измерений, поверкой).

Таким образом, калибровка гелиогеофизической комплексной целевой аппаратуры космических аппаратов гидрометеорологического

назначения является первым этапом комплексной программы метрологического обеспечения КЦА гелиогеофизического назначения, реализация которой:

- придаст средствам измерений КЦА гелиогеофизического назначения правовые основы для применения их на территории Российской Федерации и использования информации подразделениями Всемирной метеорологической организации;

- приведет к обеспечению единства, требуемой точности и достоверности измерений в рассматриваемой области;

- приведет к повышению эффективности наблюдений, недопущению недостоверных результатов измерений для предупреждения ОГЯ.

Таблица. Перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в области гелиогеофизики

№ п/п	Измерения	Обязательные метрологические требования к измерениям	
		Диапазон измерений	Предельно допустимая погрешность
Основные измерения при осуществлении деятельности в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях			
Гелиогеофизика (космическая погода)			
32	Измерение плотности потока протонов в околоземном космическом пространстве (для $E_p=0,1$ кэВ ÷ 600 МэВ), $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	От 10 до $10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\delta = \pm 25 \%$
33	Измерение плотности потока электронов в околоземном космическом пространстве (для $E_e=0,1$ кэВ ÷ 10 МэВ), $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	От 10 до $10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\delta = \pm 25 \%$
34	Измерение потока энергии рентгеновского излучения Солнца, (для	От 10^{-8} до 10^{-2} Вт/м^2	$\delta = \pm 25\%$

	$E_g=1\div 10 \text{ кВ}), \text{ Вт/м}^2$		
35	Измерение магнитной индукции на земной поверхности, нТл	От 10 до 10^5 нТл	$\delta = \pm 5\%$
36	Измерение максимальной частоты волны, отражающейся от слоя F2 ионосферы, МГц	От 1 до 20 МГц	$\Delta = \pm 0,2 \text{ МГц}$
37	Измерение полного содержания электронов в ионосфере, м^{-2}	От 10^{16} до 10^{18} м^{-2}	$\Delta = \pm 2 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-2}$
38	Измерение потока энергии ультрафиолетового излучения Солнца, Вт/м^2	От $5 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-2}$	$\delta = \pm 25 \%$

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «АВРОВИЗОР-ВУФ» В СОСТАВЕ ГРУППИРОВОК ВЫСОКО- И НИЗКОАПОГЕЙНЫХ КА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

*В.А. Бойко *, Ю.А. Видецих *, А.К. Кузьмин **,
В.Б. Лапшин ***, А.М. Мёрзлый **, А.А. Петрукович **,
А.В. Сыроешкин ***, С.В. Цой *, Е.А. Шатова **

(ОАО «НПП «Геофизика-Космос», г. Москва*

*** ФГБУН Институт космических исследований РАН, г. Москва*

**** ФГБУ Институт прикладной геофизики Росгидромета,
г. Москва)*

Ключевые слова: диагностика полярной ионосферы Земли, глобальный мониторинг, вакуумный ультрафиолетовый диапазон спектра, дистанционное зондирование Земли, авроральный овал.

В докладе рассматривается перспективный отечественный оптический комплекс (ОК) «Авровизор-ВУФ» вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) диапазона в составе изображающих камер и изображающих спектрометров различных модификаций, предназначенный для дистанционного глобального мониторинга и контроля состояния полярной ионосферы Земли с высоко- и низкоапогейных полярных орбит типа «Метеор» и «Молния».

Дистанционная диагностика состояния ионосферы с помощью бортовых орбитальных изображающих приборов в ВУФ-диапазоне спектра проводится в США, Канаде и Швеции с середины 70-х годов прошлого века и активно развивается до сегодняшнего дня.

В частности, в рамках сотрудничества России с Канадой на отечественном КА «Интербол-2» (1996 г.) работал канадский ВУФ-имаджер «UVAI» (аналогичный приборам, использовавшимся ранее на высокоапогейном КА «Viking», 1986–1987 гг., и низкоапогейном КА «Freja», 1992–1996 гг.).

Физические процессы в системе «ионосфера–магнитосфера» в изменяющихся геомагнитных условиях имеют различные пространственные и временные масштабы – от глобальных пятиминутных (состояние всего аврорального овала) до километровых за доли секунды (на локальных участках аврорального овала). Поэтому для полноценного мониторинга принципиально важны одновременные дистанционные оптические и плазменные измерения состояния ионосферы с высоко- и низкоапогейной орбит.

В 2011–2012 гг. ФГБУН «ИКИ РАН» совместно с ОАО «НПП «Геофизика-Космос» разработали эскизный проект ВУФ-имажера «Авровизор-ВУФ/ВО» для высокоапогейной орбиты типа «Молния» (проект «Арктика-М»), который показал реальность создания в России изображающих приборов в ВУФ-диапазоне.

В 2013 г. ОАО «НПП «Геофизика-Космос», ФГБУН «ИКИ РАН» и ФГБУ «ИПГ» Росгидромета разработали Аванпроект ОКР «Создание перспективного оптического комплекса «Авровизор-ВУФ» в составе группировок высоко- и низкоапогейных КА для мониторинга и контроля состояния ионосферы Земли».

В докладе рассматриваются следующие вопросы:

- научно-технические и методические основы мониторинга и контроля состояния полярной ионосферы Земли в спектральном диапазоне вакуумного ультрафиолета (ВУФ) в интересах различных отраслей экономики и фундаментальной науки России;
- возможные реальные варианты схмотехнических решений для создания перспективных целевых бортовых приборов для высоко- и низкоапогейных полярных орбит типа «Метеор» и «Молния».

Представлены следующие основные результаты:

- перечень основных прикладных задач, которые могут быть решены с использованием результатов орбитальных экспериментов с помощью различных модификаций ОК «Авровизор-ВУФ»;
- перечень фундаментальных научных задач по исследованиям динамики электродинамических процессов и диагностике состояния полярной ионосферы Земли;
- различные варианты схемотехнических решений для создания перспективных целевых бортовых приборов для мониторинга состояния ионосферы Земли в составе изображающих камер (со спектральными диапазонами 133÷160 нм и 160÷180 нм) и изображающих спектрометров различных модификаций (со спектральными диапазонами 120÷180 нм).

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ CCSDS В РАЗРАБОТКЕ БОРТОВЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КА ДЗЗ

С.Ф. Горбунов, В.Ю. Гришин, П.М. Еремеев

(Открытое акционерное общество

«Научно-исследовательский институт «Субмикрон»,

г. Москва)

Ключевые слова: бортовой накопитель, международный, Комитет, CCSDS, космические агентства, рекомендации, информационные системы, передача данных.

Одним из составных элементов любого космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является бортовой накопитель (запоминающее устройство), предназначенное для приёма, накопления хранения (в т.ч. энергонезависимого) и воспроизведения цифровой информации от аппаратуры радиолокационного, оптико-электронного зондирования Земли и других видов аппаратуры.

В последнее время намечается тенденция унификации применяемого в КА оборудования в разнородных проектах, либо заимствование изделий из предыдущих проектов. Целью унификации является обеспечение кросс-платформенной совместимости аппаратуры, применяемой в различных проектах разных стран (в т.ч. в рамках международного сотрудничества), а также уменьшение времени разработки и отладки готового изделия.

Многие разработчики информационных систем (ИС) КА зачастую применяют уникальные протоколы информационного взаимодействия между подсистемами различного уровня, что значительно ограничивает область использования этих ИС рамками одного КА или их семейства. На международном уровне подобные вопросы решаются консультативным комитетом по космическим системам передачи данных CCSDS, который был организован ведущими мировыми космическими агентствами для обсуждения и решения общих проблем при разработке и использовании (в т.ч. совместном) подобных систем.

В России курированием деятельности Комитета CCSDS и информационной поддержкой рекомендованных стандартов занимается ФГУП «ЦНИИмаш». Комитет охватывает такие области космических систем передачи информации, как космические каналы связи, бортовые интерфейсы КА, управление полётом, обработка информации и др.

Основным достоинством стандартов и рекомендаций Комитета является то, что они аккумулируют практические знания и опыт крупнейших космических агентств (NASA, ESA, JAXA, Роскосмоса и др.), что позволяет разработчикам космических ИС закладывать в своих изделиях проверенные и отработанные технические решения, тем самым минимизируя вероятность ошибки разработчика и ускоряя процесс разработки в целом.

В докладе приводятся основные мировые тенденции в области разработок бортовых накопителей информации с точки зрения организации информационного взаимодействия с внешними системами КА и внутренней организации обмена (в т.ч. применяемые протоколы, методы помехозащищённого кодирования и сжатия информации).

Показано, что в последнее время намечается тенденция к файловой организации бортовых накопителей информации на базе информационных протоколов CCSDS.

**ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ
МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**

*В.А. Буров *, С.В. Журавлев *, В.Б. Лапшин *,
А.В. Сыроешкин *, В.А. Шувалов **, А.А. Яковлев ***

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

***Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения»,
г. Королев, Московская область)*

Ключевые слова: геофизическая обстановка, Солнце, околоземное космическое пространство, ионосфера, магнитосфера космический аппарат, наблюдения.

Среда обитания и причины ее изменчивости являются приоритетными направлениями научных исследований в космической деятельности. И в этом смысле мониторинг геофизической обстановки представляет важную составную часть этого направления. Под геофизической обстановкой понимается комплекс явлений и процессов в верхней атмосфере, ионосфере, магнитосфере и околоземном космическом пространстве (ОКП). Приоритетной задачей системы мониторинга является определение начальной фазы процесса, регистрации воздействия и прогноз развития возмущений в ОКП, вызванных как природными, так и антропогенными причинами. Необходимо отметить, что физические процессы в ОКП взаимосвязаны и чувствительны к возмущениям, следовательно, любые изменения параметров геофизических сред являются источниками воздействий. Регулярные и длительные наблюдения с помощью космических средств, измерение текущих характеристик геофизических процессов позволит получить исходную и количественную информацию, необходимую для разработки рабочих моделей протекающих процессов для прогнозирования направления изменений среды обитания.

Исследования, выполненные в рамках НИР по Программе «Геофизика», позволили разработать и обосновать структуру параметров и характеристики геофизической обстановки, которые требуется опре-

делить космическими средствами, а также количественные оценки диапазонов их измерений.

Исследования показали, что основными параметрами, необходимыми для формирования прогнозных оценок «космической погоды», следует считать:

- изображение Солнца, солнечной короны в оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах;
- излучения Солнца в рентгеновском и радиодиапазонах;
- потоки энергичных частиц в межпланетной среде и ОКП;
- магнитное поле, скорость, температура и концентрация плазмы в межпланетной среде и околоземном космическом пространстве;
- волновые процессы в ОКП;
- распределение электронной, ионной концентраций и нейтральных компонент в ионосфере и верхней атмосфере Земли;
- электромагнитное излучение Солнца, ионосферы Земли и техногенных источников;
- гравитационное поле.

Анализ характеристик явлений и процессов приводит к выводу, что реализация измерений текущих параметров геофизических объектов возможна только с помощью космических средств. Это позволит сформировать базу исходных данных для построения и корректировки физических моделей, отражающих адекватную картину геофизической обстановки в ОКП. В результате исследований в рамках вышеуказанной НИР разработана концепция информационной системы мониторинга геофизической обстановки, которая включает шесть группировок КА, каждая из которых имеет специфическую целевую направленность и объединяется физически однородными задачами:

А) солнечную, состоящую из одного КА, выведенного на гало-орбиту в окрестности точки Лагранжа L1 системы «Солнце – Земля», позволяющий получать в реальном (или близком к реальному) времени:

- характеристики магнитного поля и плазмы солнечного ветра;
- плотность потоков энергичных частиц;
- изображения Солнца в линиях ультрафиолетового, рентгеновском и оптическом диапазонах;
- карту распределения магнитных полей в гелиосфере;
- солнечные радиовсплески 3-го типа в диапазоне 40 – 250 кГц;

Б) геостационарную, включающую 3 КА, обеспечивающих передачу в реальном времени информации с других геофизических КА, а также для контроля солнечной активности и потоков заряженных и нейтральных частиц;

В) магнитосферную (3 КА на орбите типа «Молния»), для контроля потоков частиц и во внутреннем, и во внешнем радиационных поясах на различных L-оболочках, высотах и при различных величинах магнитного поля, электромагнитных излучений природного и антропогенного характера, а также наблюдать авроральную область в УФ-видимом и ИК-диапазонах;

Г) полярную (3 КА на орбите типа «Метеор»), для контроля потоков энергичных частиц, волновой активности, магнитных и электрических полей, а также определения состава атмосферы с помощью спектральной аппаратуры;

Д) ионосферную, включающую 8 КА на низкой орбите, оснащенных широкополосными ионозондами (1–20 МГц), а также зондами Ленгмюра, ГЛОНАСС-измерителями полного электронного содержания и двухчастотными передатчиками;

Е) гравитационную (1 КА), для высокоточных измерений характеристик гравитационного поля и определения структуры гравитационных аномалий.

Выполненная оценка технологических возможностей позволяет утверждать, что для реализации такой системы в космической промышленности России имеются предпосылки. Необходимо подчеркнуть, что разработанная концепция представляет некоторую программу исследований в области изучения окружающей природной среды.

КОМПЛЕКС ПЕРСПЕКТИВНЫХ СВЧ-РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ «АТМОСФЕРА – ПОДСТИЛАЮЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ»

*М.Т. Смирнов, В.П. Саворский, А.Б. Аквилонова,
Д.М. Ермаков, И.Н. Кибардина, О.Ю. Панова
(Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН)*

Ключевые слова: СВЧ-радиометрия, дистанционное зондирование Земли.

Исследование Земли спутниковыми СВЧ-радиометрическими средствами с долгоживущих орбитальных платформ получило в последнее время новый импульс к развитию после запуска СВЧ-радиометрического комплекса ATMS на платформе Suomi-NPP (НАСА, США). В ближайшие 5-10 лет аналогичные системы, построенные на новой технологической базе, планируют вывести на орбиту ЕКА и Китайская метеорологическая администрация. При этом важно отметить не только развитие новых аппаратурных комплексов СВЧ-диапазона, а также новые шаги в развитии программно-методического обеспечения для получения более точных и надежных оценок состояния окружающей среды по данным СВЧ радиометрических измерений.

Аналогичные системы развиваются в настоящее время и в России и, неизбежно, будут широко реализованы в российских перспективных проектах. В этой связи представляется важным провести глубокий анализ состояния зарубежных и отечественных разработок в этой области с тем, чтобы выработать обоснованные научно-технические предложения по созданию отечественной линейки перспективных СВЧ-радиометрических приборов для изучения системы «атмосфера – подстилающая поверхность» с модульных долгоживущих орбитальных платформ изучения Земли. Именно выработка таких предложений и является основной целью данной работы.

Методологическую основу данной работы составляет анализ требований к спутниковым СВЧ-радиометрическим системам со стороны крупномасштабных проектов по исследованию климатической и синоптической изменчивости Земли, численное моделирование, разработка предложений по перспективным СВЧ радиометрическим системам, оценка реализуемости предлагаемых решений.

На основе теоретического анализа формирования потоков СВЧ излучения в атмосфере, включая проведенные в рамках работы модельные расчеты, а также анализа экспертных оценок ВМО нами сформулированы научно-технические предложения по перспективным СВЧ-радиометрическим спектрометрическим комплексам для исследования параметров атмосферы.

В результате проведенного анализа обоснован состав, определяющий основные конструктивные характеристики перспективного СВЧ-радиометрического комплекса. Он должен включать следующие компоненты:

– Температурно-влажностный зондировщик атмосферы, базирующийся на измерении радиотеплового излучения атмосферы в линиях поглощения кислорода (50–58 ГГц), водяного пара (183 ГГц) с привлечением, в качестве вспомогательных, измерений в окнах прозрачности 80–90, 130–150 ГГц или (и) в окрестностях линии 22,235 ГГц. Перспективным является разработка зондировщика, обеспечивающего перенастройку каналов зондирования, или обеспечение спектрального сканирования по всей или по значимым частям полос поглощения.

– СВЧ-радиометрическая поляриметрическая система сантиметрового диапазона с улучшенными метрическими характеристиками для исследований подстилающей поверхности Земли, которая позволяет определять такие параметры, как температура поверхности океана, влажность поверхностного слоя почвы, скорость приводного ветра, интегральное влагосодержание атмосферы над водной поверхностью, характеристики морских льдов, характеристики снежного покрова суши, интенсивность осадков; показано, что основные измерения параметров подстилающей поверхности должны проводиться в окнах прозрачности СВЧ-диапазона: 1–20, 25–60, 50–150 ГГц. В качестве вспомогательных для коррекции атмосферных эффектов в состав СВЧ-радиометрических комплексов по исследованиям параметров подстилающей поверхности могут быть включены каналы полос поглощения кислорода (50–58 ГГц) и водяного пара (22,235 ГГц).

– В составе общего СВЧ-радиометрического комплекса для измерений параметров подстилающей поверхности целесообразно выделить 2 относительно самостоятельных типа СВЧ-радиометрических систем: СВЧ-радиометрическую систему сантиметрового диапазона (С, Х, К, Ка, W) с возможным включением каналов более высоких частот и СВЧ-радиометрическую систему дециметрового L диапазона с возможным включением каналов С-диапазона.

Для всех рекомендованных радиометрических систем рассмотрены возможности их реализации на базе имеющихся заделов у российских разработчиков. Это является существенным положительным фактором, обеспечивающим ее успешную реализацию.

СПУТНИКОВАЯ РАДИОГОЛОГРАФИЯ ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ, ИОНОСФЕРЫ И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.С. Матюгов, А.Г. Павельев, О.И. Яковлев

(Фрязинский филиал Федерального

государственного бюджетного учреждения науки

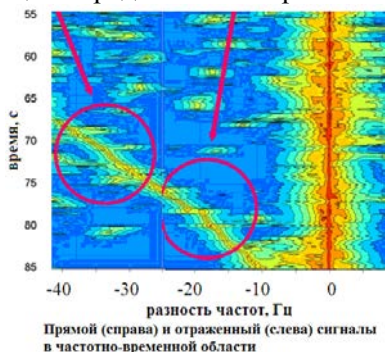
Института радиотехники и электроники

им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Фрязино)

Ключевые слова: навигационный спутник, радиоголография, атмосфера, ионосфера, поверхность.

Изучение процессов, происходящих в атмосфере, ионосфере, а также на поверхности суши и океана является фундаментальной задачей дистанционного радиозондирования. Спутниковые системы GPS, ГЛОНАСС, GALILEO и др. излучают высокостабильные, синхронизированные атомными часами, сигналы в дециметровом диапазоне радиоволн, что позволяет разрабатывать новые методики для высокоточного зондирования атмосферы, ионосферы, и радиовидения земной поверхности, а также создавать для этой цели радиоголографические бортовые и наземные приемные устройства. В 1998–2000 гг. был создан метод сфокусированного апертурного синтеза для анализа спутниковых радиоголограмм, позволивший впервые выделить в данных, полученных приемником космического аппарата Microlab-1, сигналы спутников GPS, отраженные от поверхности Земли, а также получить радиоизображения многолучевого распространения радиоволн в тропосфере. Созданы методы для решения фундаментальных задач дистанционного зондирования: 1. Разработан и проверен в экспериментах эффективный радиоголографический метод, позволяющий на порядок повысить вертикальное разрешение и увеличить точность измерений высотных профилей температуры в атмосфере и электронной концентрации в ионосфере. 2. Получены векторные уравнения, описывающие связь электромагнитных полей на поверхности, ограничивающей занятое трехмерной неоднородной средой пространство, с радиоволновыми полями внутри этого пространства. Обобщенные на случай неоднородной среды уравнения имеют фундаментальное значение для теории дифракции, распространения радиоволн и спутниковой радиоголографии. 3. Разработан метод определения высотных зависимостей амплитуды и фазы внутренних атмосферных гравитационных волн, что важно для контроля процессов переноса энергии и

кинетического момента в атмосфере. 4. Обоснован теоретически и подтвержден экспериментально эффект закономерной связи между интенсивностью сигнала и вариациями фазового пути, доплеровской частоты и ускорения эйконала. На основе этого эффекта создан метод, позволяющий определять высоту, наклон и горизонтальное смещение атмосферных и ионосферных слоев, а также изучать мелкомасштабные случайные неоднородности тропосферы, стратосферы, ионосферы. 5. Создан прецизионный одночастотный метод измерения поглощения радиоволн на трассах связи спутник-спутник.



На рисунке дан пример первого обнаружения отраженного от земной поверхности сигнала путем анализа радиоголограммы, полученной на спутнике Micro-Lab-1. Спектр прямого сигнала, прошедшего сквозь атмосферу, соответствует вертикальной полосе. Спектр отраженного сигнала смещается по частоте и показан овалами. Разработанная методика применяется для исследования атмосферы, ионосферы земной поверхности по радиоголограммам, полученным спутниковыми миссиями GPS/MET, CHAMP, FORMOSAT-3, и др.

МИКРОВОЛНОВЫЙ НУЛЕВОЙ МНОГОПРИЕМНИКОВЫЙ РАДИОМЕТР БОРТОВОГО БАЗИРОВАНИЯ

А.В. Убайчин, А.В. Филатов

*(Томский государственный
университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
г. Томск)*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, микроволновая радиометрия, многоприемниковый радиометр, повышение чувствительности, долговременная стабильность, научное приборостроение.

Введение

Среди технических средств дистанционного зондирования особое место занимают микроволновые радиометры. Данные радиометрических исследований позволяют получать актуальную информацию о

многих факторах окружающей среды. Наряду с эффективными методами решения обратных задач, на достоверность полученных радиометрическими методами данных влияет инструментальная погрешность радиометров.

Использование радиометров характеризуются жесткими условиями эксплуатации, например, в составе бортовой аппаратуры спутников дистанционного зондирования Земли с негерметичной платформой. Особенности эксплуатации обуславливают высокие требования к стабильности радиометрических измерений.

Основная часть

Большая часть бортовых радиометрических систем реализована по классическим схемам. Изменение условий внешней среды оказывает влияние на дрейф собственной шумовой температуры и коэффициента передачи измерительного тракта радиометра. Применение классических радиометров в условиях натурной эксплуатации без использования систем управления изменениями параметров приемников затруднительно.

Новой схемной реализацией радиометрических систем, является модифицированная схема нулевых измерений. Нулевые радиометры, основанные на данной схеме, позволяют использовать радиометрические приемники без термостатирования, низкочастотная часть таких радиометров выполнена без применения операций синхронного детектирования, аналого-цифрового преобразования и усиления постоянного тока.

Для повышения чувствительности при сохранении долговременной стабильности и динамики результатов измерений в модифицированных нулевых радиометрах применена концепция многоприемниковости.

Данная концепция позволяет увеличивать чувствительность пропорционально корню квадратному из числа приемных каналов, тем самым снизить требования к антенной системе, упростить калибровку радиометра, повысить точность радиометрических измерений.

Использование четырех приемников в составе радиометрической системы позволяет достичь чувствительности идеального компенсационного радиометра.

Алгоритм функционирования многоприемникового нулевого радиометра позволяет сохранять работоспособность всей радиометрической системы при выходе из строя одного и более радиометрических

приемников, что значительно повышает надежность системы в условиях орбитальной эксплуатации.

Заключение

Предложен метод схемной реализации, позволяющий повысить чувствительность, долговременную стабильность и надежность модифицированных нулевых микроволновых радиометров без применения термостабилизации радиометрических приемников.

СЕКЦИЯ 4. НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА

ТЕХНОЛОГИИ ДЗЗ СПУТНИКОВОГО ЦЕНТРА ДВО РАН

*В.А. Левин, А.И. Алексанин
(Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,
г. Владивосток)*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, метеорологические спутники, геофизические параметры, технологии обработки данных, информационные системы.

В ДВО РАН с 1999 года функционирует Центр коллективного пользования (ЦКП) «Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН» (Спутниковый Центр ДВО РАН – Центр). Основная цель Центра заключается в развитии технологий спутникового мониторинга природной среды для проведения и информационной поддержки фундаментальных и прикладных научных исследований институтов ДВО РАН и других ведомств в области физики океана и атмосферы, океанологии, морской биологии, географии и экологии, геологии.

Центр создан на базе лаборатории спутникового мониторинга ИАПУ ДВО РАН, где функционирует 4-х антенный комплекс приёма и обработки цифровой метеорологической информации с полярно-орбитальных и геостационарных спутников. Ведется прием данных с метеорологических спутников MTSAT-1R, FY-2C, NOAA, FY-1D, TERRA и AQUA, Suomi NPP в основном в целях мониторинга океана и атмосферы. Ключевыми параметрами для мониторинга океана и атмосферы, являются:

- биопараметры воды – биомасса фитопланктона, концентрация хлорофилла-а, прозрачность воды, флюоресценция и виды доминирующих водорослей;
- ежедневные всепогодные карты температуры поверхности океана;
- поверхностные течения;
- автоматически идентифицируемые синоптические вихри океана с расчетом их положения, формы, размеров и высоты уровенной поверхности;
- геометрические и термодинамические характеристики тайфунов и их мониторинг в автоматическом режиме;
- характеристики льда – положение кромки льда, скорости дрейфа;
- профили температуры и влажности атмосферы.

С целью определения этих параметров ведется разработка технологий первичной обработки данных (автоматическая коррекция географической привязки, калибровка) и тематической обработки. Разработаны технологии автоматического получения по спутниковым изображениям скоростей поверхностных течений, динамических параметров синоптических вихрей, температуры поверхности океана, параметров излучения водной поверхности и морской биопродуктивности; автоматического выделения синоптических вихрей океана с оценками скоростей поверхностных течений; автоматическое обнаружение тропических циклонов (ТЦ) с оценкой геометрических параметров (положение центра ТЦ и его размер) и занесением параметров в базу данных; расчет профилей температуры и влажности атмосферы. Разработанные технологии существенно повысили точность и достоверность расчетов, что позволяет надежно применять их для оперативного мониторинга состояния прибрежных акваторий.

КОМПЛЕКС ПРИЁМА И РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ РАБОТЫ С КА «ЭЛЕКТРО-Л» №1 И КА «ЭЛЕКТРО-Л» №2

*А.К. Гончаров, О.В. Бекренёв, Н.С. Варейчук,
С.И. Мартынов, К.Н. Филькин, В.В. Мороз, А.В. Табенков, А.А Бирю-
ков*
*(НЦ ОМЗ ОАО «РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ», г.
Москва)*

Ключевые слова: ДЗЗ, комплекс приёма и регистрации.

Научный центр оперативного мониторинга земли является Оператором российских космических систем ДЗЗ и отраслевым информационным центром Роскосмоса. Кроме выполнения полного технологического цикла задач по планированию, приему, регистрации, обработке, архивации, хранению и распространению информации с российских космических аппаратов ДЗЗ и зарубежных КА в рамках заключенных соглашений и контрактов НЦ ОМЗ проводит разработку и оснащение приемными комплексами региональных центров Роскосмоса и пунктов приема информации других потребителей. В частности, в рамках работ по НКПОР «Электро» был создан приёмный комплекс для работы с КА «Электро-Л» №1 с прямофокусной параболической антенной, общий вид которого представлен на рисунке.



Предварительные расчеты энергетического баланса радиолиний передачи информации с указанного КА показали, что для обеспечения заданного качества приёма диаметр приёмной антенны должен составлять 2, 4 м. Созданный в НЦ ОМЗ приёмный комплекс с такой антенной получил обозначение ПК-2,4 и эксплуатируется в течение 3,5 лет. Опыт эксплуатации комплекса ПК-2,4 показал правильность энергетических расчетов, а также эффективность технических решений, касающихся конструкции антенной системы и приёмного тракта. Штатный приём информации с КА

«Электро-Л» №1 (точка стояния 76° в.д.) ведется в двух диапазонах:

- Х диапазон (несущая частота 7,5 ГГц): прием информации МСУ-ГС (до 48 сеансов в сутки) с периодичностью 30 минут;

- Л диапазон (несущая частота 1691 МГц): прием обработанной метеорологической информации (ОМИ) в форматах LRIT и HRIT;

Для работы с КА «Электро-Л» №2 (предварительная точка стояния 14,5° з.д.), согласно ТЗ на приёмный комплекс, согласованное с ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», на базе приёмного комплекса ПК-2.4 был создан приёмный комплекс СПКИ №2 с диаметром антенны 3.05 м. На данный момент успешно проведены приёмо-сдаточные, автономные и комплексные испытания с привлечением представителей военной приёмки и Заказчика. Кроме того аппаратная часть приёмного комплекса СПКИ №2 привлекается к испытаниям по проверке правильности работы бортовой аппаратуры КА «Электро-Л» №2 в ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина».

В докладе рассматриваются актуальные моменты при создании приемных комплексов.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ В НАЗЕМНОМ СЕГМЕНТЕ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ «МЕТЕОР-3М» И «ИОНОЗОНД»

В.М. Смирнов¹, С.И. Тынянкин²

(¹ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино;

²ЗАО «СТТ групп», г. Москва)

Ключевые слова: ионосфера, атмосфера, метод радиопросвечивания, радиозатменный метод, аппаратно-программный комплекс, мониторинг, навигационные системы ГЛОНАСС/GPS.

В бортовой аппаратуре ряда существующих и разрабатываемых космических комплексов (КК), таких как КК «Метеор-3М», КК «Ионозонд», реализуется радиозатменный метод определения параметров атмосферы и ионосферы по результатам приема и обработки радиосигналов ГНСС ГЛОНАСС и GPS.

В частности, космические аппараты «Ионосфера» (из состава КК «Ионозонд»), планируемый срок запуска – 2014, 2015 годы) имеют в качестве одного из видов целевой аппаратуры *GPS измеритель полного электронного содержания (ПЭС)*, предназначенный для определения высотного распределения электронной концентрации ионосферы Земли (от основания ионосферы до высоты КА) по данным радиоза-

тменных измерений сигналов космических аппаратов глобальных навигационных систем GPS/ГЛОНАСС.

На космическом аппарате «Метеор №3» (КК «Метеор-3М», планируемый срок запуска – 2017 год) также в качестве одного из видов целевой аппаратуры будет использоваться *Аппаратура радиопросвечивания атмосферы АРМА-МЗ*, предназначенная для измерения обусловленных влиянием атмосферы и ионосферы приращений фазового пути и амплитуд сигналов, излучаемых ГНСС ГЛОНАС и GPS, в режиме радиозатменного зондирования, и получения на этой основе оценок параметров атмосферы и ионосферы.

Для обеспечения непрерывности мониторинга параметров ионосферы и интегральной влажности атмосферы, а также повышения достоверности получаемых данных (валидации проводимых измерений) предлагается в состав НКПОР включить аппаратно-программный комплекс пассивного мониторинга ионосферы (АПК-ПМИ), реализующий метод наземного радиопросвечивания с использованием радиосигналов ГНСС ГЛОНАС и GPS. Зона действия одного комплекса охватывает область радиусом около 1000 км. Предлагаемая схема проведения совместных измерений показана на рис. 1.

АПК-ПМИ, реализующий метод радиопросвечивания с использованием радиосигналов ГНСС ГЛОНАС и GPS, производится на основе серийно выпускаемой двухчастотной навигационной аппаратуры и в настоящее время является уникальным изделием. Функциональные возможности аппаратно-программного комплекса пассивного мониторинга ионосферы описаны в работах [1–3]. Основные технические параметры АПК-ПМИ приведены в табл.1, общий вид АПК-ПМИ – на рис.2.



Рис.1. Схема совместной работы



Рис. 2. Вид АПК-ПМИ

Таблица 1. Технические параметры АПК-ПМИ

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Погрешность определения критической частоты ионосферного слоя F2 (СКО), %	5...10
2	Периодичность определения ионосферных параметров	1 мин
3	Количество одновременно обрабатываемых сигналов космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS	до 20
4	Радиус зоны контроля ионосферы, км	700...1000
5	Масса, кг	<10

АПК-ПМИ имеет высокую степень автоматизации, обеспечивает круглосуточный непрерывный режим функционирования с сохранением (архивированием) тематической и служебной информации.

По результатам проведенных испытаний показано, что изделием АПК-ПМИ обеспечивается оперативное (в реальном масштабе времени) определение параметров критической частоты ионосферного слоя F2 с усредненной относительной погрешностью не хуже 10%. Поэтому оснащение НКПОР аппаратно-программным комплексом АПК-ПМИ позволит повысить эффективность функционирования КК «Метеор-3М» и КК «Ионозонд» за счет валидации получаемых бортовой аппаратурой данных и обеспечения непрерывности процесса мониторинга ионосферы и интегральной влажности атмосферы.

ОБ ОПЫТЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ОТ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ В ИНТЕРЕСАХ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕЁ РЕГИОНОВ

В.Б. Серебряков, А.Н. Жиганов, М.А. Лукьященко, Е.М. Трифонова
(ОАО «Научно-производственная корпорация «РЕКОД», г. Москва)

Ключевые слова: данные от космических средств наблюдения, модернизация экономики.

Президентом Российской Федерации 14 января 2014 года утверждены Основы государственной политики в области использования результатов космической деятельности (РКД) в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития ее регионов на пе-

риод до 2030 года. В них впервые официально установлено понятие результатов космической деятельности как продуктов и услуг, создаваемых в процессе космической деятельности.

В последние годы всё активнее используются данные от космических средств наблюдения, включая данные оптического и радиолокационного дистанционного зондирования Земли, метеообеспечения, топогеодезического обеспечения для решения широкого круга задач природопользования, сельского хозяйства, гидрометеорологии, изучения климата, мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, экологического мониторинга, картографии, фундаментального изучения Земли и ее эволюции. Для решения задач в интересах модернизации экономики Российской Федерации и её регионов данные от космических средств наблюдения в большинстве космических продуктов и услуг используются комплексно, совместно с навигационной информацией системы ГЛОНАСС.

В 49 регионах России (Республиках Алтай, Башкортостан, Бурятия, Дагестан, Калмыкия, Коми, Марий Эл, Татарстан, Тыва, Удмуртской, Чувашской, краях Алтайском, Забайкальском, Камчатском, Красноярском, Приморском, Хабаровском, областях Амурской, Архангельской, Астраханской, Владимирской, Волгоградской, Вологодской, Воронежской, Ивановской, Иркутской, Калужской, Кемеровской, Кировской, Костромской, Курганской, Курской, Нижегородской, Новосибирской, Омской, Орловской, Псковской, Ростовской, Рязанской, Смоленской, Тюменской, Ульяновской, Челябинской, Ярославской, Еврейской автономной области, Ненецком автономном округе (АО), Ханты-Мансийском АО, Ямало-Ненецком АО, Одинцовском районе Московской области) приняты и начали реализовываться региональные целевые программы внедрения спутниковых навигационных технологий с использованием системы ГЛОНАСС и иных результатов космической деятельности в интересах социально-экономического и инновационного развития субъектов Российской Федерации, развивается инфраструктура центров космических услуг. Однако, несмотря на определенный прогресс в использовании РКД, имеющиеся возможности космической инфраструктуры используются не в полной мере. Поэтому темпы и масштабы внедрения РКД в деятельность государственных органов управления всех уровней и масштабы использования косми-

ческих продуктов (услуг) в различных секторах экономики необходимо последовательно и существенно наращивать.

Обеспечение эффективного использования РКД – задача общенационального масштаба, имеющая комплексный, межрегиональный и межотраслевой характер. Для ее решения необходимо на основе единой государственной политики консолидировать усилия и ресурсы федеральных органов государственной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, бизнес-сообщества, всех заинтересованных юридических и физических лиц.

Имеющийся опыт позволил сформировать следующие приоритетные направления этой работы:

формирование системы нормативных правовых документов, регламентирующих вопросы разработки продуктов и оказания услуг с использованием РКД, определяющих задачи и полномочия в этой области министерств и ведомств, региональной власти, муниципалитетов, принципы и механизмы государственно-частного партнерства в сфере разработки продуктов (оказания услуг) с использованием РКД, оценку деятельности региональной власти, учитывающую эффективность использования ими РКД, а также предусматривающей государственную поддержку и стимулирование эффективного использования РКД для государственных и муниципальных нужд;

развертывание и функционирование национальной инфраструктуры использования РКД, включающей такие базовые элементы, как инфраструктура центров космических услуг (региональных, муниципальных, отраслевых и инновационно-образовательных), обеспечивающая доступ конечных пользователей к данным ДЗЗ и продуктам их тематической обработки, системы высокоточного позиционирования на основе глобальных навигационных спутниковых систем с функциональными дополнениями, обеспечивающих решение прикладных задач в интересах широкого круга конечных пользователей, а также основанной на использовании РКД системы мониторинга производственной (хозяйственной) деятельности в отраслях экономики и на особо значимых территориях;

сопряжение базовых элементов инфраструктуры использования РКД с другими национальными информационными ресурсами, основанными на преимущественном использовании РКД, включая госу-

дарственную территориально-распределенную систему космического мониторинга Росгидромета, инфраструктуру пространственных данных Российской Федерации, базовые картографические комплекты федерального, регионального и муниципального уровней, единую государственную систему мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, единую автоматизированную государственную систему экологического мониторинга и другие информационные системы Российской Федерации;

формирование системы стандартов, технических условий и технических требований к продуктам (услугам), создаваемым (оказываемым) с использованием РКД, совершенствование систем их сертификации, лицензирования и независимой экспертизы;

создание перспективных технологий комплексного информационно-навигационного обеспечения и мониторинга, включая технологии системного моделирования, сбора, обработки, анализа, хранения и использования сверхбольших объемов информации, автоматического распознавания и синтеза изображений, представление информации в форматах цифровой реальности и другие конкурентоспособные технологии;

создание на основе РКД геоинформационных, информационно-управляющих, моделирующих, прогнозных и аналитических систем, систем поддержки принятия решений в целях их внедрения в деятельность органов государственного и муниципального управления;

обеспечение интеграции и комплексирования разнородной информации (космической и некосмической) при создании космических продуктов (оказании космических услуг), их типизация и тиражирование в необходимых масштабах;

формирование условий для динамичного развития внутреннего рынка космических продуктов (услуг), в том числе взаимодействие с зарубежными операторами космических услуг, интеграция с сетями мировых операторов космических и геоинформационных услуг, а также стимулирование участия бизнес-сообщества, научных и образовательных организаций, общественных объединений и некоммерческих организаций в разработке, обсуждении и принятии решений в сфере использования РКД.

Руководствуясь результатами этих исследований, использование РКД, включая комплексное использование данных от космических

средств наблюдения, можно шире внедрить в различные отрасли экономики Российской Федерации и её регионов.

**НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПОДГОТОВКИ
ПОДВОДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЦУНАМИ:
ТЕОРИЯ И БЛОК-СХЕМА**

О.Б. Новик, С.В. Еришов, М.Н. Волгин, А.О. Новик

(Федеральное государственное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН))

В рамках основных принципов физики и геолого-геофизических данных, формулируется математическая модель *сейсмо(С)-гидро(Г)-электромагнитного(ЭМ) взаимодействия (СГЭМ)* геофизических полей. Рассчитываются и визуализируются последовательные стадии сейсмической генерации под дном океана и прохождения через толщу морской воды литосферного ЭМ сигнала во взаимодействии с сейсмической Р-волной, включая «замораживание» сигнала при переходе из литосферы под океаном в морскую воду (3.5 см/м) и ЭМ эмиссию в атмосферу. Показывается и «наследование» ЭМ-сигналом пространственно-временной структуры сейсмической волны. Полученные результаты совпадают с измерениями других авторов и подтверждают, что в известных работах геофизиков измерялся именно литосферный ЭМ-сигнал, а не совпадающий с ним по спектру ионосферный, как утверждали некоторые, ссылаясь на невозможность прохождения ЭМ-сигнала из литосферы в атмосферу ввиду скин-эффекта в глубоководных слоях океана. Основываясь на этих результатах, приводятся характеристики СГЭМ сигналов-предвестников подводных землетрясений и цунами, а также описывается блок-схема распределенной от дна океана до ионосферы наземно-космической системы детектирования предвестников. В частности, объясняется, почему в ряде типичных случаев первый сигнал-предвестник будет зарегистрирован бортовой аппаратурой стратостата или спутника, а не комплексом, хотя он ближе к источнику сигнала.

**СЕКЦИЯ 5.
НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ**

**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ
КМСС ДЛЯ УЧАСТНИКОВ КОНСОРЦИУМА УНИГЕО**

О.В. Бекренев (1), Л.А. Гришанцева (1),

К.С. Емельянов (1), А.К. Гончаров (1),

А.С. Рождественский (1), Л.И. Пермитина. (1),

Б.С. Жуков (2), А.В. Никитин (2), И.В. Полянский (2)

(1 – НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы», г. Москва.

2 – Институт космических исследований РАН, г. Москва.)

Ключевые слова: ДЗЗ, УНИГЕО, КМСС, потоковая обработка.

Консорциум УНИГЕО является объединением интеллектуальных ресурсов и передовых технологий высших учебных заведений России в областях дистанционного зондирования Земли и геоинформатики для повышения качества образования и обеспечения открытого доступа гражданского общества к новым знаниям и технологиям использования данных дистанционного зондирования Земли (с сайта консорциума).

Участниками консорциума являются: Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ), Южный федеральный университет (ЮФУ), Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), Алтайский государственный университет (АлтГУ), Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ) и другие вузы. Координирующую роль в консорциуме играет ООО «ИТЦ Сканэкс», который является поставщиком аппаратного и программного обеспечения.

Во многих указанных вузах установлены антенные системы производства ООО «ИТЦ Сканэкс», на которые производится прием информации с космических аппаратов ДЗЗ, развернуты геопорталы по предоставлению пространственных данных.

В середине 2012 года в НЦ ОМЗ обратились специалисты ООО «ИТЦ Сканэкс» с просьбой предоставить вузам, участникам УНИГЕО,

программное обеспечение, выполняющее стандартную обработку данных датчика КМСС КА «Метеор-М» №1.

В НЦ ОМЗ разработана и успешно эксплуатируется с 2010 г. технология потоковой обработки данных КМСС, аналогичная информационным технологиям обработки данных ДЗЗ, принятым ведущими мировыми центрами (например, EOS DIS/NASA).

Для поставки в вузы данное программное обеспечение было доработано. В связи с тем, что формат записи транспортного потока космических данных на антенных комплексах вузов и антенных комплексах НЦ ОМЗ различается, была создана специальная программа-конвертер. Особенностью этой программы является то, что в процессе конвертации программа сама определяет датчик (КМСС100-1, КМСС100-2 или КМСС-50), информация которого упакована в зарегистрированном файле. При обработке информации в НЦ ОМЗ сведения о датчике заранее известны.

Далее потоковая обработка осуществляется средствами аппаратно-программного комплекса обработки, каталогизации и архивации спектрозональной информации КМСС. Обработка видеоданных КМСС проводится по маршрутам съемки и включает следующие этапы:

- формирование из исходной информации файлов изображений, навигации и метаданных,
- разбиение маршрута на кадры, радиометрическая коррекция и создание зональных изображений,
- временная и географическая привязка изображений с использованием информации о положении и ориентации КА,
- геометрическое совмещение зональных изображений в кадре на заданной географической сетке.

В результате потоковой обработки формируются радиометрически скорректированные зональные изображения с разбивкой по кадрам и соответствующие им файл-сетки географической привязки. Далее формируются совмещенные изображения, преобразуются в компоненты цветового пространства RGB и формируются обзорные изображения.

Полученные данные можно использовать для тематической обработки и наполнения геопортала.

Программные средства потоковой обработки КМСС предоставляются вузам безвозмездно согласно договору об

абонентском обслуживании. Вузам сообщается информация о передачи информации КМСС (время начала и окончания сеанса, режим передачи).

Прием и обработка данных КМСС начата в Южном федеральном университете, Сибирском федеральном университете.

СОВМЕСТНЫЕ РАБОТЫ ВНИИЭМ И РГРТУ ПО СОЗДАНИЮ СРЕДСТВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВИДЕОДАННЫХ МСУ-МР И КМСС КА «МЕТЕОР-М» №2

*В.В. Еремеев, * В.А. Ермаков, П.А. Князьков,*

*А.Е. Кузнецов, * О.А. Никонов*

*(ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический
университет», г. Рязань*

** ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)*

Ключевые слова: съемочные устройства МСУ-МР и КМСС, геометрическая калибровка, радиометрическое и геометрическое качество целевой информации, пространственное разрешение, программный комплекс MeteorControl.

Результаты опытной эксплуатации КА «Метеор-М» №1 позволили выявить ряд узких мест в НКПОР-М, созданного для КА «Метеор-М» №2.

Во-первых, отсутствуют унифицированные программно-методические средства по оценке качества информации датчиков МСУ-МР и КМСС, выдаваемой потребителям. Разработчиками аппаратуры для аттестации съемочных устройств в ходе летных испытаний разработаны узкоспециализированные инструментальные средства, которые, к сожалению, не охватывают всего перечня вопросов по оценке качества информации и не могут штатно использоваться у Оператора КК «Метеор-М» №2.

Во-вторых, оставлены без внимания вопросы геометрической калибровки МСУ-МР, после выведения аппарата на орбиту.

В-третьих, недостаточно эффективно организована работа специалистов ВНИИЭМ по контролю работы съемочной аппаратуры и оценке качества целевой информации. Например, проанализировать различного рода дефекты изображений можно только на технических средствах НЦ ОМЗ или НИЦ «Планета», где установлено программное обеспечение обработки материалов съемки.

Для преодоления этих ограничений специалистами ВНИИЭМ и РГРТУ в 2013 г. проведены следующие работы. Разработано унифицированное методическое обеспечение по оценке качества получаемых со спутника изображений, которое согласовано как с разработчиками аппаратуры, так и с эксплуатирующими организациями: НЦ ОМЗ и НИЦ «Планета». На базе методического обеспечения создан специализированный программный комплекс MeteorControl, установленный на средствах Оператора КК «Метеор-М» №2 и во ВНИИЭМ. В ходе ЛИ с использованием этого комплекса специалисты ВНИИЭМ и РГРТУ планируют выполнить работы по геометрической калибровке МСУ-МР, результаты которой будут переданы разработчиками программного обеспечения обработки целевой информации.

В докладе рассматриваются алгоритмы оценки следующих параметров качества:

- погрешности поэлементного совмещения исходной информации от видимых и тепловых каналов МСУ-МР;
- погрешности поэлементного совмещения каналов выходной информационной продукции КМСС, геокодированной по орбитальным данным;
- погрешности геодезической привязки данных МСУ-МР и КМСС по орбитальным параметрам с возможностью выявления ошибок временной синхронизации;
- ширины полосы обзора КМСС и МСУ-МР;
- размера проекции пиксела для заданных участков строки изображения;
- пространственного разрешения и функции передачи модуляции исходной информации;
- отношения сигнал-шум (при заданном уровне сигнала);
- эквивалентной шуму энергетической яркости и эквивалентной шуму разности температур;
- радиометрического качества информации, регистрируемой средствами приема, с точки зрения наличия сбоев в виде полосовых и точечных помех.

Программный комплекс MeteorControl автоматизированно выполняет функции:

- оценку перечисленных выше параметров, их сохранение в локальной файловой базе данных (БД), управление локальной файловой БД, отбор и отображение информации из БД;
- уточнение элементов внутреннего ориентирования и конструктивных углов съемочной аппаратуры;

- открытие и визуализацию исходной и промежуточной информации, а также выходной информационной продукции с инструментами контрастирования, масштабирования и скроллингования;
- определение координат элементов изображения (растровых и геодезических), линейных расстояний и площади (в пикселях и физических величинах);
- нанесение векторной карты на изображение (векторная карта DCW в формате SHP масштаба $1:10^6$ поставляется в составе комплекса);
- измерение и редактирование координат опорных точек местности;
- определение значения яркости элементов изображения (дискретный уровень и физическое значение);
- определение среднего значения и среднеквадратического отклонения сигнала в выбранном фрагменте изображения;
- построение гистограммы всего изображения и гистограммы выбранного фрагмента;
- сохранение визуализируемой информации в электронном варианте и в виде принтерной копии;
- трансформирование изображений в картографические проекции;
- формирование цветосинтезированных изображений по данным КМСС;
- выполнение радиометрических коррекций (фильтрации помех, устранение структурных искажений по калибровочным данным);
- совместный анализ геокодированных снимков и картографической информации (формат SHP) на предмет оценки точности геодезической привязки.

В докладе представлены примеры оценивания параметров качества видеоинформации МСУ-МР и КМСС КА «Метеор-М» №1. В заключение формулируются основные направления по использованию созданного задела в системе обеспечения качества целевой информации от КА «Метеор-М» 2-1, 2-2.

ОРБИТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИОННОГО СОСТАВА ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Б.М. Кириюшов, А.А. Похунков, С.А. Похунков, Г.Ф. Тулинов
(Институт прикладной геофизики
имени академика Е.К. Фёдорова Росгидромета)*

Представлены результаты анализа экспериментальных данных измерений относительного ионного состава верхней атмосферы с использованием радиочастотного масс-спектрометра РИМС-М на борту действующего космического аппарата «Метеор-М». Проведена обработка массива данных ежесуточных измерений за период 07.10.2009 г. по настоящее время и сформирована база данных вариаций ионного состава верхней ионосферы на высотах 810–830 км в диапазоне широт от –81 до +81 градуса. Результаты обработки совместно с данными по высоте, географическим координатам и времени представляются в табличном, графическом и картографическом виде. Приведены результаты анализа возможной реакции верхней ионосферы на работу нагревного стенда на Аляске, на проявления сейсмической активности в недрах Земли с выбросами больших количеств лёгких газов, а также реакции на метеоритное событие 15 февраля 2013 года над Челябинском. Приведены результаты корреляционного анализа полученных экспериментальных данных с данными ионосферной модели IRI-2011 для различных сезонов, широт, времени суток, а также уровней солнечной и геомагнитной активностей. Представлены образцы графических интерфейсов для визуализации данных эксперимента и результатов корреляционного анализа.

ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ МЕТОДОМ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

*В.Г. Коберниченко, А.В. Сосновский
(ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург)*

Ключевые слова: радиолокационная интерферометрическая съёмка, цифровые модели рельефа и местности, интерпретация, экспериментальная оценка.

Построение цифровых моделей местности (ЦММ) и оценка деформаций земной поверхности стали в ряд основных задач, решаемых на основе обработке данных современных радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Метод космической радиолокационной интерферометрии, заключающийся в совместной обработки фазовых полей, полученных съемкой одного и того же участка местности одновременно двумя антенными системами, либо одной антенной на двух витках орбиты, сочетает высокую точность фазового метода измерения дальности с высокой разрешающей способностью космических радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА).

Интерферометрической обработке присуща высокая степень автоматизации, что позволяет снизить влияние «человеческого фактора». Однако качество ЦММ существенно зависит от множества других мешающих факторов, затрудняющих в ряде случаев получение удовлетворительного результата. Выделим основные из них.

1. Декорреляция (потеря когерентности) отражённых сигналов, которая вызывается различием ракурса съёмки (геометрическая декорреляция), изменениями поверхности и среды распространения радиоволн за период между съёмками (временная декорреляция) и объёмным рассеянием радиоволн на некоторых типах поверхностей.

Уровень декорреляции различен для разных типов поверхностей: от почти полной когерентности (мелкая растительность, городские территории при использовании РСА высокого и сверхвысокого разрешения) до полной декорреляции (водные поверхности, лесная растительность при использовании в РСА волн сантиметрового диапазона). Таким образом, точность получаемой цифровой модели рельефа будет существенно зависеть от типа поверхности, а получение скольконибудь надёжных результатов становится возможным только при использовании интерполяционных процедур.

2. Зависимость результата от выбора конкретных алгоритмов на различных этапах интерферометрической обработки: фильтрации фазового шума, развертывания интерферометрической фазы, а также от настройки их параметров. Для фильтрации фазового шума применяются адаптивные фильтры, как пространственные, так и работающие в частотной области. Для осуществления операции развертывания фазы разработано несколько десятков алгоритмов, основанных на аппарате из различных областей современной математики. И если для операции

фильтрации фазового шума частотный адаптивный фильтр можно рекомендовать в качестве универсального, то развёртывание фазы до сих пор остаётся самым проблемным этапом радиолокационной интерферометрической обработки.

3. Трудности интерпретации результатов интерферометрической обработки. Так, для городских территорий получаемая цифровая модель будет отражать информацию о стенах и крышах зданий, обращённых в сторону радиолокатора, что не позволяет отнести её (без дополнительной ручной обработки) ни к модели рельефа, ни к модели местности. Дополнительной проблемой здесь является наложение эхосигналов от различных участков поверхности, в частности, от стен домов и прилегающей к ним территории.

Для поверхностей с объёмным рассеянием (если результат всё же удастся получить) сформированная ЦМР будет содержать информацию о средней (в некотором смысле) высоте центров отражения, по которой затруднительно определить как высоту рельефа подстилающей поверхности, так и собственно высоту объектов, дающих объёмное рассеяние.

4. Непредсказуемость и слабая изученность влияния атмосферы на получаемый результат, особенно в части тропосферных искажений.

Таким образом, надёжность получаемых методом космической радиолокационной интерферометрической съёмки результатов существенным образом зависит от объекта, условий съёмки и от применяемых методов обработки. В этой связи особую актуальность приобретают экспериментальные исследования алгоритмов интерферометрической обработки. Они должны проводиться по материалам съёмки тестового участка, содержащего как естественные изменения рельефа, так и антропогенные его нарушения (карьеры, отвалы), а также участки растительности разного типа (хвойные и лиственные леса, болота, сельскохозяйственные угодья), объекты с различной отражательной способностью радиоволн (водная поверхность, опоры ЛЭП, железные и автомобильные дороги, городская застройка).

В докладе излагается методика формирования эталонной ЦМР тестового участка. Приведены результаты построения фрагментов ЦМР тестовых участков по данным КА ALOS PALSAR.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ «АЛЬБЕДО»

*П.В. Страхов, А.А. Николенко, Л.Н. Чабан, Б.М. Шурыгин
(Московский физико-технический институт
(государственный университет))*

Обработка гиперспектральных снимков – относительно новое направление исследований. С ее помощью можно выполнять обнаружение лесных пожаров, мониторинг состояния почв, водных ресурсов, растительности, состояния сельхозугодий, техногенных изменений, дешифрование объектов городской инфраструктуры. Специализированного программного обеспечения для такой обработки практически нет. Для этих целей обычно используют многофункциональные пакеты (например, ERDAS, ENVI).

На кафедре СУМГФ МФТИ производится разработка специализированного программного обеспечения для обработки гиперспектральных снимков под названием «Альбедро». Его пользовательский интерфейс, реализация хранения данных и алгоритмов их обработки оптимизированы для решения задач, которые возникают в ходе обработки многоканальных данных.

В «Альбедро» можно выполнить полный цикл обработки данных. Первым этапом является первоначальная обработка и приведение данных к радиометрическим единицам, получение спектральной калибровки. Данное ПО позволяет использовать входные данные в часто используемых форматах (GeoTIFF, ENVI BIL+HDR, ERDAS Imagine), а также входные данные в форматах спутников МКА ФКИ и Hyperion. Также поддерживаются форматы приборов авиасъемки «Лептон» и гиперспектральной аппаратуры «Фрегат». Следующий этап — коррективировка данных. Поддерживается адаптивный низкочастотный фильтр, коррекция по эталонному спектру, а также атмосферная коррекция на основе пакета MODTRAN.

«Альбедро» предоставляет широкий спектр средств анализа полученных данных. Среди них возможность построить изображение по выбранным каналам раstra, вычисление статистики по целому раstrу или области интереса, анализ главных компонент, вычисление индексов по произвольным формулам, построение гистограмм, спектральных профилей, а также двумерных гистограмм по двум каналам.

Если в исходном файле не имелось географической проекции, то необходимо произвести его геопривязку, чтобы полученные результаты можно было как-то применять. В пакете «Альбеде» для этого реализована географическая привязка по опорным точкам с использованием полиномиального преобразования. Также можно составить мозаику из нескольких снимков, лежащих в одной проекции.

Когда данные подготовлены, наступает этап классификации. «Альбеде» предоставляет возможность неконтролируемой классификации по модифицированному алгоритму ISODATA, контролируемой классификации по сигнатурам, заданным пользователем, классификации по диапазонам значений, которая обычно используется после вычислений индексов, и классификации путем сравнения с эталонными спектрами.

Пост-обработка результатов классификации позволяет привести тематическую карту к виду готового продукта, а также объединить несколько результатов классификации в одну карту. Для этих целей предназначены процедуры сглаживания, объединения классов, создание масок, логические операции с масками, применение масок к результату классификации или классифицируемому документу, векторизация результата.

Полученные результаты, а также все промежуточные данные можно экспортировать в файлы. Поддерживаются форматы GeoTIFF, ERDAS Image, PNG, CSV, KML, Shape.

В «Альбеде» можно выполнять операции со спектрами: сглаживание, интерполяцию, создание смеси. Также можно составлять структурированные спектральные библиотеки и использовать их при классификации.

Типовой процесс обработки гиперспектральных снимков включает много промежуточных этапов, последовательные и параллельные применения процедур обработки данных, каждая из которых имеет свои параметры. В ERDAS, ENVI и подобных пакетах необходимо хранить все файлы отдельно и при этом помнить, где какой файл сохранен и откуда он получен.

В «Альбеде» на помощь оператору приходит система управления данными в виде проектов. В каждом проекте хранится информация обо всех промежуточных этапах обработки, использованных процедурах, их параметрах. Она визуально представлена деревом, в котором блоки данных и процедуры соединены стрелками. Можно в любой момент изменить параметры любой процедуры и пересчитать всю по-

следующую цепочку обработки, а также применить одну и ту же цепочку обработки к нескольким входным файлам одновременно. Важно, что для каждого результата обработки точно известны использовавшиеся процедуры и их параметры. Также оператору доступна вся история изменения проекта, так что он может отменить любое действие и вернуться к любому предыдущему моменту работы. С помощью этой системы управления данными также можно организовать потоковую обработку данных или ручную обработку по заранее подготовленным алгоритмам. Более того, благодаря модульной архитектуре этот механизм можно использовать и для решения задач другого рода. Значительных изменений в коде не потребуется, достаточно реализовать необходимые процедуры обработки и визуализации данных.

На основе этих фактов можно сделать вывод, что «Альбедро» – эффективный инструмент для работы с гиперспектральными данными. Он может применяться для их анализа, разработки алгоритмов, проверки возможности их применения, а также для автоматической и полуполупри автоматической обработки по разработанным алгоритмам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОЧНОСТИ ГЕОПРИВЯЗКИ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ КА «КАНОПУС-В» №1 ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ

*В.А. Ермаков, С.И. Терехов, * А.Е. Кузнецов, * В.И. Пошехонов
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», Москва
* ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет», г. Рязань)*

Ключевые слова: космический аппарат, звездный датчик, кватернион ориентации, геодезическая привязка.

Важной характеристикой систем дистанционного зондирования Земли является точность геодезической привязки получаемых ими изображений без привлечения опорных точек местности. Для решения задачи геопривязки используются измерения пространственного положения и ориентации космического аппарата (КА) в процессе съемки, а также установочные углы и элементы внутреннего ориентирования камеры. Существенный вклад в получаемую точность геопривязки вносят значения углов ориентации, для определения которых на КА «Канопус-В» установлены два звездных датчика (ЗД).

В штатной технологии обработки информации КА «Канопус-В», реализованной в программном комплексе NormSatB №2, используются значения углов крена, тангажа и рыскания КА в орбитальной системе координат, рассчитываемые на борту спутника по измерениям звездных датчиков и передаваемые в служебной части каждого микрокадра маршрута. Особенностью работы звездных датчиков является неравноточность определения углов ориентации – разворот вокруг оптической оси прибора измеряется с существенно большей по сравнению с двумя другими осями погрешностью. Для точного определения ориентации КА необходимо оптимальным образом использовать измерения двух звездных датчиков.

Целью предлагаемой вниманию работы являлось исследование возможности повышения точности геопривязки целевой информации с помощью использования более оптимальных и трудоемких алгоритмов наземной обработки исходных измерений от ЗД, а также анализ их точностных характеристик звездных датчиков и корректности работы бортового алгоритма обработки измерительной информации. Для выполнения исследований был организован следующий эксперимент. Специалистами ВНИИЭМ реализован режим передачи в составе телеметрического потока исходных кватернионов ориентации от каждого из двух звездных датчиков в инерциальной системе координат.

Было установлено, что измерения от каждого звездного датчика поступают не синхронно. Для их обработки и определения углов ориентации КА был разработан алгоритм, основанный на описании угловых скоростей КА сплайновой функцией и определения её параметров путём минимизации по методу наименьших квадратов рассогласований с измерениями звездных датчиков, взвешенными в соответствии с точностью по каждой из осей. Анализ измерений показал, что СКО ошибки определения углов ориентации по двум осям приборной системы координат звездного датчика составляет порядка 5", по третьей – 35".

Далее была выполнена съемка опорных полигонов, на которых идентифицировались координаты контрольных точек. По рассогласованиям координат контрольных точек, измеренных по снимку и опоре были уточнены установочные углы камеры ПСС относительно звездных датчиков. Сравнение бортового и предлагаемого алгоритмов обработки измерительной информации от звездных датчиков выполня-

лось путем оценки точности геопривязки маршрутов съемки. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице.

Маршрут	Число контрольных точек	Точность геопривязки, м	
		Штатный алгоритм	С использованием исходных измерений ЗД
KV1_07010_07006_01_3NP2_08.rs m	52	21.36	13.47
KV1_07054_07051_01_3NP2_08.rs m	101	25.62	21.48
KV1_07063_07051_02_3NP2_08.rs m	52	23.05	21.82
KV1_07093_07087_02_3NP2_17.rs m	50	33.94	28.72
KV1_07108_07101_02_3NP2_08.rs m	59	38.54	29.66
KV1_07108_07102_01_3NP2_08.rs m	31	34.13	21.73
KV1_07292_07285_01_3NP2_08.rs m	53	24.32	15.02
KV1_07307_07304_01_3NP2_08.rs m	48	17.53	16.47
KV1_07352_07346_01_3NP2_08.rs m	53	14.60	11.71
СКО:		26.99	20.90

Как следует из таблицы, бортовой алгоритм обеспечивает корректную обработку разноточных измерений, однако наземная обработка исходных измерений выполняется более точно, что позволяет на 22,6 % повысить точность геопривязки. В заключение доклада даются рекомендации по возможностям повышения точностных характеристик для будущих спутников «Канопус».

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ СОВМЕЩЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ И ЦИФРОВЫХ КАРТ МЕСТНОСТИ, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ЛЕ-КУНА

М.В. Акинин

*(ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет»,
кафедра «Космические технологии», г. Рязань)*

Ключевые слова: спутниковый снимок, цифровая карта местности, совмещение изображений, искусственный интеллект, сверточная нейронная сеть Ле-Куна, многомерная самоорганизующаяся нейронная карта Кохонена.

Постановка задачи

Пусть имеется многоспектральный спутниковый снимок B , который необходимо совместить с цифровой (векторной) картой местности (ЦКМ) M .

Спутниковый снимок B и ЦКМ M располагают привязкой к некоторой системе координат, что позволяет говорить о том, что спутниковый снимок B и ЦКМ M уже совмещены, но это совмещение, как правило, нуждается в уточнении.

Теоретическая часть

Одним из методов решения задачи совмещения является метод, основанный на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС).

Данный метод обладает следующими достоинствами:

- высокая точность результата, обусловленная способностью ИНС к обобщению, запоминанию и восстановлению информации;
- возможность распараллеливания вычислений, выполняемых в процессе обучения и ИНС;
- возможность реализации ИНС на специализированном аппаратном обеспечении.

Существуют несколько подходов к решению задачи совмещения с использованием ИНС, одним из которых является подход, основанный на поиске объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке.

Алгоритм, реализующий данный подход, состоит из следующих этапов:

- выделение на спутниковом снимке характерных образов (1);
- классификация характерных образов (2);
- результирующее преобразование спутникового снимка (3).

$$T = \text{separation}(B);$$

$$C = \text{classification}(T, \text{desc});$$

$$B' = \text{transform}(B, C, M).$$

В (1) функция *separation* используется для выделения образов t на спутниковом снимке B . Образы t формируют множество выделенных образов T . В качестве функции *separation* может быть использована многомерная самоорганизующаяся нейронная карта Кохонена.

На вход алгоритма классификации (функция *classification* в (2)) подаются множество T и функция *desc*, рассчитывающая вектора признаков образов t . Функция *classification* формирует множество классов, каждый из которых является подмножеством T . Классы не пересекаются друг с другом. В качестве функции *classification* могут быть использованы ИНС, обучаемые с учителем. Наилучшим выбором для решения задачи классификации образов, по результатам экспериментальных исследований, оказалась сверточная нейронная сеть Ле-Куна, которая позволяет выполнять нелинейную классификацию образов, что обуславливает достаточно высокую точность классификации. В качестве функции *desc* предлагается использовать текстурные признаки Харалика, поскольку они реализуют компактное, но вместе с тем достаточно информативное, описание текстуры классифицируемого образа.

Функция *transform* (3) выполняет результирующее преобразование спутникового снимка B . В качестве функции *transform* может быть использован двухэтапный алгоритм, на первом этапе которого выполняется поиск соответствий между образами из классов C и объектами на ЦКМ M с использованием информации о классах образов и их положении на спутниковом снимке, а на втором этапе – выполняется расчет матрицы гомографии и соответствующее преобразование спутникового снимка B .

Эксперимент

В качестве тестовых данных для проведения эксперимента были взяты спутниковые снимки ряда районов Рязанской области, сделанные КА Landsat 5, и ЦКМ, составленная в рамках проекта OpenStreetMaps. Исходная привязка спутниковых снимков подвергалась искусственному искажению (смещению).

В ходе эксперимента предложенный алгоритм продемонстрировал высокую временную эффективность (среднее время работы — 1,2 секунды на фрагмент снимка размером 500х500 пикселей) и низкий уровень ошибок (в среднем не более 60 метров (2 пикселя)).

Выводы

Предложенный алгоритм совмещения спутниковых снимков и ЦКМ продемонстрировал высокую вычислительную эффективность и точность совмещения, достаточную для применения алгоритма на практике.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ФОТОСХЕМ МЕСТНОСТИ ПО ДАННЫМ С КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «КАНОПУС-В» №1

А.И. Васильев¹, А.В. Крылов², Б.В. Райченко¹
¹ (ЗАО «СТТ групп», г. Москва,

² ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов»,
г. Москва)

Ключевые слова: обработка спутниковых изображений, фотограмметрия, Канопус-В, ортофотоплан, фотосхема, кадровая аэрофотосъемка.

Технология зондирования с использованием космического аппарата (КА) «Канопус-В» №1 соответствует кадровой аэрофотосъемке, при этом панхроматическая съемочная система (ПСС) характеризуется следующими особенностями:

- фокальная плоскость включает шесть непересекающихся ПЗС-матриц (см. рисунок);
- угол зрения камеры менее 3°.

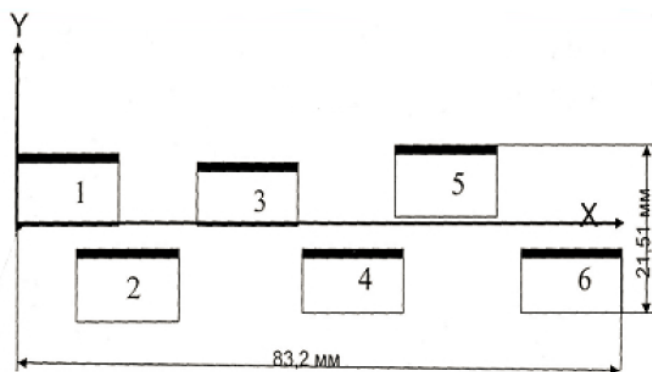


Схема расположения шести ПЗС-матриц (одномоментное включение) в фокальной плоскости камеры ПСС КА «Канопус-В» №1

В работе показано, что точность определения параметров съемочной аппаратуры (положение ПЗС-матриц в фокальной плоскости) не позволяет выполнить последующее построение фотосхем местности на основе технологии обработки данных кадровой аэрофотосъемки для одномоментных включений (СКО наблюдаемых разрывов ~ 7 пикс.).

Для построения безразрывных фотосхем в предлагается независимо рассматривать отдельные микрокадры, формируемые от каждой ПЗС-матрицы. Такой подход отождествляет каждый микрокадр независимо включению съемочной аппаратуры. Альтернативным подходом к построению безразрывных фотосхем может быть подход на основе самокалибровки, а именно определение положения ПЗС-матриц относительно главной точки снимка на этапе аэрофототриангуляции.

Разработан программный комплекс, реализующий данной технологию на основе рассмотрения отдельных микрокадров. В основу комплекса положено программное обеспечение, описанное в одной из работ. Для обработки данных от КА «Канопус-В» потребовалось существенно модернизировать следующие основные этапы технологии:

1. Формирование файл-проекта, содержащего параметры внешнего и внутреннего ориентирования для обрабатываемого маршрута;

2. Поиск связующих точек в областях перекрытия микрокадров.

С использованием разработанного программного комплекса выполнена обработка нескольких маршрутов съемки с КА «Канопус-В» №1 и сформированы безразрывные фотосхемы.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ ДЗЗ ДЛЯ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ С ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТЬЮ

В.А. Третьяков

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

Ключевые слова: мультиспектральные (МС) системы, гиперспектральные (ГС) системы, коэффициент спектральной яркости (КСЯ), спектральные диапазоны, эффективность, природные объекты (ПО).

Разработаны подходы к определению необходимого числа спектральных диапазонов для классификации природных объектов. Получены показатели для оценки эффективности использования мультиспектральных и гиперспектральных систем.

Ключевые слова: мультиспектральные (МС) системы, гиперспектральные (ГС) системы, коэффициент спектральной яркости (КСЯ), спектральные диапазоны, эффективность, природные объекты (ПО).

В проблеме создания многоканальных систем для решения задач ДЗЗ часто возникает вопрос о количестве необходимых спектральных диапазонов и об эффективности использования МС систем и ГС систем для полной идентификации ПО. Решение этой задачи является целью данной работы.

При рассмотрении задачи определения необходимого числа спектральных диапазонов при многозональных наблюдениях ПО земной поверхности в видимом (ВД) и ближнем инфракрасном (БИК) диапазонах были проведены исследования спектральных характеристик ПО.

Для исследований использовались ГС измерения здоровой и пораженной гербицидами пшеницы, полученные на Краснодарском тестовом участке.

Далее с помощью методики полевые измерения приводились к КСЯ, которые стали основой для математического анализа спектральных характеристик пшеницы в программе Mathcad 14.0.

На рис. 1 приведены входные данные для анализа.

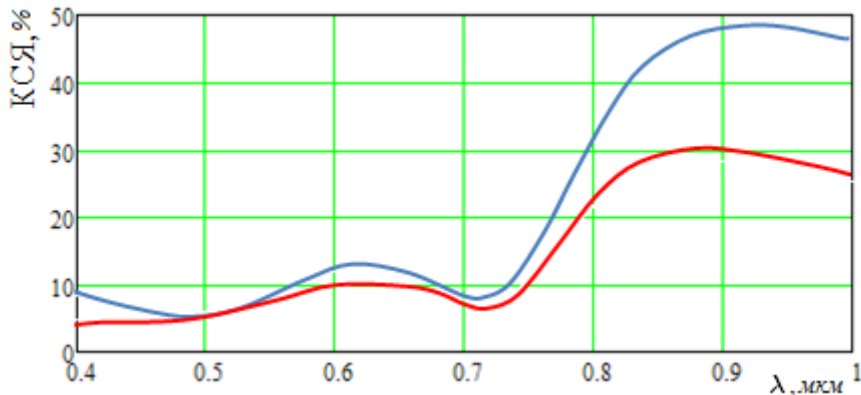


Рис. 1. КСЯ здоровой пшеницы (синий цвет) и пораженной гербицидами (красный цвет)

Спектр отражательной способности ПО состоит из набора значений отражательной способности, по одному для каждого спектрального канала. Каждый из спектральных каналов может рассматриваться, как одно измерение в гипотетическом n -мерном спектральном пространстве, где n – число спектральных каналов. Если мы отложим измеряемое значение отражательной способности для каждого спектрального канала на соответствующей каналу координатной оси, мы можем использовать эти координаты, чтобы определить локализацию точки в спектральном пространстве, что математически представляет собой частный спектр ПО. Обозначенная точка может также рассматриваться математически, как конечная точка вектора, который начинается в начале системы координат.

Таким образом, представив КСЯ здоровой и пораженной гербицидами пшеницы в виде n -мерных векторов, мы определили расстояния между спектрами при разном числе каналов. Для получения мультиспектральных диапазонов применялась интерполяция с равномерным разбиением диапазона длин волн от 0,4 до 1 мкм. Значения расстояний приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения расчетных n - мерных расстояний для различного числа каналов

Тип измеряемого расстояния	Число спектральных каналов				
	15	100	200	300	400
Расстояние Евклида	39.884	108.71	154.436	189.429	218.897

Расстояние Евклида определялось по формуле:

$$r = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1),$$

где x_i и y_i - координаты первого и второго вектора соответственно, n – число координат в n -мерном пространстве (число каналов), $i=1..n$.

Как видно из таблицы увеличение числа каналов приводит к увеличению расстояния между спектрами, что дает возможность точно отделить один спектр от другого, то есть решить поставленную сельскохозяйственную задачу. Выразим через отношение расстояний Евклида коэффициент эффекта (КЭ) при наращивании числа спектральных диапазонов с 15 до 100, с 100 до 200 и т.д. Стоит заметить, что (КЭ) от увеличения числа каналов падает. Проследить данную зависимость можно из таблицы 2:

Таблица 2. Коэффициент эффекта при изменении числа каналов

Изменение числа каналов	15–100	100–200	200–300	300–400
Коэффициент эффекта	2,72	1,42	1,23	1,15

Таким образом, мы подступили к вопросу оценки эффективности использования мультиспектральных и гиперспектральных систем при решении задач ДЗЗ и получили её показатель. КЭ через отношение расстояний между n -мерными векторами для МС (15 каналов) и ГС (300 каналов) систем составляет 4.741. При увеличении каналов с 300 до 400 КЭ составляет 1.15, который при определенных значениях точности классификации, задаваемых экспертом, можно считать не существенным.

В случае статистических измерений КСЯ использования расстояния Евклида недостаточно, поскольку не учитывается дисперсия значений по каналам, поэтому необходим переход к метрике Махаланобиса. В этом случае расстояние между двумя случайными n -мерными векторами будет определяться по формуле:

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{(\mathbf{x} - \mathbf{y})^T A^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{y})} \quad (2),$$

где \mathbf{x} и \mathbf{y} – случайные n -мерные векторы, n -число каналов, A^{-1} - обратная ковариационная матрица, $(\mathbf{x} - \mathbf{y})^T$ – вектор, транспонированный относительно $(\mathbf{x} - \mathbf{y})$.

В случае ковариационной матрицы диагонального вида, расстояние Махаланобиса принимает вид:

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad (3),$$

где i -номер канала, σ_i^2 - дисперсии значений в каналах.

Если \mathbf{x} и \mathbf{y} - случайные n -мерные векторы относятся к разным классам объектов со своими распределениями и с одинаковой ковариационной матрицей, то расстояние Махаланобиса находится по формуле:

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2)^T A^{-1} (\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2)} \quad (4),$$

$\boldsymbol{\mu}_1$ и $\boldsymbol{\mu}_2$ – векторы математических ожиданий для первого и второго класса соответственно.

Следует заметить, что диагональная ковариационная матрица означает независимость спектральных признаков, то есть отсутствие корреляции между каналами. В случае недиагональной матрицы ковариаций необходим переход к диагональному виду через метод главных компонент, предполагающий сокращение числа каналов путем ликвидации коррелированных каналов. Суть метода состоит в том, что отбираются признаки с наибольшей дисперсией, как содержащие наибольшую информативность.

Теперь исследуем расстояние Махаланобиса между случайными n -мерными векторами в предельном случае при $n \rightarrow \infty$. Для этого необходимо задаться геометрической характеристикой концентрации распределения случайной величины. Рассмотрим некоторое двумерное распределение со средним значением \mathbf{m} и стандартным отклонением $\boldsymbol{\sigma}$. Будем искать кривую, окружающую точку (m_1, m_2) и такую, что если единица массы равномерно распределена по площади, ограниченной этой кривой, то такое распределение имеет те же моменты первого и второго порядка, что и данное распределение. Таким образом, задача сводится к отысканию эллипса с требуемыми свойствами. Искомый эллипс и будет являться геометрической характеристикой данной случайной величины, который носит название эллипс рассеяния. Стоит заметить, что его отыскание можно обобщить и на n -

мерный случай. Итак, мы пришли к понятию n -мерного эллипсоида рассеяния. Объем данного эллипсоида можно определить по формуле:

$$V = (n + 2)^{n/2} \frac{\pi^{n+2} \sqrt{|A|}}{\Gamma(\frac{n}{2} + 1)} \quad (5),$$

где n – число каналов, Γ – гамма-функция, $|A|$ – определитель ковариационной матрицы.

Как видно из формулы, объем прямо пропорционален квадратному корню из определителя ковариационной матрицы.

Рассмотрим случай максимального значения объема, то есть когда ковариационная матрица диагональная. Определитель такой матрицы равен произведению диагональных элементов, которые являются дисперсиями случайных величин по признакам, и моментами инерции найденного n -мерного эллипсоида. Если расположить дисперсии в порядке убывания, то при $n \rightarrow \infty$ приращение объема $\Delta V \rightarrow 0$. Таким образом, расстояние от объекта до центра распределения также перестает изменяться.

Рассмотрим формулу расстояния Махаланобиса от рассматриваемого объекта до центра класса:

$$d(\mathbf{x}, \boldsymbol{\mu}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad (6).$$

Отметим, что если случайные величины (слагаемые), входящие в формулу (6), независимы и имеют стандартное нормальное распределение, то квадрат расстояния Махаланобиса подчиняется закону распределения χ^2 .

С учетом выше сказанного можно переписать формулу (6):

$$\chi^2 = h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2$$

Таким образом, мы получаем геометрическую характеристику распределения случайной величины через α -квантили распределения χ^2 . Напомним, что число $\chi^2_{\alpha, n}$ называется α -квантилем распределения χ^2 , где α – вероятность попадания случайной величины в область, ограниченную эллипсом (в двумерном случае) $\alpha \in [0 \dots 1]$, n – число независимых случайных величин, имеющих стандартное нормальное распределение, в распределении χ^2 . Интуитивно понятно, что чем больше вероятность попадания случайной величины в область, ограниченную эллипсом, тем больше размеры этой области. Значения $\chi^2_{\alpha, n}$ затабулированы. Заметим, что если, $\chi^2_{\alpha, n} = n + 2$, то мы можем

отыскать эллипсоид рассеивания, описанный выше. Однако с увеличением числа n вероятность попадания в эллипсоид с равной плотностью вероятности распределения случайной величины падает, а при $n \rightarrow \infty$, такая вероятность равна нулю, поскольку в соответствии с центральной предельной теоремой при $n \rightarrow \infty$, распределение χ^2 стремится к нормальному распределению, которое не является равномерным распределением.

Далее рассмотрим метод определения числа каналов для решения задачи распознавания двух классов с заданной точностью. Для модельной ситуации распознавания двух классов с многомерными нормальными распределениями яркостных характеристик, равными ковариационными матрицами и равными априорными вероятностями появления данных классов справедливо выражение для ошибки распознавания в виде

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{1/2}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (7),$$

Где J -информационное расхождение-дивергенция, или мера трудности разделения двух классов по измеренным признакам в m спектральных интервалах. Для m -канальной аппаратуры информационное расхождение можно определить по формуле

$$J = m \frac{(B_1 - B_2)^2}{\sigma_1^2} \quad (8),$$

где B_1 и B_2 - средние значения яркостей распознаваемых объектов в одном канале, а σ_1^2 - дисперсия яркостей относительно средних значений в одном канале. Приведенное соотношение справедливо при условиях: распределение яркостей ПО подчиняется нормальному закону; измеряемые признаки в разных каналах являются независимыми и имеют разные дисперсии. На рис. 2 изображены два класса с двумерными нормальными распределениями яркости, которые обладают указанными свойствами.

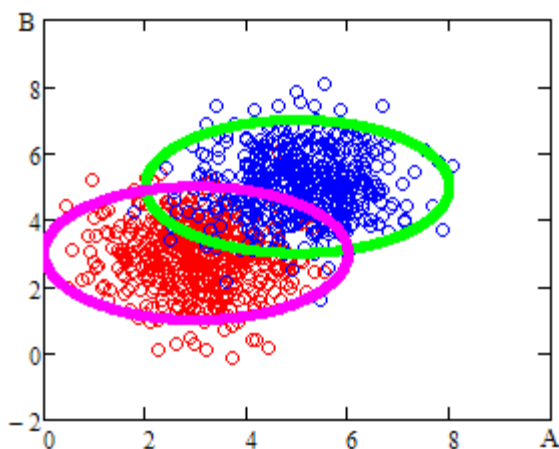


Рис. 2. Пересечение двумерных нормальных распределений яркостей двух классов ПО (значения яркости в каналах А и В произвольные)

С учетом сделанных предположений для модельного случая на рис.3 приведены результаты расчетов зависимости вероятности ошибки распознавания P_e от дивергенции J .

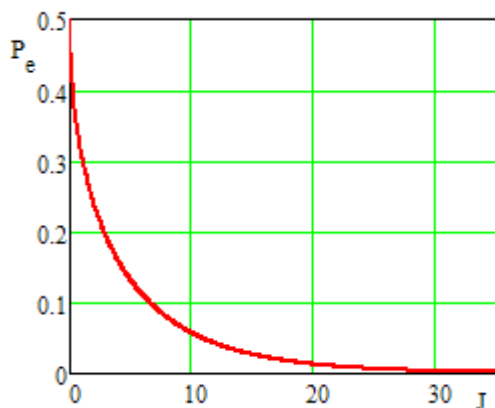


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки распознавания P_e от дивергенции J

Задавшись вероятностью ошибки распознавания, можем найти по полученному графику значение дивергенции J , после чего определить зависимость числа каналов от отношения разности средних значений спектральной яркости в канале к среднеквадратическому отклонению.

На рис. 4 представлен график зависимости числа каналов от данного отношения при заданной вероятности ошибки распознавания в 1%.

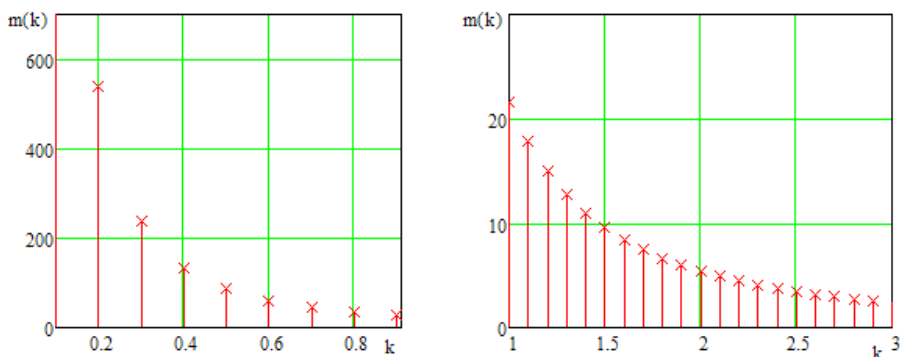


Рис. 4. Зависимость числа каналов $m(k)$ от отношения разности средних значений спектральной яркости в канале к среднеквадратическому отклонению ($k = \frac{B_1 - B_2}{\sigma_1}$)

При $k < 1$ для распознавания двух классов с ошибкой до 1% требуется ГС аппарата (при $k=0.5$ порядка 86 каналов), а при $k > 1$ достаточно МС аппаратуры с числом каналов до 22.

Таким образом мы получили ещё один показатель оценки эффективности использования МС и ГС аппаратуры - вероятность ошибки распознавания объектов, которая для $k=0.5$ и числа каналов 100 составляет 0.6%, а для МС аппаратуры с 25 каналами 10.6%.

Заключение

Благодаря проведенным исследованиям был разработан способ определения необходимого числа спектральных диапазонов для классификации природных объектов с заданной точностью.

На основе решения рассмотренной сельскохозяйственной задачи получен показатель оценки эффективности использования МС и ГС систем – коэффициент эффекта. Исследован случай использования предельного числа оптических каналов. Получен показатель оценки эффективности использования МС и ГС систем для модельного случая распознавания классов ПО – вероятность распознавания объектов.

Определено необходимое число оптических каналов наблюдения ПО, которое для данных параметров распознавания (P_e, k) составляет 86 и 22 каналов. При $k=0.5$ для ГС аппаратуры со 100 каналами веро-

ятность ошибки распознавания 0,6%, а для МС аппаратуры с 25 каналами – 10,6%.

МЕТОДОЛОГИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОНЕЧНЫХ БАЗИСАХ

Б.В. Костров

*(Рязанский государственный радиотехнический университет,
г. Рязань)*

Ключевые слова: ортогональные функции, функции Виленкина – Крестенсона, диадная свертка, функция Радемахера, фильтрация аэрокосмических изображений.

Изображение можно рассматривать как дискретный сигнал, определенный на конечном интервале $N \times N$ своих отсчетов координат на плоскости. Для решения задач спектрального анализа изображений применимы любые системы, содержащие N ортогональных функций. Выбор системы функций будет определяться требованиями удобства вычислений и, в конечном счете, трудоемкостью алгоритмов реализации искомого преобразования. Наиболее общий подход к решению данной проблемы может быть найден при анализе систем функций Виленкина – Крестенсона (ВКФ). Любая система ВКФ может быть представлена в виде квадратной ортогональной матрицы размером $N \times N$. При этом ВКФ будут периодическими функциями с рациональным периодом, заданным в некоторой m -ичной системе счисления, интервалом существования которых будет являться интервал $N = m^n$, где m и n – целые числа.

В общем случае ВКФ являются комплексными функциями, определенными выражением

$$VKF(p, x) = \prod_{i=0}^{n-1} w^{<p_i x_i>},$$

где $w = \exp[j(2\pi / m)]$, p_i и x_i значения коэффициентов в m -ичном представлении чисел p и x .

При $m = 2$, $w = \exp[j\pi] = -1$
и ВКФ совпадает с функциями Уолша

В другом крайнем случае при $n = 1$ значения p и x не превосходят единственного разряда десятичного представления этих чисел и ВКФ переходят в def

$$VKF(p, x) = e^{j[(2\pi / N)]px}$$

С другой стороны, ВКФ могут быть представлены через функции Радемахера – комплексные функции, заданные на том же интервале $N = m^n$:

$$R_i(x) = e^{j(2\pi / m)x_i}.$$

Тогда в соответствии с (2) ВКФ могут быть записаны как

$$VKF(p, x) = \prod_{i=0}^{n-1} [R_i(x)]^{<P_i>}$$

Для случая $m = 2$ функции Радемахера могут быть заданы следующим образом:

$$r_i(x) = (-1)^{<x_i>},$$

где $<x_i>$ – есть i -й разряд двоичного представления переменной x .

При таком задании все функции Радемахера являются действительными и нечетными на интервале N . Составленная из них система не является полной. Дополнение ее до полной приводит к системе функций Уолша:

$$wal(w, x) = \prod_{i=1}^n [r_i(x)]^{<w_i>},$$

где $<w_i>$ значение i -го разряда номера функции Радемахера, представленного в коде Грея; $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Если в номере функции Радемахера присутствует только одна единица, то функция Уолша совпадает с функцией Радемахера с соответствующим номером.

Таким образом, на интервале определения $N = 2^n$ систему функций Уолша можно разделить на n групп. При этом функция нулевого порядка не учитывается. Если эти группы обозначить номерами

$k = 1, 2, 3, \dots, n$, то каждая группа начинается с функции Радемахера r_{n+1-k} и каждая группа включает в себя 2^{n-k} функций с учетом самой функции Радемахера. Таким образом, система функций Радемахера создает своеобразный «каркас», на котором строится система Уолша, при этом неизбежно возникает идея использования данного факта при спектральном анализе сигналов.

Для построения методологических основ применения данной системы можно выделить следующие свойства её функций.

1. Они являются действительными функциями на интервале определения $N = 2^n$.

2. Так как функции системы принимают значения только +1 и -1, то основными операциями при использовании разложения по системе Уолша являются операции сложения и вычитания.

3. Система функций Уолша является ортогональной на интервале определения N , а матрица Адамара, построенная по функциям Уолша, является симметрической.

4. Поскольку матрица Адамара имеет размерность $N \times N$, то в нее входят N ортогональных функций и, следовательно, ее нельзя дополнить ни одной новой ортогональной функцией. Это значит, что такая система функций является полной и может быть использована для построения унитарных преобразований негармонического спектрального анализа.

Методология применения такого преобразования базируется на ряде теорем, отличающихся от соответствующих теорем классического спектрального анализа. Следствия, вытекающие из этих теорем, позволяют строить эффективные алгоритмы фильтрации и корреляционного анализа аэрокосмических изображений.

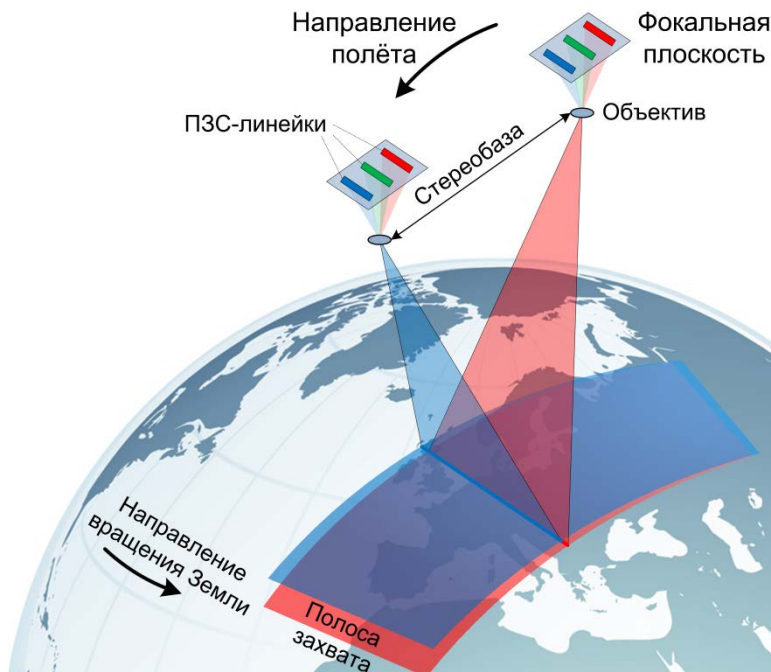
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АППАРАТУРЫ КМСС И МСС КА «МЕТЕОР-М» И «КАНОПУС-В» ПО ПОЛУЧЕНИЮ СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

** М.В. Новиков, А.Е. Кузнецов, В.И. Пошихонов
(ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический
университет»), г. Рязань*

** ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)*

Ключевые слова: спектрозональные системы, стереосъемка, анаглифические изображения, измерение параметров облачности, новые виды информационных продуктов.

В спектрозональных съемочных системах космических аппаратов «Метеор-М», «Канопус-В» и др. для формирования изображений земной поверхности в нескольких спектральных диапазонах используется принцип одновременного наблюдения объектов земной поверхности в разных спектральных зонах. В соответствии с этим принципом, как показано на рисунке, в фокальной плоскости сканера устанавливаются несколько ПЗС-линеек с небольшим смещением друг относительно друга. В результате, наблюдение одних и тех же объектов земной поверхности в разных спектральных диапазонах происходит, во-первых, с небольшой временной задержкой и, во-вторых, под разными углами. Т.е. осуществляется спектрозональная стереосъемка объектов земной поверхности.



Принцип формирования стереоснимков в системах спектрозональной съемки

Главной задачей обработки получаемых изображений является задача их геометрического совмещения с целью получения цветосинтезированных снимков. При этом явление стереоэффекта никак не учитывалось. В докладе предлагается использовать стереоснимки для оперативного получения новых видов выходных информационных продуктов.

Первым продуктом является анаглифическое стереоизображение маршрута съемки, позволяющее значительно расширить возможности по визуальному дешифрированию снятых территорий и высотных объектов.

Вторым продуктом являются карты высоты верхней границы облачного покрова. Приводятся расчеты, позволяющие оценить ошибку измерения высоты облачных образований. Для МСУ-50 эта величина составляет ~192 м, а для МСУ-100 порядка 250 м. Для аппаратуры МСС КА «Канопус-В» ошибка измерения высоты составляет около

80 м. Следует заметить, что специализированная аппаратура HISR позволяет определить высоту облачности с точностью 600 м, а MODIS с точностью 1 км.

Еще одной новой функцией, предоставляемой аппаратурой КМСС, является возможность по определению скорости движения облачности. Показано, что для МСУ-50 ошибка определения скорости не превосходит 1,7 м/с.

Приводится краткое описание общей технологии стереообработки и получения отмеченных выходных информационных продуктов. В заключении обращается внимание, что основным сдерживающим фактором по практическому использованию результатов стереосъемки является низкая оперативность наблюдения. С созданием группировки КА требуемая регулярность съемок может быть достигнута.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ РСА

*А.А. Феоктисов, М.А. Гусев, П.В. Денисов
(Научный центр оперативного мониторинга Земли
ОАО «Российские космические системы»,
г. Москва)*

Ключевые слова: метод постоянных рассеивателей, атмосферный фазовый экран, PCA, ЦММ, PS, APS, ASAR/ENVISAT, SARscape.

Возможности методов интерферометрической и дифференциальной интерферометрической обработки данных, получаемых космическими радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА), существенно ограничены атмосферными фазовыми искажениями, а также пространственной и временной декорреляцией интерферометрических пар изображений. Методы постоянных рассеивателей (PS) и малых базовых линий (SBAS) основаны на одновременном использовании по одной территории наблюдения временных серий изображений высокой кратности и, за счет улучшения статистики измерений, позволяют резко ослабить влияние искажающих факторов и довести точность создаваемых цифровых моделей местности (ЦММ) до долей метра, цифровых карт смещений (ЦКС) – до долей миллиметра.

В докладе представлено описание ключевых моментов двух вариантов реализации метода PS для анализа PS, наблюдаемых в большом количестве на территориях городской застройки, в данном случае PS представляют собой точечные объекты типа «квазиуголковых» отражателей, которые обеспечивают достаточно сильный устойчивый сигнал на входе PCA.

Первый алгоритм реализации метода основан на линейном приближении для зависимости атмосферных параметров от координат (для фрагментов изображений территории размером до 5×5 км). Ключевые этапы работы алгоритма:

- совмещение вспомогательных изображений с основным изображением с субпиксельной точностью и расчет интерферограмм;
- формирование стартового набора из PS-кандидатов (PSC) с использованием, так называемого, индекса рассеяния амплитуды;
- устранение фазового сдвига интерферограмм;
- формирование матричной системы уравнений:

$$\hat{\Phi} = \vec{a} \cdot \vec{1}^T + \vec{p}_\epsilon \cdot \vec{\epsilon}^T + \vec{p}_\eta \cdot \vec{\eta}^T + \vec{B} \cdot \vec{q}^T + \vec{T} \cdot \vec{v}^T + \hat{E} \quad (1)$$

- решение системы уравнений (1) с использованием техники простой периодограммы; оценка атмосферных параметров $\vec{a}, \vec{p}_\epsilon, \vec{p}_\eta$;
- расчет атмосферных искажений (атмосферных фазовых экранов, APS) для всех пикселей каждой интерферограммы;
- выполнение процедуры высокочастотной фильтрации APS по времени;
- поиск расширенного набора PS с использованием порогового значения для так называемой когерентности по ансамблю изображений; расчет совокупности значений высот и скорости смещений \vec{q}, \vec{v} для каждого PS.

Второй алгоритм основан на развертке атмосферной фазы. Отличительные особенности этого алгоритма:

- вместо решения системы уравнений (1) и оценки всей совокупности атмосферных параметров $\vec{a}, \vec{p}_\epsilon, \vec{p}_\eta$ с использованием техники простой периодограммы проводится оценка значений атмосферных фазовых искажений для каждого PSC;
- для узлов "нерегулярной сетки", соответствующих значениям координат найденных PSC, запускается одна из стандартных процедур развертки значений атмосферной фазы;

- рассчитываются APS для всех пикселей каждой интерферограммы k ;
- выполняются процедуры низкочастотной пространственной и высокочастотной временной фильтрации APS;
- запускается итерационная процедура, в рамках которой последовательно уточняются APS и совокупности значений скорости смещений и высоты \vec{q}, \vec{v} для расширенного набора PS.

В докладе сообщается также о результатах исследования возможностей использования метода PS на примере модуля PS программного пакета SARscape (фирма Sarmap s.a., Швейцария) и данных PCA ASAR/ENVISAT.

Основные особенности реализации модуля PS:

- алгоритм близок к алгоритму, основанному на развертке атмосферной фазы, но имеет ряд особенностей;
- при проведении обработки не выполняется развертка значений атмосферной фазы для PSC, чтобы исключить возникающие при выполнении данной процедуры ошибки;
- при выполнении низкочастотной пространственной фильтрации с целью сохранения резких границ в области скачков свернутой фазы используется фильтр типа медианного, вместо усреднения в пределах квадратного окна;
- за счет использования системы частично перекрывающихся атмосферных окон заложена возможность обработки фрагментов изображений территории размером более 5×5 км;
- с целью коррекции значений скорости смещения PS предусмотрена возможность использования прецизионной наземной информации.

Представленные в докладе результаты исследований в целом подтверждают возможность получения ЦММ и ЦКС с метровой и миллиметровой точностью.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСОВ РОССИИ: ТЕКУЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е. А. Лупян, С. А. Барталев

Институт космических исследований РАН

В докладе рассматриваются вопросы использования спутниковых технологий для организации комплексного мониторинга лесов России. Об-

суждаются созданные в последние годы в нашей стране алгоритмы и методы обработки данных дистанционного зондирования для получения различных характеристик состояния лесного покрова. Представлены основные возможности разработанных технологий автоматизированного сбора, обработки, архивации и распространения спутниковых данных. Именно эти технологии позволили создать Информационную систему дистанционного мониторинга лесов (ИСДМ-Рослесхоз, <http://firemaps.nffc.aviales.ru>), уже более десяти лет успешно эксплуатируемую в интересах Федерального агентства лесного хозяйства.

В докладе обсуждаются общие принципы организации и текущие возможности ИСДМ-Рослесхоз. Показано, что система сегодня фактически может являться общепромышленным ресурсом, обеспечивающим пользователей не только оперативно обновляющимися архивами данных различного пространственного разрешения, но и разнообразными инструментами для их анализа.

Особое внимание в докладе уделяется анализу состава спутниковой информации использующейся в настоящее время в ИСДМ-Рослесхоз и необходимой для решения различных задач мониторинга состояния лесов России, в том числе, для:

- мониторинга лесных пожаров и их последствий;
- лесопатологического мониторинга;
- государственной инвентаризации лесов;
- ведения государственного лесного реестра;
- мониторинга лесопользования.

В докладе сформулированы основные требования к перспективным спутниковым системам дистанционного наблюдения Земли с точки зрения возможности их эффективности использования в действующих и развивающихся блоках российской системы дистанционного мониторинга лесов.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В.И. Шабуневич

(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Известна методика определения напряжений перед трещинами в элементах конструкций, заключающаяся в том, что освещают поверхность когерентным излучением до полной величины нагрузки, поэтап-

но одновременно нагружают элемент, записывают на каждом из этапов двухэкспозиционные голограммы во встречных пучках для поверхности элемента в зоне вершины трещины и регистрируют интерференционные картины, по параметрам которых рассчитывают напряжение перед трещиной.

Известен также способ обнаружения возможности наступления катастрофических явлений, включающий измерение параметра геофизического поля в контролируемом районе и суждение по полученным данным о возможности наступления катастрофических явлений, отличающийся тем, что измерения проводят непрерывно, выявляют колебания измеряемого параметра и при обнаружении синусоидальных колебаний возрастающей частоты, имеющих амплитуду, статистически достоверно отличающуюся от фоновой для контролируемого района и период от 100 до 1000000 секунд, судят о наличии возможности наступления катастрофических явлений.

Предлагается к рассмотрению методика прогнозирования разрушительных землетрясений, основанная на проведении дифференциальной интерферометрии поверхности Земли. При этом применяется межвитковая интерферометрия по паре комплексных радиолокационных изображений (КРЛИ), полученных на разделенных по времени витках и образующих интерференционную пару. Запись пары КРЛИ производится в соответствии с фазами приливных воздействий Луны и Солнца. Далее проводится сравнение дифференциальных картин с эталонными интерферометрическими картинками. При обнаружении значительных отличий этих картин производится расчет параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) земной коры и оценку опасности ее повреждений.

Оценку опасности повреждений, в первом приближении, можно производить, например, следующим образом. По восстановленным с дифференциальных картин интерферограммам изменений нормальных компонент векторов перемещений поверхности Земли можно определить, например, величины изменений изгибных составляющих напряжений (деформаций) у вершин трещин в земной коре и далее находить максимальные величины напряжений (деформаций) вблизи дефектов как сумму номинальных их величин и величин изменений максимальных локальных изгибных составляющих напряжений (деформаций), экстраполированных по величинам соответствующих им, например, параметров нагружения земной коры. И далее сравнивать полученные максимальные величины параметров НДС с допустимыми значениями.

СЕКЦИЯ 6. СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ТЕСТОВОГО ПРИМЕРА СЪЕМКИ КА «КАНОПУС-В»

В.В. Некрасов

(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Ключевые слова: радиометрическая калибровка, линейное разрешение, точность геопривязки, Канопус-В, панхроматические снимки, мультиспектральные снимки, ДЗЗ.

В работе проведена оценка основных параметров качества снимков КА «Канопус-В» на материале тестового примера. Используется тестовый пример оператора космического комплекса «Канопус-В». Обоснован состав оцениваемых параметров качества – радиометрические характеристики, линейное разрешение на местности, точность геометрической привязки. Для каждого оцениваемого параметра описаны методики контроля. Произведена оценка параметров качества как панхроматических снимков, так и мультиспектральных снимков различного уровня обработки. В качестве эталонных данных используются открытые данные и описана технология получения эталонных данных из открытых источников. Технология контроля полностью автоматизирована, описан аппаратно-программный комплекс контроля качества, позволяющий производить контроль в потоковом режиме, как в оперативном режиме, близком к реальному времени, так и режиме углубленной оценки качества космических снимков. На основе системного анализа параметров качества данных космического комплекса предложен подход к методам улучшения свойств целевой аппаратуры и режимам съемки собственно КА.

ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ КОМПЕНСАЦИОННОЙ ОБМОТКИ УНИПОЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРИВОДА АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В.Я. Геча., А.Б. Захаренко, А.К. Надкин
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)*

Для привода направленной антенно-фидерной системы космического аппарата дистанционного зондирования Земли рассматривается возможность применения униполярной электрической машины (УЭМ). Преимуществами машин данного типа перед биполярными машинами постоянного тока является высокое использование активных материалов, а значит меньший относительный вес при низких напряжениях, высокий КПД вследствие отсутствия потерь в стали на гистерезис и вихревые токи, простота конструкции, высокая термостойкость и долговечность. Следует отметить также, что конструкция регулятора тока, необходимого для управления УЭМ, также значительно проще, чем у электрических машин других типов.

Реакция якоря в униполярных электрических машинах является одним из основных вопросов теории и расчета этих машин, поскольку большие значения тока якоря и его поле существенно влияют на работу УЭМ [1]. Относительное значение МДС якоря в УЭМ значительно выше, чем в биполярных машинах постоянного тока. Кроме того, насыщение магнитной цепи снижает возможность регулирования напряжения УЭМ [2]. При необходимости широкого регулирования необходимо:

- либо уменьшить поток реакции якоря путем увеличения магнитного сопротивления на его пути,
- либо скомпенсировать реакцию якоря с помощью специальной обмотки, имеющей направление тока, противоположное направлению тока в якоря.

Для моделирования магнитных полей УЭМ с целью выбора оптимального сочетания конструкций якорной и компенсационной обмоток использовалось программное обеспечение FEMM. При моделировании УЭМ без компенсирующих устройств было выявлено, что токи якоря создают поперечное магнитное поле в статоре со средним значением индукции, превышающим индукцию поля возбуждения при-

мерно на 20%, что не позволяет обеспечить прохождение через индуктор заметного потока возбуждения.

Немагнитные вставки. Увеличение магнитного сопротивления в поперечной цепи достигается введением на пути потока якоря немагнитных участков, располагаемых радиально в плоскостях, проходящих через ось вращения УЭМ. Участки могут быть заполнены немагнитным материалом, либо представлять собой незаполненные. Наиболее оптимальной является конструкция с внутренними пазами, так как поле якоря близ наружной поверхности статора слабее, чем около внутренней. Однако данным методом невозможно добиться полной компенсации – магнитный поток, вызываемый током якоря, смещается в область над немагнитными пазами, перемагничивает сталь статора, создавая тем самым сопротивление потоку возбуждения.

Компенсация реакции якоря. В результате моделирования получено, что использование стержневой обмотки якоря приводит к значительному намагничиванию стали на кольцевом участке вблизи воздушного зазора.

Полностью скомпенсировать поле якоря можно лишь в том случае, когда пространственное распределение токов в компенсационной обмотке и якоре будут зеркальными отображениями. Компенсационная обмотка может выполняться в виде полого цилиндра, выполненного из ферромагнитного или немагнитного материала, например, меди и расположенного коаксиально с ротором УЭМ. Применение обмоток в виде медных цилиндров представляет собой одно из лучших решений для компенсации реакции якоря. Однако, тонкие медные цилиндрические обмотки имеют иной коэффициент теплового расширения по сравнению со стальным индуктором, поэтому надежно закрепить их достаточно сложно, с учетом того, что электромагнитная сила, развиваемая в УЭМ и действующая на обмотки, весьма существенна.

Предпочтительным является вариант якорной и компенсационной обмоток в виде сегментов. Расчет показал, что в результате реакции якоря поле возбуждения уменьшилось на 10% по сравнению с полем возбуждения при идеальном холостом ходе, что допустимо.

В предложенной конструкции поле реакции якоря сосредоточено между обмоткой якоря и компенсационной и не насыщает дополнительно магнитную систему УЭМ. Кроме того, электромагнитная сила, развиваемая в УЭМ, действует на зубцы якоря и индуктора, как в

обычной электрической машине. Таким образом, наилучшие результаты по компенсации реакции якоря при наиболее технологичном закреплении обмоток достигнуты при использовании обмоток в виде сегментов.

Выводы

1. Для обоснованного выбора наилучшей конструкций компенсационной и якорной обмоток УЭМ, созданы расчетные модели на основе метода конечных элементов.

2. Наиболее оптимальным является вариант выполнения якорной и компенсационной обмоток в виде множества проводящих сегментов, расположенных сверху и снизу от воздушного зазора.

ИНТЕГРАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Н.Г. Котонаева, Н.П. Данилкин
(Федеральное государственное бюджетное учреждение
институт прикладной геофизики,
г. Москва)*

Ключевые слова: ионосфера, внешнее радиозондирование, бортовой ионозонд, профиль электронной плотности, ионосферные неоднородности.

Ионосфера как среда занимает ключевое место в структуре околоземного пространства. Одним из основных методов ее контроля является метод радиозондирования ионосферы с наземных и бортовых ионосферных станций. Развитие космической техники практически сразу породило идею ее использования для исследования ионосферы. Более чем полувековой опыт подобных экспериментов на космических аппаратах (КА) позволяет сделать вывод, что интеграция космических систем с различными высотами орбиты и схемами реализации метода радиозондирования делает возможным создание комплексной системы исследования и мониторинга ионосферы.

Традиционными высотами радиозондирования со спутников являются высоты орбиты близкие к 1000 км. В 1979 г. в СССР ИЗМИРАН был подготовлен успешный проект, в рамках которого был запущен КА Интеркосмос-19. Он был предназначен для комплексного исследо-

вания приземной плазмы выше максимума слоя F2 в рамках Международного научного проекта по изучению магнитосферы Земли.

Эксперимент на КА «Космос 1809» в 1987 г. с почти полярной орбитой – наклоном 84° – принес дополнительные сведения о сложной и мало поддающейся моделированию арктической ионосфере. Головной организацией при проведении этого эксперимента был ИПГ. Вершиной эксперимента явился поход сотрудников ИПГ на Северный полюс на борту атомного ледокола «Сибирь» для регистрации ионограмм с КА «Космос 1809» и проведения особого вида вертикального зондирования, основанного на синхронной работе передатчика на ИСЗ и приемника на Земле – трансionoсферного зондирования. В течение 42 дней был осуществлен непрерывный мониторинг всего арктического региона. Одним из новых результатов было обнаружение нескольких серий характерных отражений типа рассеяния, появление которых было результатом прохождения через сложное плазменное образование – тонкую стенку повышенной концентрации электронов.

Для выяснения возможности проведения эксперимента по вертикальному радиозондированию ионосферы с высот близких к высоте максимума концентрации электронов и поиска оптимальных решений при создании системы оперативного глобального контроля состояния ионосферы ИПГ стал инициатором еще одного эксперимента – радиозондирования с пилотируемой орбитальной комической станции (ОКС) «Мир». Этот эксперимент по радиозондированию ионосферы со спутников отличала от всех предыдущих высота орбиты ОКС «Мир». Она составляла ~ 350 км, то есть находилась в районе высоты главного максимума концентрации электронов в ионосфере. При расположении ОКС «Мир» ниже максимума ионосферы наблюдались принципиально новые ионограммы, которые ранее в экспериментах с космическими ионозондами не были получены. На ионограммах в окрестности экваториальной аномалии были зафиксированы дополнительные следы, свидетельствовавшие о наличии сильных неоднородностей ионосферной плазмы. Эти ионограммы дали толчок к траекторному направлению исследования сложных ионограмм и, что самое главное, явились показателем наличия существенных градиентов ионосферной плазмы в непосредственной окрестности ИСЗ.

Метод радиозондирования с КА находит развитие в новом планируемом эксперименте – Матрица, в котором реализуется метод много-

частотного радиопросвечивания. В этом эксперименте излучатель переменной частоты ($3 \div 30$ МГц) располагается на КА с геостационарной (высокоапогейной) орбитой, а сеть автономных приемных устройств, перестраиваемых синхронно с бортовым передатчиком, – на земной поверхности. Реализация подобного метода исследования позволяет непрерывно следить за ионосферой в конкретной точке. В этом случае над каждым наземным приемным модулем определяются: критическая частота слоя F2 – по наиминимальшей частоте (НЧ) отсеки прошедших сквозь ионосферу сигналов; полутолщина слоя F2 – по виду частотной кривой задержки $f(t)$ трансionoсферных сигналов; концентрация электронов в нижней ионосфере – по виду частотной кривой амплитуд, трансionoсферных сигналов.

В настоящее время создается космический сегмент, обеспечивающий главную задачу, поставленную Росгидрометом - обеспечить оперативный контроль состояния ионосферы и прогноз развития геофизической обстановки. Космический сегмент – «Ионозонд» в частности будет включать четыре малых КА, укомплектованных ионозондами для контроля планетарной ионосферы. Такой орбитальный комплекс является минимально необходимой космической группировкой для обеспечения квазинепрерывного мониторинга геофизической обстановки. Однако, стоит добавить, что интеграция космических систем радиозондирования всех уровней может обеспечить нивелирование слабых мест каждой из представленных систем за счет более полной информации, полученной в другом диапазоне высот.

ПОДДЕРЖАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В.П. Ходненко, А.В. Хромов
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)*

Современный этап развития систем дистанционного зондирования Земли характеризуется переходом от создания тяжелых космических аппаратов (КА) наблюдения к разворачиванию орбитальных группировок, состоящих из малых космических аппаратов. Группировка КА обладает преимуществами перед одиночным спутником: обеспечивается выполнение миссии при потере одного КА и повышается оперативность съёмки.

С 2002 года по настоящее время были развёрнуты несколько орбитальных группировок ДЗЗ: Disaster Monitoring Constellation (первое поколение – в 2002...2004 гг., второе – в 2005...2011 гг., третье – с 2014 г.), RapidEye (Германия, 2008 г.) и Small Satellite Constellation for Environment and Disaster Monitoring and Forecasting (Китай, 2008 г.). В 2011–2012 г. Францией были запущены КА высокодетального наблюдения Pleiades-1A и Pleiades-1B, поддерживается группировка из КА SPOT-5 и SPOT-6, а в 2014 г. ожидается запуск КА SPOT-7. В 2012 г. Россией была создана группировка КА мониторинга чрезвычайных ситуаций из КА «Канопус-В» №1 и Белорусского КА.

Космические аппараты всех упомянутых группировок располагаются в плоскости орбиты с равными интервалами по фазе, что обеспечивает оперативность получения целевой информации и облегчает работу центра управления полётом. Для поддержания постоянного фазового угла все космические аппараты оборудованы корректирующими двигательными установками (КДУ) различного типа. Концерн EADS Astrium обеспечивает решение задачи коррекции орбиты с помощью гидразиновой КДУ, английская фирма SSTL традиционно использует КДУ на базе электронагревного двигателя, ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» применяет электроракетные двигательные установки.

Анализ применения КДУ разработчиками КА систем дистанционного зондирования Земли показывает, что эффективная коррекция параметров орбиты КА ДЗЗ возможна с помощью КДУ различных типов, каждая из которых имеет свои особенности. Поэтому определение рационального типа КДУ должно производиться индивидуально для каждой космической системы дистанционного зондирования Земли.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ КА «КОНДОР-Э»

С.Г. Макеич, А.Н. Талдонов

*(ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики»,
г. Истра, Московская область)*

Рассмотрен аппаратно-программный комплекс для проверки функционального состояния системы ориентации и стабилизации (СО и СС) КА «Кондор-Э».

Приведено описание испытательного комплекса «ИВК-СОК», разработанного в ОАО «ВНИИЭМ» г. Истра, который использовался для отработки и всех видов испытаний (ПСИ, ПРИ, РИ, входного контроля) всех образцов СО и СС (опытного образца для ПРИ, образцов для технологического и двух летных КА «Кондор-Э»).

Рассмотрен состав аппаратных и программных средств испытательного комплекса. Приведены состав и характеристики выполняемых функций. Описана структура, даны характеристики функционального ПО. Дано краткое описание интерактивных графических средств взаимодействия с пользователем и среды разработки испытательных программ автоматизированных испытаний СО и СС.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ КОРПОРАЦИИ «ВНИИЭМ»

*Ю.Н. Черкасов, В.В. Черношвитов
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)*

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО.....	3
ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ.....	4
СЕКЦИЯ 1. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, КОСМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ.....	16
СЕКЦИЯ 2. ПРИБОРЫ СЛУЖЕБНЫХ СИСТЕМ КА, КОНСТРУКЦИИ И АНТЕННЫ КА.....	36
СЕКЦИЯ 3. МЕТОДЫ ДЗЗ И ЦЕЛЕВЫЕ ПРИБОРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	65
СЕКЦИЯ 4. НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА.....	91
СЕКЦИЯ 5. НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ.....	101
СЕКЦИЯ 6. СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ.....	135

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
Второй международной научно-технической конференции
«Актуальные проблемы создания космических систем
дистанционного зондирования Земли»

Подписано в печать 30.04.2014.
Тираж 100 экз.