



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

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



МОСКВА
2015

Тезисы докладов Третьей международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2015. – 190 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 и Правительством Российской Федерации. Эта та сфера деятельности, которая жизненно необходима для социально-экономического развития, которое все больше зависит от наблюдений Земли из космоса.

В настоящее время наблюдается позитивная тенденция развития дистанционного зондирования Земли, стали создаваться 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 свой потенциал, к 2020 году планируется иметь на орбите 27 действующих космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. Таким образом, по сравнению с 2014 годом число спутников данного типа к 2020 году должно вырасти вчетверо.

В дальнейшем планируется наращивание группировки радиолокационных спутников – они могут «видеть» поверхность вне зависимости от погоды, что особенно важно для России, около 30% территории которой постоянно закрыто облаками.

Не менее важной задачей является обеспечение доступности спутниковых данных. В настоящее время предпринимаются шаги по снятию ограничений на распространение спутниковых снимков высокого разрешения с гражданских аппаратов – соответствующие документы находятся в стадии согласования с заинтересованными ведомствами.

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

СИСТЕМА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ СЕРИИ «МЕТЕОР-М» И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ СПУТНИКА «МЕТЕОР-М» № 2

В.В. Асмус^{}, В.А. Кровотынцев^{*}, Л.А. Макриденко^{**},
О.Е. Милехин^{*}, В.И. Соловьев^{*}, А.Б. Успенский^{*},
А.В. Фролов^{***}, М.Н. Хайлов^{****}*

^{} Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета»;*

*^{**} ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»,*

*^{***} Росгидромет,*

*^{****} Роскосмос*

В рамках Федеральной космической программы России на 2006 – 2015 гг. ведутся работы по созданию космической наблюдательной системы «Метеор-3М» гидрометеорологического и океанографического обеспечения на базе нескольких космических аппаратов (КА) типа «Метеор-М». Тематическим заказчиком системы является Росгидромет. Практическую реализацию планов по созданию системы спутников серии «Метеор-М» осуществляют ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» совместно с ФГБУ «НИЦ «Планета».

В июле 2014 г. на солнечно-синхронную орбиту был запущен гидрометеорологический КА «Метеор-М» № 2 – второй в серии перспективных полярно-орбитальных метеоспутников в составе космического комплекса «Метеор-3М». Наряду с КА «Метеор-М» № 1 (запущен в сентябре 2009 г.) и КА «Метеор-М» № 2 в состав космического комплекса «Метеор-3М» должны входить еще два метеорологических КА («Метеор-М» № 2-1 – 2015 г. и «Метеор-М» № 2-2 – 2016 г.), а также КА «Метеор-М» № 3 океанографического назначения. Даются общие сведения о бортовом измерительном комплексе метеорологических КА типа «Метеор-М», составе выходных продуктов и областях их применения. Кратко описан наземный комплекс приема обработки, распространения и архивации спутниковых данных.

Представлены результаты летных испытаний бортовой целевой аппаратуры гидрометеорологического назначения (МСУ-МР, КМСС, МТВЗА-ГЯ, ИКФС-2, БРЛК), приведены примеры выходных информационных продуктов, получаемых по спутниковым данным. Рассмотрено состояние работ по абсолютной (внешней) калибровке дан-

ных микроволнового сканера-зондировщика МТВЗА-ГЯ, контролю бортовой калибровки ИК-зондировщика ИКФС-2.

Представлены также примеры выходных продуктов атмосферного зондирования регионального покрытия, получаемых по данным спутника «SNPP» (США), который по отдельным видам бортовой аппаратуры (ИК – и микроволновый зондировщики) является зарубежным аналогом КА «Метеор-М» № 2.

О ПРОЕКТИРОВАНИИ ОРБИТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЗЗ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Е.Л. Лукашевич
ОАО «Научно-исследовательский и
Производственный центр «Природа»,
(г. Москва)*

В общем виде задачу проектирования космической картографической системы ДЗЗ с КА оптико-электронного наблюдения можно сформулировать следующим образом: определить баллистические параметры и схему конфигурации орбитальной многоспутниковой системы, которая предназначена для обеспечения материалами съемки работ по картографированию конкретных территорий в заданном масштабе, полученными в течение фиксированного съемочного сезона в малооблачных условиях с заданной вероятностью. Главная особенность проектирования такой системы связана с необходимостью обеспечения площадной квазиплановой съемки. В отличие от процесса определения рабочих орбит КА ДЗЗ, предназначенных для решения задач мониторингового типа, указанные особенность требует более четкой увязки параметров рабочих орбит с параметрами целевой аппаратуры.

Очевидно, что в общем случае увязанными должны быть следующие параметры круговой солнечно-синхронной орбиты, в плоскости которой движутся n КА с одинаковыми драконическими периодами обращения, и параметры оптико-электронной целевой аппаратуры: драконический период обращения T_{Ω} ; средняя высота орбиты в широтном поясе съемок H_{cp} ; наклонение плоскости орбиты к экватору i ; ширина полосы захвата B ; целое число витков N_m , совершаемых КА за m суток; фокусное расстояние объектива оптической системы целевой аппаратуры f ; суммарное число элементов пространственной дискретизации в эффективной строке фотоприемни-

ка κ_{Σ} ; сторона элемента пространственной дискретизации l_{π} ; геометрическое разрешение (проекция элемента пространственной дискретизации фотоприемника на подстилающую поверхность) R_{π} .

Можно показать, что 9 перечисленных параметров связаны между собой соотношениями, число которых равно 5. Процедура решения поставленной задачи рассматривается на примере баллистического проектирования цифровой космической картографической системы (ЦККС) в составе двух КА оптико-электронного наблюдения, предназначенной для получения материалов съемки в панхроматическом режиме в целях картографирования территории России в масштабе не мельче 1:10 000, разработка которой предусмотрена в рамках ФЦП «ГЛОНАСС-2020».

Прежде всего следует уменьшить число параметров до 7-ми, задав априори порядок орбиты N_m и геометрическое разрешение R_{π} . Еще два из 3-х параметров целевой аппаратуры (f , l_{π} , κ_{Σ}) можно предварительно оценить, опираясь на уже реализованные разработки бортовых оптических систем и систем приема и преобразования изображений (СППИ). Оставшиеся 5 параметров определяются путем решения системы из 5-ти уравнений.

В таблице 1 приводятся результаты вычисления искомых параметров для вариантов использования существующих СППИ для случая орбиты, обеспечивающей смещение трасс в восточном направлении при $m = 1$.

Таблица 1

Результаты увязки параметров номинальной рабочей орбиты и целевой оптико-электронной аппаратуры

Исходные данные \ Расчетные параметры	$R_{\pi}=0,37$ м; $\varphi \in [42^{\circ}\text{с.ш.}, 82^{\circ}\text{с.ш.}]$; $v=0,05$; $N_1=15$		
	$l_{\pi}=6$ мкм; $\kappa_{\Sigma}=64000$	$l_{\pi}=6$ мкм; $\kappa_{\Sigma}=54000$	$l_{\pi}=6$ мкм; $\kappa_{\Sigma}=36000$
B (км)	23,68	19,98	13,32
T_Q (мин)	95,9268	95,9384	95,9592
ΔL (град)	+ 0,2773	+ 0,2339	+ 0,1560
$H_{\text{ср}}$ (км)	584,2	584,8	585,8
f (м)	9,6	9,6	9,6
i (град)	97,913	97,914	97,916

Во всех вариантах в пределах выбранного широтного пояса с вероятностью не ниже 0,8 будет выполняться условие $0,49\text{м} \leq R_M \leq 0,50\text{м}$.

Построение орбитальной системы, обеспечивающей проведение площадной квазиплановой съемки с рациональным взаимным расположением полос захвата, формируемых каждым из n входящих в систему КА, можно осуществлять, исходя из принципов или независимого движения КА (например, равномерно распределенная схема конфигурации), или взаимно увязанного движения обоих КА (например, тандемная схема конфигурации). Будем руководствоваться первым принципом, который представляется более простым с точки зрения управления системой.

Можно показать, что в этом случае вероятность P проведения хотя бы одноразовой съемки двумя КА рассматриваемой ЦККС заданных районов в малооблачных условиях и минимальное число k проходов полос захвата обоих спутников над фиксированным наземным объектом, расположенным не ниже широты 42 с.ш., в течение съемочного сезона 180 суток соответственно составляют: в варианте использования СППИ «Сангур-2М» $k=4$, $P = 0,76$; СППИ «Сангур-IV» $k=3$, $P = 0,66$; СППИ «Сангур-1» $k=2$, $P = 0,51$.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*А.В. Епихин, А.А. Кудинов, В.И. Карташев
Федеральное казенное учреждение
«Национальный центр управления в кризисных ситуациях»
(ФКУ НЦУКС) (г. Москва)*

Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса в системе МЧС России продолжается около 20 лет. В настоящее время в министерстве развернута территориально распределенная система приема и обработки космической информации – Система космического мониторинга ЧС МЧС России СКМ ЧС, которая предназначена для мониторинга чрезвычайных ситуаций, контроля за динамикой их развития, а также для наблюдения за территориями и объектами, находящимися в зонах повышенного риска возникновения ЧС и предоставления целевой информации органам управления МЧС Рос-

сии и РСЧС всех уровней. Структурно СКМ ЧС имеет в своем составе 4 приемных центра в городах Вологде, Москве, Красноярске, Владивостоке. Имеется возможность осуществлять непосредственный прием оперативной информации с 7 космических аппаратов с пространственным разрешением от 0,7 до 1000 м в видимом, микроволновом и инфракрасном диапазонах, а также получать ее по высокоскоростным каналам от операторов космических систем.

На основе получаемых данных в МЧС России решаются следующие задачи:

1. Оценка обстановки в районах ЧС, оценка состояния потенциально опасных объектов и территорий, находящихся в зонах повышенного риска возникновения ЧС.

2. Мониторинг ЧС связанных с паводками, наводнениями.

3. Мониторинг обстановки по природным пожарам, находящихся в опасной близости от населенных пунктов и объектов экономики.

4. Оценка масштабов аварийных разливов нефтепродуктов и контроль динамики их распространения.

5. Поиск аварийных объектов терпящих бедствие в труднодоступных местах и акваториях.

Кроме этого для доведения данных космического мониторинга до органов управления МЧС России, а также для удобства использования данных космического мониторинга в процессе оценки обстановки и принятия управленческих решений в ведомственной сети министерства созданы и функционируют геопорталы.

Следует отметить, что особенно эффективно информация дистанционного зондирования Земли из космоса используется в периоды, когда чрезвычайная ситуация охватывает значительные территории. Особое место космической съемке отводится при организации информационного обеспечения оперативных групп МЧС России осуществляющих поисково-спасательные операции за пределами Российской Федерации. В большинстве случаев эта информация является единственным наиболее доступным и оперативным источником, который используется для планирования действий сил и средств МЧС России.

Вступление Российской Федерации в 2013 году в Хартию по космосу и крупным катастрофам позволило МЧС России повысить объем получаемой информации дистанционного зондирования Земли по районам ЧС. Так во время катастрофического наводнения в дальнево-

сточном регионе в конце 2013 года по линии Международной Хартии в интересах МЧС России было получено около 2 млн. кв.км оперативных данных дистанционного зондирования земли из космоса с оптических и радиолокационных спутников по районам подтоплений. Благодаря проведению космической съемки больших участков русел рек было возможно оценить масштабы подтоплений и оценить уровни подъема воды.

В целях дальнейшего повышения эффективности решения задач мониторинга чрезвычайных ситуаций и контроля за состоянием потенциально опасных территорий и объектов, находящихся в зонах повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций необходимо:

а) обеспечить гарантированное получение (независимое от погодных условий и времени суток) оперативных данных дистанционного зондирования по районам возникновения ЧС (угрозе возникновения ЧС) на территории Российской Федерации не позднее 2 часов с момента получения заявки оператором российских космических систем с пространственным разрешением не хуже 0,5 м в видимом, ближнем инфракрасном и радиолокационном диапазонах (группировка спутников видимого и радиолокационного диапазонов);

б) в целях своевременного мониторинга рисков угроз воздействия природных пожаров на населенные пункты и объекты экономики обеспечить получение оперативных данных дистанционного зондирования Земли 6 раз в сутки по всей территории Российской Федерации с пространственным разрешением 50 – 100 м в спектральных диапазонах 3,5 – 4 мкм и 11 – 12 мкм бортовой аппаратурой ИК-диапазона;

в) в целях своевременного мониторинга рисков угроз возникновения ЧС вызванных паводками (наводнениями) обеспечить получение оперативных данных дистанционного зондирования Земли 6 раз в сутки по всей территории Российской Федерации с пространственным разрешением 30 – 50 м бортовой аппаратурой радиолокационного наблюдения.

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ С НИЗКООРБИТАЛЬНЫМИ СПУТНИКАМИ- РЕТРАНСЛЯТОРАМИ

*А.В. Горбунов, М.В. Новиков
Открытое акционерное общество
«Научно-производственная корпорация
«Космические системы мониторинга,
информационно-управляющие и
электромеханические комплексы»
имени А.Г. Иосифьяна»
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ») (г. Москва)*

В настоящее время происходит интенсивное развитие космических систем дистанционного зондирования. Растут требования к пространственному и радиометрическому разрешениям, полосе захвата. В совокупности это ведет к увеличению информативности целевой аппаратуры. По оценкам зарубежных специалистов в ближайшие годы информативность перспективной целевой аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) достигнет 10 Гбит/с.

Одновременно с повышением информативности целевой аппаратуры в ближайшее время будут найдены технические решения для тепловых режимов и электроснабжения целевой аппаратуры космических аппаратов, обеспечивающие непрерывную съемку независимо от освещенности космического аппарата.

Таким образом, в перспективных космических системах дистанционного зондирования Земли следует ориентироваться на суточный объем информации, создаваемый в бортовом информационном комплексе каждого космического аппарата ДЗЗ около 108 терабайт.

В докладе рассматриваются способы построения перспективных космических систем дистанционного зондирования Земли, обеспечивающих прием на наземных комплексах больших объемов целевой информации.

Показано, что существенное увеличение объемов информации, принимаемой в наземном комплексе приема, обработки и распространения (НКПОР) космической системы, кроме традиционных путей увеличения скорости передачи данных по линии связи КА ДЗЗ – НКПОР, возможно при использовании в составе космических систем и комплексов спутников ретрансляторов.

Рассматриваются зарубежные и отечественные предложения по построению космических систем с ретрансляцией информации через геостационарный спутник.

Предлагается способ построения космических систем ДЗЗ с использованием низкоорбитальных спутников-ретрансляторов. Проводится сравнение двух способов построения систем.

Анализируются структурные схемы космических аппаратов ДЗЗ и спутников-ретрансляторов для использования в составе космических систем.

Формируется предложение по созданию низкоорбитальной системы спутников-ретрансляторов для обслуживания различных космических систем ДЗЗ.

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**В.В. Ганченко, *А.А. Дудкин,*

**Е.Е. Марушко, **С.Н. Чарин*

**Объединенный институт проблем информатики*

НАН Беларуси (Республика Беларусь, г. Минск),

***НИРУП «Геоинформационные системы»*

НАН Беларуси (Республика Беларусь, г. Минск)

В докладе рассматривается задача нейросетевого контроля телеметрической информации (ТМИ) целевой аппаратуры (ЦА) космического белорусского космического аппарата (БКА). Под ЦА понимают аппаратуру, которая обеспечивает выполнение стоящей перед КА, в частности задачу дистанционного зондирования Земли. Состояние ЦА БКА описывается следующей двухуровневой телеметрической информацией: выходное напряжение; токопотребление; температурный режим. По времени формирования все ТМ параметры подразделяются на массивы двух типов: телеметрия включения, которая формируется один раз на каждое включение ЦА; текущая телеметрия, которая фиксируется в ЦА в режимах съемки с частотой съемкой кадров, в режимах передачи информации с частотной передачей.

Нейросетевая модель для детектирования нештатных ситуаций и прогнозирования параметров представляет собой ансамбль нейронных сетей (АНС), обучаемый с использованием алгоритмов итерационного

обучения. Данные алгоритмы разработаны для преодоления проблем вызванных изменением статистических свойств целевой переменной, которую модель пытается предсказать, с течением времени. Они включают оценку точности всех моделей и ранжирование по качеству на каждой итерации анализа новых данных. При значительном понижении суммарной точности производится добавление нового элемента, обученного на релевантных данных, в ансамбль. При таком подходе сохраняются старые данные, заложенные при начальном обучении, и вносятся новые, без проблемы «забывания».

Моделирование осуществляется в нескольких режимах, связанных с режимами функционирования реального оборудования ЦА. Помимо возможных режимов работы ЦА при моделировании учитываются эксплуатационные ограничения функционирования ЦА: ограничения по температурным условиям; ограничения по шинам первичного питания; ограничения по управлению; ограничения по времени функционирования. При этом моделируется 34 основных параметра БКА, описывающих состояние ЦА.

Для осуществления контроля блоков ЦА разработаны следующие алгоритмы:

- общий алгоритм контроля телеметрических параметров ЦА;
- алгоритм анализа последовательности функционирования ЦА;
- алгоритм обучения нейросетевых модулей системы идентификации состояний ЦА;
- алгоритм идентификации нештатных ситуаций ЦА с АНС;
- алгоритм идентификации этапов функционирования ЦА с использованием АНС;
- алгоритм инкрементного дообучения нейросетевых модулей системы идентификации состояний ЦА.

Описанные алгоритмы предоставляют интеллектуальный инструмент решения задач анализа телеметрической информации для разрабатываемого в ОИПИ НАН Беларуси совместно с центром управления полетами БКА экспериментального образца нейросетевой системы мониторинга состояния подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным. Положенный в основу мониторинга и диагностики аппарат искусственных нейронных сетей позволяет с высокой точностью обрабатывать телеметрическую информацию, поступающую с КА по радиоканалу, распознавать и классифицировать состоя-

ния подсистем и паттерны их поведения даже при неполных и зашумленных входных данных. Открытой задачей для дальнейшей разработки является разработка имитационной модели поведения бортовых объектов и ее взаимодействия с обученными нейросетевыми модулями, что позволит выявлять даже небольшие отклонения динамики поведения от штатно прогнозируемой и принимать соответствующие ситуации решения.

СЕКЦИЯ 1. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, КОСМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

ВЕКТОРНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОСПУТНИКОВОГО ОБЗОРА ЗЕМЛИ

*А.В. Горбунов, А.Л. Чуркин, В.К. Саульский
Открытое акционерное общество
«Научно-производственная корпорация
«Космические системы мониторинга,
информационно-управляющие и
электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна»
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ») (г. Москва)*

В настоящее время укрепляется тенденция создания многоспутниковых систем для высокочастотного обзора Земли с помощью бортовых комплексов съемочной и зондирующей аппаратуры. Для обеспечения эффективного использования таких систем необходимо рационально выбирать параметры орбит и спутниковую структуру, т. е. взаимное расположение спутников (в системе). Критерием оптимальности подобного выбора является достижение минимальных перерывов в наблюдении заданной области Земли, в качестве которой обычно фигурирует некоторый широтный пояс.

Задача определения перерывов обзора является в общем случае достаточно сложной для аналитического решения. В связи с этим для ее реализации, как правило, применяются различные методы компьютерного моделирования процесса функционирования спутниковой системы. Данный подход отличается высокой трудоемкостью, но главным его недостатком служит то, что он не позволяет сразу установить и

наглядно отобразить всю картину перерывов, возникающих при обзоре широт Земли.

В настоящей работе предлагается аналитический метод, основанный на специально разработанной векторной модели процесса покрытия произвольной широты Земли полосами обзора всех спутников системы.

Основу модели составляет картина «спутниковых узлов», изображаемых на плоскости в системе координат долгота – время. Положение каждого узла задается вектором, проекциями которого являются долгота и момент времени пересечения выбранной широты некоторым спутником. Детальное определение и изучение картины узлов и ее свойств достигается, используя основные понятия и правила векторной алгебры.

В частности, таким путем установлена взаимно однозначная связь между структурой космической системы и картиной узлов. Отсюда вытекает, что любое изменение положений узлов какого-нибудь спутника влечет за собой соответствующую перемену места этого ИСЗ среди остальных спутников системы и наоборот. Таким образом, перемещая спутниковые узлы, мы получаем простое и удобное для анализа и синтеза отображение спутниковой структуры на плоскости.

Однако, главным свойством векторной модели является то, что она отображает одновременно все перерывы в наблюдениях рассматриваемой широты Земли. С этой целью каждый узел становится центром горизонтального отрезка, называемого «следом» спутника (на данной широте). «След» соответствует участку широты, пересекаемому полосой обзора ИСЗ. Все возникающие перерывы обзора – это вертикальные интервалы между соседними следами, которые могут принадлежать как данному, так и другим спутникам системы. Другими словами, для любой точки широты Земли полный набор перерывов в ее наблюдениях состоит из интервалов между следами на вертикали, соответствующей долготе этой точки. Применяя аппарат векторной алгебры, можно аналитически определять все перерывы и частоты их появления. С другой стороны, изменяя картину узлов, а потому и следов, удастся минимизировать эти перерывы. Наилучшая полученная картина узлов однозначно приводит к оптимальной спутниковой структуре. В этом и состоит смысл и полезность векторной модели обзора Земли.

В интересах максимально простого и понятного изложения сущности и свойств векторной модели она сначала подробно описывается

для простейшего случая односпутникового одностороннего обзора Земли. Он осуществляется только на восходящей либо, наоборот, нисходящей ветви трассы каждого спутника. Выведены формулы для расчета всех перерывов и их частот.

Далее векторная модель обобщается на многоспутниковый односторонний обзор. Отметим, что во всех вариантах одностороннего обзора Земли картина спутниковых узлов сохраняется при смене широты, но длина следа изменяется.

В заключение векторная модель строится в наиболее общем варианте: для многоспутникового двустороннего обзора. Здесь картина узлов существенно зависит от выбора широты Земли. Приведены формулы для учета такой зависимости.

Вывод: Предлагаемая векторная модель многоспутникового обзора Земли позволяет аналитически определять как наибольшие перерывы, так и функции распределения частот всех перерывов при наблюдении произвольной широты земного шара, а потому и широтных поясов в целом. Указанные максимальные перерывы обычно считаются периодичностями обзора и применяются для оценки эффективности космических систем, хотя и не дают исчерпывающей картины функционирования подобных систем. Функции распределения частот перерывов создают основу для предельно полного анализа работоспособности спутниковых систем наблюдения и (или) зондирования Земли и синтеза их структуры и орбит.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ УНИФИЦИРОВАННАЯ ПЛАТФОРМА «НТ-100-01»

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

Новая унифицированная платформа «НТ-100-01» обеспечит создание на ее базе малых космических аппаратов различного целевого назначения (в том числе и ДЗЗ) со стартовой массой до 190 кг. Бортовые системы платформы построены на приборах и оборудовании, произведенных в Российской Федерации.

В данной платформе применена активная, трехосная система ориентации и стабилизации, основной контур которой построен на базе звездных датчиков и управляющих двигателей-маховиков. Такое тех-

ническое решение позволяет использовать космические аппараты на базе платформы «НТ-100-01» для решения задач высокоточной съёмки поверхности Земли в различных оптических и радиодиапазонах, а также производить, в случае необходимости, перенацеливание спутника для съёмки объектов, не охватываемых подспутниковой полосой обзора.

В состав платформы входит пассивная СТР на базе тепловых труб и электрообогревателей, которая предназначена для поддержания в требуемых диапазонах температуры расположенных в приборных отсеках блоков служебной и целевой бортовой аппаратуры, а также для обеспечения теплового режима ряда приборов, устройств и элементов конструкции, расположенных вне приборных отсеков.

В состав системы электропитания входят арсенид-галиевые фотопреобразователи, литий-ионная аккумуляторная батарея и автоматика СЭП. Система электропитания обеспечивает непрерывное питание бортовой аппаратуры МКА на базе платформы постоянным током напряжением от 24 до 30 В на всех этапах функционирования.

Так же, платформа имеет в своем составе систему коррекции на базе термokatалитической двигательной установки, что позволяет обеспечить САС аппаратов на базе платформы не менее 5 лет на низкой круговой орбите высотой 450 – 1500 км. Платформа должна будет обеспечивать возможность одиночного и группового выведения МКА на ее базе на низкие орбиты на различных типах РН легкого, среднего и тяжелого классов.

Основные технические характеристики платформы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики платформы «НТ-100-01»

Наименование параметра	Значение параметра
Масса платформы, кг	До 100
Масса полезной нагрузки, кг	До 90
Мощность СЭП для полезной нагрузки, Вт	
– средневитковая	Не менее 80
– пиковая	Не менее 120
Средневитковая мощность СЭП платформы, Вт	Не менее 150
Конструктивное исполнение	Негерметичное

Тип ориентации	Трехосная, активная
Точность СОС, град	
– крен	0,5
– тангаж	0,5
– рыскание	0,05
Точность стабилизации с погрешностью по каждой из осей, град/с	0,0004
Скорость разворотов МКА при выполнении сценариев съемки, град/с	До 3
Угол перенацеливания, град	±45
Система коррекции	
Тип ДУ	Термокаталитическая
Тип топлива	Гидразин
Масса топлива, кг	8
Частоты радиолиний	
Частота командной радиолинии, МГц	145, 435
Диапазон целевой радиолинии	X, S
Скорость передачи данных	
– по командной радиолинии, Кбит/с	2,5
– по целевой радиолинии, Мбит/с	120
Срок активного существования, лет	5
Высота орбиты функционирования, км	450-1500
Средства выведения	
– одиночное выведение	РН «Старт-1»
– групповое выведение	РН «Ангара-1.2», РН «Рокот», РН «Союз-2-1в»

**ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОНОМНОЙ СБОЕ- И
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ МНОГОЦЕЛЕВОЙ,
МНОГОЗАДАЧНОЙ, РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ И
МАСШТАБИРУЕМОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

А.В. Лобанов, В.Ю. Гришин

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

Рассматривается многоцелевая масштабируемая (наращиваемая) группировка КА ДЗЗ, составляющая космическую систему сетечен-

трической архитектуры и содержащая множество $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ подгруппировок (подсистем) КА. Группировка должна обеспечивать автономное (замкнутое, необслуживаемое) исполнение заданий для каждой цели из множества поставленных целей в условиях возникновения допустимых враждебных («злонамеренных») неисправностей и осуществлять самоуправляемую реконфигурацию и самодеградацию до заданного критического уровня, с гарантированным переходом в состояние безопасного останова системы в случае возникновения следующей неисправности.

Вычислительные средства системы такой архитектуры представляют собой многомашинную вычислительную систему или сеть ЦВМ, в которой параллельно решаются поступающие извне задания, представляющие собой наборы задач, обменивающихся между собой информацией. Для целей сбое- и отказоустойчивости получаемых решений используется репликация задачи, состоящая в том, что разные копии одной и той же задачи решаются на нескольких ЦВМ (образующих комплекс данной задачи) с взаимообменом копиями результатов и выбором из них правильного. Каждой задаче предписан уровень сбое- и отказоустойчивости, определяющий допустимое количество одновременно неисправных ЦВМ в этом комплексе, при котором в каждой исправной ЦВМ данного комплекса все же должен быть получен правильный результат.

В начальный период работы системы после ее начальной проверки, выявления неисправных элементов и определения имеющийся исправной части системы на основе этой части создается системный диспетчерский комплекс (системный ДК), осуществляющий прием заданий из внешней среды. Системный ДК при приеме задания, исходя из условий применения, состава решаемых в данный момент времени заданий и задач, структур уже созданных подсистем и комплексов, имеющихся исправных элементов, используемых в текущий момент времени и находящихся в «горячем» и «холодном» запасах, осуществляет действия по планированию и исполнению поступившего задания: определение структуры подсистемы данного задания, содержащей структуры вновь создаваемых комплексов и структуры межкомплексных взаимообменов информацией для всех задач из задания, создание сценариев решения отдельных задач и их совокупностей, построение временных диаграмм внутрикомплексных и межкомплексных взаимодействий, решение проблемы межзадачной синхро-

низации, межкомплексного обмена и согласования информации, распределение между комплексами функций по обеспечению заданной сбое- и отказоустойчивости (механизмы внутрикомплексного и межкомплексного тестового и функционального диагностирования, допустимых внутрикомплексных и межкомплексных траекторий самореконфигурации и самоуправляемой деградации, необходимые механизмы по восстановлению вычислительных процессов в случаях возникновения допустимых неисправностей (сбоев, программных сбоев и отказов), необходимые внутрикомплексные и межкомплексные действия при возникновении недопустимых неисправностей или ситуаций). Кроме того, системный ДК выполняет качественную оценку предлагаемых решений и выбор наиболее приемлемых для предстоящих условий применения.

Одной из главных проблем, подлежащих решению со стороны системного ДК до начала исполнения задания, является создание диспетчерского комплекса данного задания (ДКЗ), обладающего полной информацией о выполняемом задании и предстоящих условиях его применения, программно-аппаратных средствах выполнения задания, текущей стадии его исполнения. ДКЗ осуществляет, во-первых, инициацию задания и всех его задач по предписанным сценариям, во-вторых, координацию и контроль решения отдельных задач и их связанных совокупностей, прием результатов диагностирования, которые не могут быть обработаны только внутрикомплексными механизмами, выработка по ним приемлемых решений и их доведение до комплексов-исполнителей и контроль исполнения, выполнение приемлемой реконфигурации отдельных комплексов и их совокупностей.

Системный ДК является ядром всей системы и должен обладать достаточной степенью собственной сбое- и отказоустойчивости, обладать всеми необходимыми механизмами репликации и динамической избыточности: функционального и тестового диагностирования, механизмами собственного восстановления вычислительного процесса при сбоях и программных сбоях, выбора приемлемой реконфигурации и осуществления выбранной самореконфигурации и самоуправляемой деградации при отказах, безопасного останова подсистемы выполняемого задания в случаях возникновения недопустимых неисправностей или исчерпания ресурсов и запасов. Аналогичными свойствами должен обладать каждый ДКЗ.

После создания подсистемы исполнения поступившего задания каждый из его участников (диспетчерский комплекс и комплексы выполнения отдельных задач) приступает к выполнению предписанных тактических задач в рамках предписанных сценариев, временных диаграмм, внутрикомплексных и межкомплексных условий синхронизации, обменов информации, согласования внутрикомплексных и межкомплексных действий. Каждый комплекс задачи в предписанные моменты времени отчитывается перед своим ДКЗ о результатах собственных действий, формирует и посылает своему ДКЗ экстренные сообщения, во-первых, о своем обнаружении внутрикомплексных и межкомплексных неисправностей и результатах их идентификации, во-вторых, о собственной способности парировать возникшую неисправность и, в-третьих, о планах и предложениях такого парирования, требующего, возможно, изменений в предписанных межкомплексных взаимодействиях (например, изменение временных диаграмм межкомплексных взаимодействий). Каждый ДКЗ, в свою очередь, выполняет собственные тактические задачи по приему и анализу отчетов и экстренных сообщений от комплексов задачи, выработки необходимых мероприятий по преодолению отклонений в поведении комплексов задачи и подсистемы в целом, возникающих вследствие появления допустимых и недопустимых неисправностей, определению необходимой реконфигурации и управляемой деградации комплексов задачи и подсистемы в целом, передачи комплексам задачи соответствующих указаний и контроля исполнения этих указаний. Кроме того ДКЗ информирует системный ДК о ходе выполнения задания, о ситуациях, приводящих к невозможности выполнения задания в полном объеме, или об успешном выполнении задания. Системный ДК сообщает внешней среде о результатах выполнения задания с указанием причин в случае его невыполнения. Также при завершении задания системный ДК переводит все освободившиеся исправные ресурсы в состояние «горячего» или «холодного» запаса системы.

Описанная работа системы может быть достигнута только при многоуровневой организации исполняющих ее механизмов и использовании адекватных моделей. На нижнем уровне находятся базовые механизмы, обеспечивающие сбое- и отказоустойчивые синхронизацию и взаимное информационное согласование действий выполняемых вычислительных процессов. На следующем уровне находятся основные

механизмы парирования неисправностей и динамического резервирования: репликации задач, тестового и функционального диагностирования, восстановления после сбоев и программных сбоев, самореконфигурации и самоуправляемой деградации при отказах. Все остальные механизмы организации параллельного выполнения поступающих заданий, планирования многозадачных режимов работы комплексов, построения их временных диаграмм и т. п. составляют следующий уровень механизмов системы, полностью опирающийся на нижележащие уровни. При этом необходимо, чтобы для разработчиков механизмов последнего уровня проблемы, механизмы и задачи нижележащих уровней были скрыты. Единственной задачей последнего уровня, как и прикладных задач системы, является, определение объемов и расположения восстанавливаемой памяти после программных сбоев и отказов ЦВМ, а также интервалов времени, в течение которых можно осуществлять такое восстановление. Эти параметры зависят от конкретных условий применения системы.

КОНЦЕПЦИЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ МОРЕЙ В ИНТЕРЕСАХ НАВИГАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Э.С. Зубченко

ОАО «ГНИНГИ» (г. Санкт-Петербург)

Характерная особенность информации о навигационно-гидрографической обстановке в прибрежных районах – ее непрерывное устаревание под воздействием рельефообразующих факторов (ветровое волнение, турбулентные прибойные потоки, приливные и волновые течения). Для районов, где происходят необратимые процессы изменения навигационно-гидрографических условий (заносимость акваторий, эрозия берега, дноуглубление) требуется периодическое обновление картографических данных о рельефе дна. Количество таких районов в прибрежных морях РФ составляет свыше 50. Только в Белом море их более 17, а в Баренцевом и Охотском морях по 8 таких районов.

Для остальных районов с незначительной скоростью изменения навигационно-гидрографических условий минимально необходимая периодичность переиздания навигационных морских карт (НМК) в

зависимости от важности в навигационном отношении, скорости изменения условий составляет 1 год.

Еще одной причиной необходимости переиздания НМК на зоны интенсивного судоходства является то, что при их составлении использовались материалы съемки, выполненные с использованием технических средств, не обеспечивающих современные требования к точности и подробности измерений. Навигация коммерческих судов требует все более точного и надежного знания рельефа и грунта дна, чтобы максимально использовались грузоподъемные возможности таких судов.

Для поддержания картографической информации на эти районы в актуальном состоянии требуется мониторинг изменения навигационно-гидрографических условий. Такая система должна составлять основу системы навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности государства.

Дистанционное зондирование рассматривается как эффективный метод гидрографического мониторинга морских акваторий, поскольку обеспечиваются глобальность и оперативность получения гидрографических данных.

Глубины на прибрежную зону дна Мирового океана в диапазоне от нуля до глубины, соответствующей радиометрической чувствительности датчика, условиям прозрачности воды и отражательной способности дна, могут быть определены по данным съемки прибрежных акваторий спутниковыми спектрорадиометрами высокого пространственного и радиометрического разрешения, с использованием специализированных алгоритмов обработки цифровых изображений.

Условием достижения максимально возможного диапазона определяемых глубин является наличие у спутникового спектрорадиометра оптического канала измерения отраженного морским дном светового потока в спектральном диапазоне, соответствующем максимуму прозрачности морской воды.

Используемые для съемки рельефа дна современные эхолоты имеют угловую ширину характеристики направленности 7° – у однолучевых эхолотов и $0,5^\circ$ – $1,5^\circ$ – у многолучевых эхолотов. Следовательно, чтобы обеспечить точность определения глубины по данным съёмки спектрорадиометром следует обеспечить, чтобы его мгновенный угол поля зрения соответствовал размерам пятна на дне, с которого произ-

водится прием преобразователем эхолота отраженной гидроакустической энергии.

При выборе спектрального диапазона чувствительности датчика яркости акватории определяющим является метод расчета глубин по измеренной яркости.

В настоящее время для расчета глубин по измеренной яркости используются два подхода, базирующихся на методах многомерного статистического анализа. И в том и другом случае технология построена на использовании зональных изображений морских акваторий, полученных в нескольких каналах спутниковых спектрорадиометров. Аппаратура спутника IKONOS обеспечивает получение изображений в четырех спектральных каналах с пространственным разрешением около 3,2 м (в надир), а спектрорадиометр спутника QuickBird – в четырех каналах. Данные показывает, что уровень сигнала, регистрируемого каналами B , G с лежащими симметрично относительно максимума пропускания спектральные диапазонами будут практически идентичными, и, следовательно, не будут давать различающуюся информацию для определения по ней глубины. Аналогичную картину мы наблюдаем для другой пары каналов Y , R , хотя относительный уровень сигналов будет существенно ниже, чем для первой рассмотренной пары каналов. Использование для этих целей сочетаний каналов B - Y , B - R или G - Y , G - R возможно только для глубин, которые меньше значений, соответствующих максимуму пропускания в оптических диапазонах, соответствующих каналам Y , R . Действительно, при использовании всех оптических каналов съемочной аппаратуры Worldview-2 отмечается высокая корреляция данных, получаемых оптическими каналами.

По указанным выше причинам следует признать принятую концепцию применения данных многозональной съемки для определения глубин в интересах навигационного картографирования прибрежных акваторий не вполне корректной. Для достижения потенциальных возможностей дистанционного метода съемки рельефа дна представляется более эффективным использование одного оптического канала, соответствующего максимальной прозрачности воды.

Чтобы обеспечить возможность определения по данным съемки максимально возможных глубин, необходимо создание датчика, позволяющего настройку оптического канала на оптимальный диапазон

съемки, соответствующий максимуму прозрачности воды в районе съемки. Для этого потребуются знание априори первичных гидрооптических характеристик воды: показателя ослабления ϵ и показателя вертикального ослабления k на все прибрежные акватории, которые могут быть определены по значению концентрации хлорофилла, измеряемой дистанционными методами.

В противном случае, потребуется создание спектрорадиометра, имеющего несколько каналов, соответствующих максимуму прозрачности для каждого оптического типа вод с шириной зоны 50-60 нм.

Как показывают практика, корреляция сигналов наблюдается и для сигналов, разнесенных по спектру зонах, например, в зелёной G и красной R зонах, указывая на низкую информативность совместного использования этих данных.

По указанным выше причинам следует признать принятую концепцию применения данных многозональной съемки для определения глубин в интересах навигационного картографирования прибрежных акваторий не вполне корректной. Для достижения потенциальных возможностей дистанционного метода съемки рельефа дна представляется более эффективным использование одного оптического канала, соответствующего максимальной прозрачности воды.

Максимум прозрачности для различных типов прибрежных вод соответствует различным длинам волн в диапазоне от 0,50,58 мкм. Чтобы обеспечить возможность определения по данным – съемки максимально возможных глубин, необходимо создание датчика, позволяющего настройку оптического канала на оптимальный диапазон съемки, соответствующий максимуму прозрачности воды в районе съемки. Для этого потребуются знание априори первичных гидрооптических характеристик воды: показателя ослабления ϵ и показателя вертикального ослабления k на все прибрежные акватории, которые могут быть определены по значению концентрации хлорофилла, измеряемой дистанционными методами.

Для решения задачи классификации типов морских грунтов и грунтов береговой зоны на спутнике должны использоваться сверхмногозональные радиометры. Примером датчиков указанного типов аппаратуры является, установленный на спутнике Worldview-2 сверхмногозональный радиометр MIVIS, имеющий 102 оптических канала, покрывающими в том числе видимый и ближний инфракрасный диапа-

зон (0,43 – 0,83 мкм). Ширина полосы захвата составляет 8 км, а разрешающая способность – 30 км.

Для решения задач картографирования прибрежных акваторий требуемая ширина полосы захвата сверх многозонального радиометра должна составлять не менее 40 км, как и у сканера высокого разрешения.

Важнейшим условием использования данных съемки для навигационного картографирования рельефа дна – возможность точной координатной привязки элементов изображения в принятой геодезической координатной системе.

Возможности использования данных сканерной съемки для навигационного картографирования морских акваторий космическая съемка должна иметь высокий уровень координатного и навигационного обеспечения.

Предлагаемый подход заключается в определении ширины полосы захвата сканера как величины максимального удаления от береговой линии изобаты, соответствующей максимальной относительной прозрачности прибрежной морской воды с учетом 10-15% для гарантированного охвата площади съемки с доступными для определения глубинами. При этом, естественно эта величина устанавливается для участка прибрежной акватории, чья береговая линия по направлению совпадает в пределах $\pm (10^\circ \dots 15^\circ)$ с направлением подспутниковой трассы, которая для спутников ДЗЗ составляет примерно 98° . Для обеспечения возможности одновременного получения информации о топографических объектах и повышения надежности координатной привязки за счет использования опорных геодезических пунктов на берегу следует увеличить ширину полосы захвата еще на 10-15% от ширины, приходящейся на морскую часть полосы захвата сканера.

Недостаток пассивных оптических систем ДЗЗ – их зависимость от условий освещенности и наличия экранирующей облачности, а также от прозрачности воды. Поэтому одним из перспективных направлений следует считать применение для гидрографического мониторинга спутниковых радиолокаторов с синтезируемой апертурой. Зарубежный опыт подтвердил практическую эффективность получения данных о рельефе дна морских акваторий с помощью радиолокаторов с синтезируемой апертурой (РСА) спутникового базирования.

В настоящее время радиолокационные изображения акваторий, получаемые с помощью РСА, используются для съемки рельефа дна с

точностью, сравнимой с точностью съемки помощью эхолотов. Для вычисления глубин применяют модели радиолокационного изображения, параметрами которых являются опорные глубины, скорости течения, характеристики волнения в момент съемки, и цифровые инверсные процедуры обработки. Стоимость получения данных о рельефе дна на основе данной технологии составляет от 1/10 до 1/3 стоимости получения данных традиционными методами, а результат может быть достигнут в значительно более короткий период времени, что особенно важно для мониторинга акваторий с быстро протекающими геоморфологическими процессами. Разрешающая способность радиолокационного изображения, получаемая современными РСА, позволяет производить съемку рельефа дна в масштабе 1:50000 и крупнее, что уже является недостаточным для навигационного картографирования прибрежных и мелководных акваторий.

Картографирование рельефа дна прибрежных акваторий с использованием радиолокационной съемки считается одним из важных направлений применения дистанционного зондирования, однако потенциал данного метода еще не в полной мере оценен специалистами.

Возможность получения радиолокационного изображения акватории с требуемым для этих целей пространственным разрешением обеспечивается функционирующими спутниковыми системами, КА которых оснащены РСА, имеющими разрешающую способность на уровне трех метров: RADARSAT 2 (2002 г.), SKYMED COSMO (2002 г.), TERRASAR (2004 г.).

Спутниковая система гидрографического мониторинга морских прибрежных акваторий должна стать аналогичной космической системе, ведущей непрерывный мониторинг Земной поверхности типа «Ресурс-П». Космические аппараты системы должны быть развернуты на нескольких низких круговых, солнечно-синхронных орбитах, чтобы обеспечивать просмотр любого участка прибрежных акваторий не менее 1 раза через 2-3 суток с разрешающей способностью не хуже 3 м. Такую возможность может обеспечивать группировка низкоорбитальных ИСЗ вместе с геостационарными спутниками для ретрансляции данных а также автоматизированные системы обработки спутниковой информации.

С учетом перспектив расширения зоны мореплавания в арктическом бассейне широтный диапазон обзора земной поверхности должен

обеспечивать включение побережья арктических архипелагов, таких, например, как Северная Земля, т. е. вплоть до широт 82° .

Космическая подсистема должна обеспечивать получение данных путем оптико-электронного фотографирования в одной из зон спектра, оптимальной по условиям прозрачности воды в районе съемки, соответствующем участку оптического спектра $0,5-0,6$ мкм с разрешающей способностью $1,5 - 3$ м,

Для получения данных о типе грунта в прибрежной зоне и на берегу КА должен быть оснащен сверх многозональным спектрорадиометром для съемки в спектральном диапазоне $0,4-1,6$ мкм с разрешением на местности не хуже 30 м в полосе захвата до $30 - 40$ км.

Для возможности получения информации независимо от условий освещенности космическая система гидрографического мониторинга должна иметь в своем составе КА, оснащенный РСА с разрешающей способностью не менее 3 м.

С целью возможности оперативного контроля и учета произошедших изменений должна обеспечиваться оперативная передача данных съемки на наземные приемные станции в местах дислокации существующих и специально созданных региональных картографических подразделений.

Бортовая навигационная аппаратура КА системы должна включать приемник ГНСС для определения положения КА и аппаратуру измерения угловых элементов ориентирования съемочной аппаратуры для координатной привязки получаемых изображений без использования опорных точек с погрешностью не более $2,8$ м, ЭВМ для управления работой съемочной аппаратуры, устройства памяти для накопления и первичной обработки данных оптико-электронной и радиолокационной съемки устройство для передачи данных съемки через спутники-ретрансляторы или непосредственно на наземные пункты приема и обработки информации.

Передача по радиоканалам связи оптического или радиолокационного изображения акваторий и береговой зоны, получаемых при выполнении съемки, на наземные пункты приема и обработки данных позволяет достичь наибольшей оперативности получения данных съемки для последующей корректуры имеемых и составления новых картографических материалов.

Наземные автоматизированные системы обработки информации, которые должны входить в состав системы, предназначены для тематической обработки данных космической съемки акваторий и береговой зоны, с помощью аппаратуры дистанционного зондирования, и функционально должны решать задачи извлечения из получаемых данных информации о картографируемых элементах местности: рельефе и грунте дна и суши, контурных и точечных объектах, распознавания природных и техногенных объектов, геопространственной привязки получаемых данных.

Система должна на выходе формировать цифровые массивы данных о картографируемых объектах для составления и обновления тематических и специальных морских карт, формирования баз данных.

Выводы:

1. Из-за свойственной прибрежным морским акваториям быстрой изменчивости навигационно-гидрографических условий требуется непрерывная актуализация содержания навигационных морских карт на данные акватории.

2. Задача поддержания на уровне современности имеющихся картматериалов, обеспечивающих безопасность судоходства, наиболее эффективно должна решаться на основе использования специализированных спутниковой системы, осуществляющей систематический мониторинг важных в навигационно-гидрографическом отношении акваторий.

3. Система должна быть создана как составная часть комплексов дистанционного зондирования Земли с соответствующей инфраструктурой для сбора, обработки и доведения получаемой информации до пользователей.

4. Космический сегмент комплекса должен включать группировку КА, обеспечивающих возможность периодического получения данных на интересующие районы. Для съемки акваторий КА должны быть оснащены оптико-электронной и радиолокационной аппаратурой, а также навигационной аппаратурой для геопространственной привязки данных съемки.

5. Съёмочная аппаратура должна иметь адаптируемый по условиям прозрачности воды в районе съемки оптический канал, либо несколько оптических каналов, в спектральных диапазонах, соответствующих прозрачности воды для 1, 3, 5, 7 и 9-го оптического типа

вод. Пространственная разрешающая способность каналов должна быть не ниже 2,8 м, ширина полосы захвата – не менее 30 км. Чувствительность датчиков должна быть не менее 0,1% от минимального значения яркости.

6. Для получения данных о типе грунта в прибрежной зоне и на берегу целесообразно производить сверх многозональную съемку в спектральном диапазоне 0,4 – 1,6 мкм с разрешением на местности не хуже 30 м в полосе захвата до 30 – 40 км.

7. Для возможности получения информации независимо от условий освещенности спутниковая система гидрографического мониторинга должна иметь в своем составе КА, оснащенный радиолокатором с синтезируемой апертурой с разрешающей способностью не менее 3 м.

8. Для обеспечения требуемой точности координатной привязки данных съемки КА системы должны быть оснащены навигационной аппаратурой для определения местоположения КА с точностью 1,3 м, а также определения углового ориентирования с точностью по тангажу и крену не ниже 0,6", а по рысканию не хуже 15".

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНО-БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВНЕМАГНИТОСФЕРНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ, СОЛНЦА И МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

*Ю.В. Писанко *, В.П. Пугачев *,
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)*

В последние десятилетия климатологи отмечают повышенную изменчивость окружающей природной среды и, являющуюся следствием этого, возрастающую частоту появления катастрофических погодных и сейсмических явлений (тайфуны, цунами, землетрясения, наводнения и др.). Как правило, это связывают с общим потеплением на планете. Однако причины процессов не ясны, и, соответственно, нет адекватных объяснений для разработки инструментов и методов для прогнозирования развития событий.

Основными параметрами, определяющими энергетический баланс и климат Земли, являются альbedo Бонда Земли, солнечная постоянная и тепловое излучение планеты. Для понимания происходящих процессов требуется непрерывная информация о вариациях этих величин. Проводить одновременный мониторинг альbedo Бонда, солнечной постоянной и теплового излучения планеты можно только с космического аппарата (КА), выведенного в окрестность точки либрации L1 системы «Солнце-Земля».

Наличие такого КА позволяет не только получить инструмент для надежной диагностики тенденций изменения климата на основе мониторинга энергетического баланса, но проводить в реальном времени мониторинг характеристик Солнца, солнечной активности и межпланетного пространства. Ведь именно процессы, происходящие на Солнце, оказывают ключевое влияние на состояние верхней атмосферы, ионосферы и околоземного космического пространства, и, следовательно, на био- и техносферу.

Приборный состав КА в окрестности точки либрации L1 системы «Солнце-Земля» должен быть следующим:

- телескоп (матричный приемник и радиометр), направленный на Землю, для измерения интегрального потока излучения планеты (спектральный диапазон – $0,2 \div 100$ мкм);
- радиометр, направленный на Солнце, для мониторинга солнечной постоянной (спектральный диапазон – $0 \div \infty$ мкм);
- блок приборов для получения высокоточных изображений Солнца и солнечной короны, а также регистрации солнечных вспышек и выбросов корональной массы в реальном режиме времени;
- блок детекторов для регистрации потоков высокоэнергичных частиц и жестких ионизирующих излучений, распространяющихся от Солнца по линии Солнце-Земля, измерения их энергий и спектров;
- блок измерения параметров и возмущений потока солнечного ветра.

Гало-орбита КА в окрестности точки либрации будет иметь период ~ 180 суток с параметрами: $A_x \sim 200$ тыс. км, $A_y \sim 60$ тыс. км, $A_z \sim 100$ тыс. км. Для поддержания орбиты потребуется следующее:

- коррекции удержания необходимо производить раз в $\sim 8-10$ недель,
- коррекции, изменяющие геометрию орбиты для поддержания угла КА-Солнце-Земля, – раз в 3 – 6 месяцев.

– суммарные затраты характеристической скорости на поддержание орбиты оцениваются примерно в 4 м/с за период в один год.

Выбор такой гало-орбиты с полугодовым периодом связан с тем, что она позволяет минимизировать расход рабочего тела на поддержание орбиты и ориентации КА.

Кроме того, такая траектория движения КА вокруг точки $L1$ гарантирует, что, КА никогда не будет находиться на линии Солнце–Земля, т.е. для наблюдателя с Земли он не находится на фоне солнечного диска, что облегчает прием с него информации на фоне солнечного радишума.

В предыдущих пяти миссиях (исключение составляет КА «WIND») для доставки КА в точку либрации $L1$ системы «Солнце–Земля» в основном использовали «прямой» перелет, который занимает ~100 суток. Поиски оптимальных траекторий, в частности по энергетике, продолжаются: предлагаются варианты одноимпульсных перелетов Земля – гало-орбита с использованием и без использования лунного гравитационного маневра. Однако, «экономичные» перелеты накладывают определенные ограничения на параметры гало-орбит. Расширение класса достижимых гало-орбит возможно при использовании двухимпульсных и многоимпульсных перелетов.

В нашем случае для вывода КА на гало-орбиту можно использовать двухимпульсный вариант с общим корректирующим импульсом ~100 м/с и временем перелета ~100 суток.

Общая масса целевых приборов вместе с коммутационной аппаратурой и блоком управления не превысит 200 кг.

В современных низкоорбитальных КА массы целевой аппаратуры и платформы относятся примерно как 1:2. В условиях «дальнего» космоса с учетом утяжеления конструкции для значительного запаса топлива это отношение будет доходить до 1:4. Исходя из этого массу КА (без топлива) можно оценить примерно в 1000 кг. Для активного существования в течение 30 лет и осуществления корректирующего импульса при переходе на гало-орбиту необходимо около 1000 кг топлива.

Следовательно, полная масса КА составит около 2000 кг, из которых почти 50% – запас топлива. Вывод такого КА на гало-орбиту в окрестности точки либрации возможно осуществить носителем среднего класса типа «Союз» с разгонным блоком.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ТИПА «МОЛНИЯ»

*Е.В. Ванина, А.Н. Сергеевский, В.Л. Троицкий
ОАО «Корпорация «Комета» (г. Москва)*

Вектор прогноза движения космического аппарата (КА) \vec{r} может быть представлен в виде решения задачи Коши:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{f}(\vec{r}, R, t) \text{ с начальными условиями } \vec{r}_0 = \vec{r}(t_0), \quad (1)$$

где \vec{f} – оператор численного интегрирования,
 R – потенциал сил, оказывающих влияние на КА в полете.

Ошибка определения движения КА $\delta\vec{r}$ можно разложить на регулярную (систематическую) $M[\delta\vec{r}]$ и случайную $\delta\vec{r}^{\sim}$ составляющие, т. е. $\delta\vec{r} = M[\delta\vec{r}] + \delta\vec{r}^{\sim}$.

Возникновение регулярной составляющей ошибки прогноза обусловлено неточностью описания движения КА, погрешностями при численном интегрировании и систематическими (медленноменяющимися) ошибками траекторных измерений.

В настоящей работе будет рассмотрена методика оценки систематических ошибок траекторных измерений для КА на орбитах типа «Молния».

В реальных условиях на каждом мерном витке проводится избыточное число измерений одних и тех же параметров \dot{D} – радиальной составляющей скорости КА, α – азимута КА, β – угла места КА, $k=2, \dots, K$ – число мерных интервалов (зон точных измерений) на одном витке. В тоже время в измеряемых параметрах могут иметься систематические (медленно меняющиеся) ошибки.

Предлагается расширить вектор состояния (уточняемый вектор начальных условий) за счет «мешающих» параметров. Пусть на точность определения положения КА влияют « n » мешающих параметров $\vec{\alpha} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$, где под мешающими параметрами будем понимать соответствующие систематические ошибки измерений.

Задача выбора компенсирующих поправок решается на основании апостериорной информации о величинах рассматриваемых мешающих

параметров α_l , $l=1, \dots, n$. Эта задача может быть решена с помощью регрессионного анализа, т.е. предлагается использовать методiku регрессионного анализа для оценки систематических ошибок измерений.

«Наилучшая» модель по определению Д. Химмельблау (в частности, для оценки систематических ошибок измерителя) может строиться на основании следующих критериев:

- ведется поиск наименьшего числа параметров регрессии, совместимого с разумной ошибкой;
- при выборе параметров регрессии используются разумные физические основания;
- выбор ведется по минимальной сумме квадратов отклонений между предсказанными и эмпирическими значениями.

В качестве оцениваемых параметров регрессии выберем $\delta\dot{D}$ – систематическую ошибку радиальной составляющей скорости КА или $\delta\alpha$ – систематическую ошибку азимута КА или $\delta\beta$ – систематическую ошибку угла места КА, включая их поодиночке в число оцениваемых параметров, в случае прохождения критерия включения в число оцениваемых параметров двух и более параметров, оцениваем целесообразность включения их парами и т.д.

При формировании возможных моделей для дальнейшего выбора параметров регрессии можно применять следующий критерий целесообразности включения (по одиночке) в расширяемый вектор состояния дополнительных параметров α_j ($j=1, \dots, m$):

$$\frac{(\hat{\alpha}_j)^2}{\hat{\sigma}_0^2 \hat{\sigma}_j^2} > F_{in}, \quad (2)$$

где $\hat{\sigma}_0^2$ – оценка множителя, с точностью до которого известна априорная ковариационная матрица измерений;

$\hat{\sigma}_{\alpha_j}^2$ – расчетное значение дисперсии параметра α_j ,

в качестве F_{in} можно выбрать критическое значение распределения Фишера, к примеру, для уровня значимости $\beta=0.05$,

Рассмотрена методика оценки систематических ошибок измерений для КА на орбитах типа «Молния». Основное достоинство данной ме-

тодики по сравнению с альтернативными заключается в том, что данная методика позволяет оценивать целесообразность учета систематических ошибок измерений на заданном уровне значимости.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В.Ф. Мочалов, О.В. Григорьева, Е.В. Харжевский
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны Российской Федерации
(г. Санкт-Петербург)

Аэрокосмический мониторинг предполагает привлечение данных космической и авиационной съемки, а также результатов тестовых наземных измерений при решении ряда практических задач, таких как инвентаризация объектов инфраструктуры, определение видов использования и состояния земельных участков, оценка состояния элементов ландшафта на контролируемой территории. При наличии принципиальных отличий в планировании и выполнении операций авиационной и космической съемки существуют общие положения, которые могут служить основой для построения комплексной системы аэрокосмического мониторинга.

Актуальной является задача организации оптимального взаимодействия составных частей системы, объединяющей информационные возможности средств различного базирования при сборе данных об объекте обслуживания – контролируемой территории. Управление структурной динамикой комплексной системы мониторинга предполагает, в конечном счете, синтез оптимальных программ управления для достижения основной цели функционирования системы. Такой синтез основывается на построении модели системы и решении следующих классов задач: полимодельное описание процессов управления структурной динамикой системы; анализ структурной динамики и оценивание структурных состояний системы; синтез оптимальных программ управления, обеспечивающих требуемые значения качественных показателей, в различных условиях эксплуатации.

В основу модели положены следующие главные концепты (понятия): процесс, операция. Выделены следующие процессы: планирование эксплуатации системы; обработка материалов съемки; доведение (представление) результатов мониторинга; анализ текущего состояния объекта обслуживания и прогнозирование его изменений; оценивание функционирования системы мониторинга.

В качестве основной технологии моделирования используется CASE-технология (Computer Aided Software Engineering). Моделирование предусматривает разработку следующего набора диаграмм: варианты использования – для представления моделирования процесса (системы операций); диаграммы классов – для моделирования статической структуры, устойчивых связей, способов взаимодействия с учетом основных видов структур (таких как организационная структура, структура целей (процессов), структура функций, задач (операций), структура информационного и программно-методического обеспечения и др.).

Главной особенностью используемого метода моделирования является возможность оперативной адаптации модели, учитывающей воздействие внешних и внутренних факторов. Предложенная технология моделирования обеспечивает синтез оптимальных программ управления системой комплексного аэрокосмического мониторинга при решении практических задач. Модель прошла апробацию в ходе осуществления аэрокосмического экологического мониторинга космодрома «Восточный» в 2013 – 2014 годах.

ОБОСНОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

*С.Н. Волков, И.В. Минаев,
А.Л. Чуркин, И.С. Волков, Т.И. Переходова
ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»
(г. Москва)*

Состояние научно–технологического и производственного потенциала в настоящее время позволяет решать задачи, необходимые для реализации приоритетных направлений космической деятельности, сформулированных в руководящих федеральных документах. Между тем продолжают развиваться и углубляться известные отрицательные тенденции, которые не приводят к качественному улучшению экономического состояния, прекращению деградации потенциала и не ре-

шают ряда глубинных и принципиальных проблем, связанных с созданием космической техники (КТ).

Неустойчивое состояние космической отрасли обуславливало негативную динамику всего спектра производственных рисков, игнорирование которых обуславливало снижение качества всех этапов жизненного цикла КТ от процессов проектирования, планирования и производства до эксплуатации и утилизации, приводящего к снижению надежности создаваемых изделий и систем, авариям и срывам сроков выполнения программ.

Реализованные государством определенные усилия по поддержке наукоемких отраслей отрасли, в основном, касались институциональных преобразований, акционирования и приватизации в отрасли. В меньшей мере рассматривались вопросы, связанные с особенностями управления производством на всех этапах жизненного цикла изделий КТ, обусловленных как неопределенностью внешних условий, так и спецификой производства КТ.

Единственным документом, касающимся оценки рисков создания КТ, явился проект «Методики оценки рисков заказчика при разработке и производстве изделий КТ», представленный на обсуждение в 2014 г. Одним из проблемных положений данного проекта является предположение о наличии в организациях разработчиков и производителей КТ интегрированной базы данных по риск-анализу всех этапов ЖЦИ создаваемых изделий, которое в настоящее время практически не реализуется как в силу отсутствия квалифицированного персонала, так и необходимого организационного и технико-технологического обеспечения. В этой связи в представленном докладе рассматривается возможность оценки функции влияния отдельных показателей риска на качество функционирования системы в целом.

Применительно к проектированию КТ получение данных характеристик существенно затруднено в силу ограниченности необходимых сведений, обусловленных уникальностью создаваемых образцов КТ и существованием отмеченных негативных факторов современных условий. Поэтому на практике используются различные приемы и мероприятия, позволяющие компенсировать указанные трудности.

Для решения задач оценки функции влияния могут применяться как специально разработанные оригинальные программные продукты, так и ряд общеизвестных программ, в частности, Microsoft Excel

Возможности применения современных программно-аналитических средств для исследования производственных рисков создания космической техники экспериментально исследовались в процессе реализации проекта планирования и разработки космического аппарата «Метеор М» на предприятии ФГУП «НПП ВНИИЭМ». Исходными данными проекта выступали сведения, содержащиеся в сводном графике создания космического аппарата «Метеор М» № 1. При этом при планировании проекта для оценивания функций влияния отдельных факторов использовались возможности Microsoft Excel, а для исследования динамики процесса – SpiderProject Professional.

Несмотря на ограниченность имевшегося объема статистических данных (характеристик неисправностей и отказов на этапах жизненного цикла изделий и др.), была получена возможность идентификации факторов риска, оценки сроков запаздывания выполнения операций относительно первоначального плана, с известной долей вероятности описания связи между операциями проекта. После преобразования имевшегося перечня мероприятий в перечень операций проекта была сформирована иерархическая структура операций, которая может быть представлена в диаграмме Гантта.

В современных условиях ограниченности ресурсного обеспечения проектов (материального, финансового, персонала и др.) использование возможностей имеющихся программно-алгоритмических средств может быть существенным фактором повышения эффективности оценки рисков создания, развития и использования космической техники.

Выводы

1. Проблема снижения качества изделия КТ обусловлена продолжающимся системным кризисом в стране и особенностями производства КТ.

2. Базовыми факторами системы управления качеством создания КТ являются ресурсное обеспечение и механизмы снижений производственных рисков.

3. В зарубежных организациях учетом производственных рисков занимаются специальные подразделения риск-анализа предприятий.

4. В организациях космической отрасли России нормативно-методическая документация по исследованию рисков на этапах ЖЦИ практически отсутствует, а само исследование проводится, в основ-

ном, как оценка целевой или экономической эффективности отдельных проектов или их элементов.

5. Отличаясь простотой и наглядностью, данный способ риск-анализа позволяет выявить причины отказов, опасные тенденции и дает основания и наглядный материал для дальнейших исследований по выявлению скрытых закономерностей и проведению углубленного анализа данных.

Исследование модели показало, что эффективность распределения ресурсов СУК КТ во многом определяется степенью и корректностью учета исходных данных подсистемы управления рисками, выполняющей роль СППР СУК.

4. Рассмотренные в разделе методические подходы исследования статистического материала риск-анализа используются, как правило, в практике УК на отдельных уровнях создания и применения КТ. В случае «сквозного» исследования причинно-следственных связей на всех уровнях ПР возникает сложная научно-практическая задача оценивания обширного спектра функций влияния, решаемая, как правило, с помощью специальных имитационных моделей.

В работе представлен разработанный вариант данной модели и показаны преимущества применения в структуре ПМО модели инструментария методов *DataMining* как методов поиска скрытых закономерностей. Применение рассмотренных инструментальных средств для решения задач оценивания рисков позволяет существенно сократить сроки разработки соответствующего методического аппарата и специального программного обеспечения и расширить возможности по анализу и выявлению причин, обуславливающих возникновение рисков при принятии решений в области развития и функционирования КТ.

Опыт и анализ проектов показал, что детерминированные расписания имеют низкую (обычно 20...35%) вероятность успешного исполнения. Без анализа рисков качественного анализа и управления проектами обеспечить нельзя. Следовательно, необходим инструментарий, способный не просто обработать значительный объем информации в соответствии с типичными алгоритмами, но и делать это многократно и оперативно.

Избежать характерных ошибок, которые существенно снижают эффективность принимаемых к реализации программ, позволяет компьютерное моделирование в системе управления проектами. При этом

совокупность задач автоматизированного управления проектом в настоящее время решается с помощью специально разрабатываемых программных сред, возможности которых по управлению качеством реализуемых проектов рассматриваются на примере СУП отечественной разработки SpiderProject.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

*М.И. Макаров, Ю.Г. Пичурин, А.В. Радьков, А.И. Рембеза
«НИИ КС имени А.А. Максимова» –
филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»
(Московская область, г. Королев)*

Космическая платформа (КПл) как базовая основа создания космических средств различного целевого назначения относится к классу сложных технических систем и характеризуется совокупностью параметров, отражающих свойства размещаемых на ней служебных систем, приборов и устройств.

Платформа – это тот стандартный набор служебных систем (электропитания, управления движением, ориентации и стабилизации, терморегулирования, управления и передачи служебной телеметрической информации), которые необходимы на любом спутнике. Каждая стандартная платформа позволяет создавать космические аппараты в некотором диапазоне технических характеристик.

В связи с этим, проведение детального сравнительного анализа технических уровней космических платформ отечественных и зарубежных разработчиков возможно лишь на базе полной и достоверной информации об их конструктивном исполнении и тактико-технических характеристиках бортовых служебных систем, приборов и устройств. На практике реализация данного подхода в условиях отсутствия достоверных сведений о всей совокупности параметров сравниваемых космических платформ является весьма проблематичной. В связи с этим, представляется целесообразным сравнительный анализ технических уровней космических платформ отечественного и зарубежного производства проводить по их основным характеристикам, отражающим их массовые, энергетические и ресурсные возможности.

Обычно космические платформы оптимизируются под массу выводимой полезной нагрузки, что, в свою очередь, определяет массу всего спутника и мощность системы энергоснабжения.

Поэтому одним из важнейших параметров, который целесообразно учитывать при проведении сравнительного анализа технического уровня космических платформ разных производителей, является отношение массы полезной нагрузки (ПН) к общей массе космического аппарата (КА). Анализ данного показателя показывает, что применительно к выбранному классу КА (тяжёлые и средние КА, лёгкие (малые) КА) значение данного показателя могут лежать в следующих диапазонах:

- от 0,1 до 0,3 (КА разработки 90-х годов);
- от 0,3 до 0,5 (КА современной разработки);
- более 0,5 (перспективные КА).

Применительно к анализу достигнутого уровня несущей способности космической платформы в качестве одного из основных показателей целесообразно использовать отношение предельно возможной массы ПН, которая может быть установлена на неё, к массе самой платформы.

Очевидно, что чем большее значение достигнуто данного показателя в процессе проектирования космической платформы, тем эффективнее могут быть выполнены задачи КА, созданном на её основе. Обычно грузоподъёмность ракеты-носителя определяет максимальную массу КА на орбите. Таким образом, чем меньше весит платформа, тем больше полезного груза может быть доставлено на заданную орбиту. С другой стороны, чем больше допустимая предельная масса полезной нагрузки, которая может быть установлена на космическую платформу и её энерговооружённость, тем большей универсальностью она обладает по созданию на её основе КА различного целевого назначения, за счёт возможности размещения на ней разнотипной целевой аппаратуры (оптико-электронной, радиолокационной, связи и телевидения и др.).

При проведении сравнительного анализа технических уровней космических платформ отечественных и зарубежных предприятий-разработчиков предлагается использовать ограниченное количество параметров, характеризующих их возможности, а именно:

– несущая способность платформы, оцениваемая отношением предельно возможной массы полезной нагрузки, которая может быть установлена на неё, к массе самой платформы;

– величина электрической мощности, приходящейся на единицу массы платформы;

– срок активного существования КА, созданного на базе платформы, в орбитальном полёте.

По каждому из упомянутых параметров строятся ряды предпочтения как по всей совокупности рассматриваемых КПл, так и по группам, определяемым попаданием в диапазон масс по установленной классификации.

Построенные ряды предпочтений не позволяют судить о преимуществе какой-либо из КПл по отношению к другим, если не вводить единый параметр оценки.

В качестве обобщённого показателя предложена сумма мест во всех рядах предпочтения. Космическая платформа с минимальным значением показателя предлагается считать лучшей.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАНХРОМАТИЧЕСКИХ И МНОГОЗОНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А.Н. Запорожцев, П.А. Чудновский,

А.С. Степакин, В.В. Некрасов

ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» (г. Москва)

Последние несколько лет ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» проводит работы по созданию малых космического аппарата (МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

На основе накопленного предприятием и кооперацией опыта при создании и эксплуатации КА ДЗЗ серий «Метеор», «Канопус-В», «Ресурс», «Электро» и др. был разработан экспериментальный МКА ДЗЗ.

Экспериментальный МКА предназначен для получения панхроматических и многозональных изображений подстилающей поверхности Земли сверхвысокого пространственного разрешения в следующих режимах съёмки:

а) маршрутная съёмка вдоль трассы полета МКА;

- б) маршрутная съемка под углом к трассе полёта МКА;
- в) широкозахватная съемка;
- г) объектовая съемка;
- д) объектовая съемка с реверсом;
- е) видеосъемка;
- ж) стереосъемка.

Современная негерметичная конструкция и применяемые материалы позволяют создать космический аппарат массой до 200 кг и обеспечить установку служебной и целевой аппаратуры с необходимыми точностями.

Для выполнения жестких требований, предъявляемых со стороны целевой аппаратуры, была выбрана трехосная электромаховичная система ориентации и корректирующая двигательная установка на основе гидразина.

В докладе также представлены:

- состав и основные характеристики и функции служебной аппаратуры, обеспечивающие точную трехосную ориентацию МКА, достаточное электропитание и управление бортовой аппаратурой, радиосвязь МКА с наземными пунктами связи;
- основные характеристики целевой аппаратуры,
- особенности функционирования МКА на различных этапах его существования.

ТЕПЛО ВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ФКП «НИЦ РКП»

В.Н. Кучкин, Б.В. Гавриков

Федеральное казенное предприятие

«Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности»

ФКП «НИЦ РКП»

(Московская область, район Сергиево-Посадский, Пересвет)

Условия, создаваемые в имитационных установках при проведении тепловакуумной отработки космических аппаратов (КА), должны определять предельные температуры конструкции и оборудования КА, выдавать характеристики системы терморегулирования КА, внутренние нагрузки, а также должны определять основные теплофизические характеристики КА и его отдельных элементов в условиях испытаний для последующего сравнения их с величинами, полученными расчетным путем. К основным теплофизическим характеристикам КА отно-

ся хладопроизводительность радиационных поверхностей, тепловые потери, время ввода в заданный тепловой режим и время, в течение которого осуществляется сохранение и поддержание заданного теплового режима. Важны задачи по определению герметичности КА, его узлов и агрегатов, определение качества сборочных соединений, контроль качества материалов, из которых изготовлен КА. На сегодняшний день сложились четыре основные «группы» высокоинформативных технологических процесса отработочных и контрольных испытаний КА: механические, пневматические, термовакуумные, термобалансные.

Это объясняется, прежде всего, тем, что полезная нагрузка КА – элементы конструкции КА, его приборы и агрегаты, работоспособны в «тепличных условиях», т. е. в ограниченном диапазоне внешних воздействий, близких по характеру к условиям на поверхности Земли.

В КА, как в комплекс, входят системы защиты – системы терморегулирования (далее – СТР), механической и радиационной защиты, обеспечивающие создание необходимых условий для эксплуатации полезной нагрузки и компенсирующие негативное влияние на ее работу факторов воздействия космического пространства. Адекватность и надежность работы систем защиты КА, взаимодействие элементов полезной нагрузки между собой и системами защиты КА в реальных условиях эксплуатации являются одними из основных факторов, определяющих показатели надежности и долговечности КА в целом.

Гарантировать работоспособность всего комплекса систем КА, надежность совместного функционирования полётной нагрузки, систем регулирования и защиты в условиях космического полета могут только комплексные испытания узлов, систем и аппарата в целом, проводимые с максимальным приближением к этим условиям.

Создание вакуумных систем для наземной отработки космических аппаратов и для моделирования условий космического полета началось одновременно с началом разработки космической техники и продолжается по мере ее развития и усложнения задач, решаемых средствами космонавтики.

Требования к системам, предназначенным для испытания космических аппаратов определяются многообразием нагрузок, испытываемых КА на старте, в процессе выведения, в космическом полете и при спуске на Землю. Это виброакустические и ударные нагрузки, механи-

ческие перегрузки, тепловые и пневматические нагрузки при старте и спуске, работа в условиях глубокого вакуума, воздействия ионизирующих излучений, электромагнитных полей, теплового и светового излучения Солнца и планет, с одной стороны и космического «холода», с другой стороны.

Опыт показывает, что надежность космического аппарата в процессе штатной эксплуатации напрямую связана с качеством наземной экспериментальной отработки его узлов, сборочных единиц и аппарата в целом, так как оценка качества конструкций, полученная в процессе наземных испытаний КА, будет тем корректнее и правдивее, чем точнее будут воспроизведены действительные условия космического полета.

В ФКП «НИЦ РКП» есть пробелы по испытательным средствам. К сожалению, на сегодня отсутствует и методология, и база по оценке ресурса КА. Ресурс КА назначается в лучшем случае от аналога. Эти проблемы архисложные: решать надо большие и ресурсоемкие задачи воссоздания базы, основы которой были заложены еще в СССР, Например: создать линейку тепловакуумных камер. В НИЦ РКП работает и находится в постоянной модернизации камера ВК-600/300. Есть и небольшие камеры объемом порядка $10 \div 15 \text{ м}^3$. Но необходимо дополнить эту линейку средним масштабом (на $50 \div 75 \text{ м}^3$), а также «оживить» большую камеру на 8500 м^3 . Это необходимо, поскольку ряд институтов разрабатывает КА больших размеров – они не помещаются в имеющиеся камеры. КА «Радиоастрон» КА ОАО «Комета» или платформа «Экспресс 4МД» при испытаниях не удавалось раскрыть полностью в камере, чтобы провести полномасштабные испытания. Но восстановление большой камеры – дело затратное.

Разработка ППТС, в состав которой входит и новый ПТК, их наземная отработка требует создания имитатора космоса как минимум с полезным объемом 1000 м^3 со всеми системами внешних воздействий космоса.

Создание и размещение на отраслевой базе ФКП НИЦ РКП современной термовакуумной камеры ТВК-900 с имитатором Солнца создаст новые возможности в технологии экспериментальной отработки перспективных изделий Роскосмоса, имеющей новое качество:

– увеличенные габариты объектов испытаний: диаметра (высоты) до 7,4м;

- длины до 14,3м;
- имитируемые потоки солнечного излучения мощностью до 1700 Вт/м² и более;
- безмасляный вакуум до 10⁻⁷ Торр;
- полностью автоматизированная система управления процессом ТВИ и оборудованием ТВК.

Так как в настоящее время в России нет ТВК с необходимыми габаритами и повышенными мощностями ИСИ для проведения ТВИ, а также для испытаний на герметичность, создаваемых новых космических объектов, то ввод в строй современной крупногабаритной ТВК-900 позволит решить задачи высокотехнологичной экспериментальной отработки теплового режима и герметичности перспективных крупногабаритных космических объектов: ПТК НП, НЭМ, ОКА-Т, ТЭМ, трансформируемых (надувных) модулей, АКА связи и ДЗЗ, в том числе специального назначения, и других перспективных космических аппаратов, что в итоге повысит качество и надёжность создаваемых КА и, в том числе будет способствовать повышению обороноспособности нашей страны.

Анализ зарубежных имитаторов космоса и выполняемых ими задач показывает, что, как правило, данные имитаторы создаются под определенную программу, по крайней мере на 1-м этапе.

Объединение информации о проведенных испытаниях узлов и КА в целом, организация сертификационных испытаний независимых от разработчика и изготовителя – эта задача сегодняшнего времени, а испытательные службы главных конструкторов должны существовать, выполняя поисковые и оценочные работы, отслеживать этапы изготовления КА.

Решение этих задач видится в рамках целевой программы.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В.В. Малышев, В.В. Дарных
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет, МАИ) (г. Москва)*

Расширение спектра предоставляемых в настоящее время космических услуг и информации тесно увязано с соответствующими процессами управления космическими аппаратами (КА) и системами (КС). На современном этапе проектирование космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) направлено как на достижение многофункциональности их целевого применения, так и на персонализацию услуг при получении космических снимков и информации с полным соответствием ряду предъявляемых потребителями требований. Необходимо также учитывать, что орбитальные группировки таких КС ДЗЗ могут включать любое количество КА с любым их пространственным расположением, а также различной комплектацией бортовой специальной аппаратуры. Следовательно, и эффективность целевого функционирования КС ДЗЗ определяется по нескольким показателям. Для ее повышения требуется решать проблему многокритериального анализа и оптимизации оперативного планирования целевого функционирования КС, которая в общем случае характеризуется полиномиальной сложностью. До настоящего времени единого подхода к решению такой проблемы не предложено.

Цель доклада – демонстрация комплексного системного подхода и специализированного программного обеспечения, позволяющего на основе моделирования решать указанную проблему и связанные с ней частные задачи для любой орбитальной группировки КС ДЗЗ.

В докладе представлены к обсуждению:

- модели процессов целевого функционирования КС ДЗЗ с учетом ограничений, обусловленных сценариями их работы и техническим ресурсом КА, требований к параметрам рабочих орбит КА, а также внешних факторов (освещенность, облачность, радиовидимость и т. д.);
- формализация и постановки проблемы многопараметрического анализа эффективности и многокритериальной оптимизации оперативного планирования целевого функционирования КС ДЗЗ, а также связанных с ней частных прикладных и модельных задач, включающих критерии (показатели) оценки эффективности целевого функционирования КС;
- комплексная методика решения поставленных проблемы и задач анализа и оптимизации на основе системного подхода;

- специализированный программный комплекс, обеспечивающий системность, универсальность и нужное быстродействие при вычислениях.

В докладе приводятся и обсуждаются примеры решения модельных задач многокритериального параметрического анализа эффективности и многокритериальной оптимизации оперативного планирования целевого функционирования ряда современных многоспутниковых КС ДЗЗ, например, отечественных «Ресурс» и «Канопус», КС на базе микро-КА, орбитальных группировок, включающих современные зарубежные КА ДЗЗ.

Доклад подготовлен с использованием результатов научных исследований, проводимых авторами в течение ряда лет при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 12-08-00175-а, 13-08-01381-а, 15-08-07422-а).

МЕРЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ОСЕДАНИЯ ВЛАГИ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ОПТИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.Д. Озеров, А.В. Вороков

ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» (г. Москва)

Проблема влагозащищённости оптической целевой аппаратуры космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) существует с момента первых запусков КА с оптической полезной нагрузкой на борту. Из-за оседания влаги на чувствительных элементах съёмочной оптической аппаратуры, получаемое приёмными средствами изображение поверхности Земли получается размытым и не соответствует техническим требованиям по пространственному разрешению и шумовому эквиваленту измеряемой яркости. В оптической аппаратуре, работающей по принципу дифракционного спектрометра или Фурье-спектрометра, данная проблема приводит к значительному ухудшению порогов обнаружения и шумового эквивалента спектральной яркости.

При разработке оптических приборов дистанционного зондирования Земли, работающих в видимом диапазоне спектра, как правило, принимаются конструктивные меры защиты от оседания

влаги (бленды, нагреватели элементов оптического тракта и т.п.), что частично снимает проблему.

Однако, в оптических приборах, предназначенных для съёмки и зондирования в инфракрасном спектральном диапазоне, должно быть обеспечено глубокое охлаждение фотоприёмных устройств. Это приводит к тому, что эффективность влагозащищённости фотоприёмников значительно сокращается из-за конструктивных особенностей приборов и их систем охлаждения.

В этом случае для решения проблемы большую роль начинает играть соблюдение температурно-влажностного режима космического аппарата при подготовке к запуску и его выведении на целевую орбиту. Следовательно, необходимо разработать комплекс мер по влагозащищённости космического аппарата и выбрать средства для их реализации.

В разделе 1 данной статьи приведено описание проблемы и проведен анализ опыта разработки и применения мер по влагозащищённости.

В разделе 2 приведены разработанные меры и средства защиты, реализованные при подготовке и запуске КА «Метеор-М» № 2.

В разделе 3 приведен сравнительный анализ целевой информации с аппаратуры МСУ-МР, установленной на КА «Метеор-М» № 1 (где не применялись подобные меры защиты) и аппаратуры МСУ-МР, установленной на КА «Метеор-М» № 2 (где данные меры были применены). Эффективность данного комплекса мер также подтверждена качеством целевой информации ИКФС-2.

В заключении сделан вывод о целесообразности применения разработанных мер для создаваемых и перспективных отечественных на последующих метеорологических космических аппаратах.

МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*М.А. Сквизников, Д.Н. Комраков
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны Российской Федерации
(г. Санкт-Петербург)*

В настоящее время происходит интенсивное наращивание орбитальной группировки (ОГ) космических систем (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в соответствии с «Концепцией развития российской системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года». В то же время увеличение информационных возможностей КС ДЗЗ совпадает с быстрым возрастанием спроса на результаты их применения. В связи с этим на современном этапе развития ДЗЗ из космоса становится актуальной задача оптимизации планирования целевого использования КС ДЗЗ.

Для повышения оперативности решения задач планирования использования КС ДЗЗ предлагается механизм распределения ресурсов КС ДЗЗ в составе орбитальной группировки по объектам наблюдения.

Для оценивания качества процесса планирования совместного применения КС ДЗЗ была разработана математическую модель данного процесса. Математическая модель процесса планирования совместного применения КС ДЗЗ представляет собой совокупность соотношений, описывающих состав, структуру, характеристики системы ДЗЗ, особенности протекания процесса её функционирования, а также его взаимодействие с другими процессами и со средой. Для построения данной модели необходим обоснованный выбор показателей качества процесса планирования совместного применения КС ДЗЗ. Из множества свойств, присущих любому процессу, для характеристики целенаправленных процессов существенны так называемые операционные свойства, которые определяют его качество. К операционным свойствам процесса планирования относятся результативность, оперативность и ресурсоемкость.

В основу разрабатываемой математической модели процесса планирования положена теория линейного программирования и её практическое приложение, известное как транспортная задача. В терминологии линейного программирования данная задача формулируется следующим образом.

Имеется m разнородных КС ДЗЗ $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_m$, которые являются поставщиками продукции в виде объектов наблюдения. Данные КС в течение требуемого времени, определяемого решаемыми задачами, могут снять $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m$ объектов ДЗЗ. КС ДЗЗ предназначены для решения n задач (потребителей услуг КС ДЗЗ) Q_1

, $Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n$, которым соответствует требуемое количество объектов необходимого качества $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n$. Предполагается, что потребность не превышает возможность КС ДЗЗ:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (1)$$

При этом для съемки i – го объекта, необходимого для решения j – й задачи требуется время t_{ij} .

Обозначим через x_{ij} количество объектов наблюдения, снятых i – м КС ДЗЗ для решения j – й задачи.

С учетом принятых обозначений задача формулируется следующим образом: найти неизвестные x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$), обрабатывающие суммарное время, необходимое для съемки всех объектов, требуемых для решения n задач:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

в минимум при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j (j = 1, 2, \dots, n); \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i (i = 1, 2, \dots, m); \\ \sum_{i=1}^m a_i &= \sum_{j=1}^n b_j; \\ x_{ij} &\geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) являются математической моделью процесса планирования совместного применения КС ДЗЗ.

Данная модель позволяет решать следующие задачи:

- проводить анализ влияния разнородных факторов на оперативность получения информации;
- разрабатывать методики планирования совместного применения КС ДЗЗ;
- оценивать влияния разработанных методик на качество процесса планирования совместного применения КС ДЗЗ.

**СЕКЦИЯ 2.
ПРИБОРЫ СЛУЖЕБНЫХ СИСТЕМ КА,
АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА**

**DEVELOPMENT OF THE GRAS-2 RADIO OCCULTATION
INSTRUMENT**

NORDFELDT, Lars

RUAG Space, Gothenburg Sweden

The GRAS-2 instrument, under development at RUAG Space, will succeed the GRAS (GNSS Receiver for Atmospheric Sounding) instrument which is currently in operation on MetOp-A and MetOp-B. The GRAS-2 instrument has been selected for the MetOp Second Generation (SG) satellites, which will include four to six satellites all with GRAS-2 instruments.

Radio occultation (RO) measurements constitute today an important role in climate research as well as in numerical weather predictions (NWP). Short after the launch of the European MetOp-A satellite and the US/Taiwanese COSMIC constellation, RO data became operational in NWP and are now one of the more important data for NWP accuracy. This is due to the qualities of the RO measurement, such as:

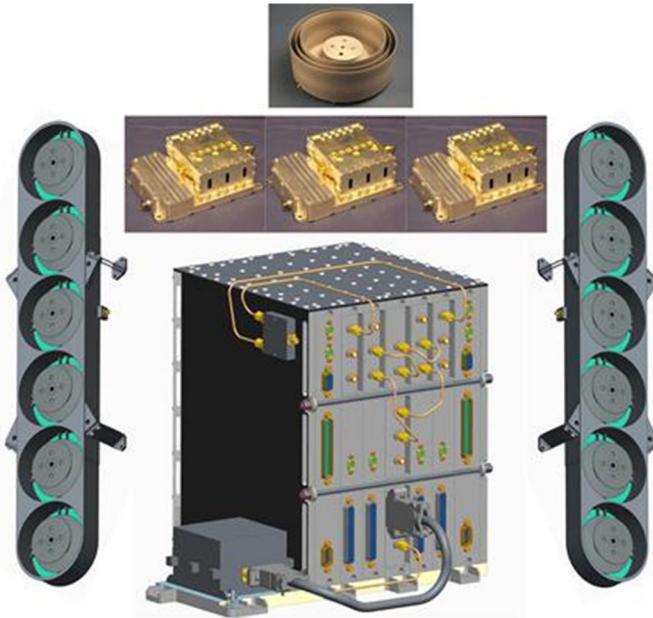
- global coverage, ~2 800 vertical profiles per RO instrument with Galileo, GPS, GLONASS, and BeiDou
- all weather, day and night
- high vertical resolution
- high accuracy (virtually bias-free and auto-calibrated)

The two operating GRAS instruments provide today 1 400 RO profiles per day with outstanding measurement accuracy, using GPS signals. GRAS-2 will, in addition to GPS, be capable of receiving the new signals from Galileo as well as GLONASS and COMPASS.

GRAS-2 on MetOp-SG will provide RO data beyond 2040 with at least two instruments operating simultaneously, providing a total of 5 600 occultations per day. GRAS-2 is a further development of the MetOp-GRAS instrument. The bending angle measurement accuracy at 35 km altitude is better than 0.5 micro-radians. The analyses of MetOp-GRAS measurements together with detailed simulations have been used to develop algorithms that will allow for model based open loop signal tracking in the lower part of the atmosphere. This enables bending angle retrieval even in severe conditions of atmospheric multipath down to very low altitudes, something that

is attaining increasing attention.

The GRAS-2 instrument consists of one Zenith pointing antenna with hemi-



spherical coverage, two occultation wide coverage high gain antennas, three RF front ends with sharp filters and low noise amplifier and one electronics unit including an oven controlled ultra-stable oscillator as frequency reference.

The GRAS-2 instrument is based on the

RUAG Space's high precision POD receiver, flying on a number of Earth observation mission, it is furthermore strictly modular and can be scaled to fit platforms with lower available power, smaller volume for antenna accommodation or lower data rate capacity.

X-BAND DATA DOWNLINK ANTENNAS

*Jan Zackrisson, Mikael Öhgren,
Per Magnusson, Jonas Bäck,
Joakim Johansson,
all of RUAG Space AB*

ABSTRACT:

Small satellites in a low orbit often have a need for a data downlink antennas. In order to achieve a high data rate, X-band is often used for these applications. Traditionally, an isoflux coverage antenna is used to compensate for the change of free-space loss during an orbital pass to maintain the signal strength, and thus a proper link margin. This antenna type has a circular-

ly symmetric radiation pattern shaped in such a way that the power flux density over the earth is the same everywhere, regardless of if the user sees the spacecraft in a zenith position or just above the horizon. This antenna type is normally circularly polarized. Such isoflux antennas can be based on several realizations, such as a waveguide aperture with corrugations, a bi-cone, an array, or a reflector antenna, in order to achieve the desired beam shape. These antennas are normally relatively large, heavy and thus inefficient for isoflux coverages. The presentation will give a brief overview of some of these antennas as a background.

In order to achieve a smaller, more lightweight antenna solution, we have developed a compact X-band helix antenna concept to achieve the isoflux coverage. This antenna features an innovative design of a radiator part which can be adapted to specific customer requirements regarding gain, coverage, and frequency band. This part is then combined with a supporting radome, a generic X-band septum polarizer, and, when needed, small conical or corrugated parts for beam shaping, creating a modular versatile antenna system. While reducing the size and weight compared to the traditional antenna types used, the new antenna design retains the favorable characteristics of the traditional antenna design, i.e. large bandwidth and high power handling capability.

The presentation will describe the helix antenna and give a presentation of the design work and analyses performed, as well as present some realized antenna examples.

**ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕСТОВЫХ ПРОВЕРОК
УПРАВЛЯЮЩЕГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ПАРИРОВАНИЯ СБОЕВ ПРИ
РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ
КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

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

Обеспечение сбоеустойчивой работы узлов управляющих цифровых вычислителей является первостепенной задачей при эксплуатации существующих и проектировании новых систем управления космическими аппаратами.

Одним из наиболее информативных методов выявления и парирования возникающих сбоев, обусловленных воздействием факторов космического пространства (дозовые и одиночные радиационные эффекты, вызываемые потоками протонов, электронов и тяжелых заряженных частиц), является проверка состояния вычислительной части системы с помощью выполнения тестовых программ в самой системе.

В основу проверок закладывается принцип последовательного выполнения набора функций с заведомо известным результатом и сравнением его с рассчитанным во время проверки. Результат выполнения этого набора функций является индикатором жизнеспособности системы. Данный принцип проведения проверок имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

- отсутствие дополнительных аппаратных устройств контроля, что, как следствие, уменьшает объемно-массовые характеристики, энергопотребление и стоимость оборудования;
- проверка вычислительной части системы осуществляется в необходимом объеме в заданный промежуток времени;
- на основе полученных данных принимается решение о работоспособности узла, что может быть использовано при построении многопроцессорных систем.

Недостатки:

- возможное изменение состояния проверенной части системы после выполнения проверки, но до завершения выполнения штатного алгоритма;
- неопределённость при объективной оценке собственного состояния самой системой, поскольку сбои могут приводить к формированию положительного результата проверок при действительно отрицательном;
- необходимость проверки оборудования, задействованного для выполнения самой проверки; а также последующее приведение автоматов системы к моменту начала проведения проверок.

С учётом описанных недостатков, были предложены следующие решения:

- разделение проверок на группы: первоначальная проверка всей аппаратуры до выполнения штатных алгоритмов; периодическая проверка функционального узла (проводится перед задействованием узла

в штатной работе); постоянная фоновая проверка наиболее критических узлов системы (проводится на фоне выполнения основной штатной программы).

- программы проверок используются совместно с мажоритированием элементов системы, в которых они выполняются; в результате неверно принятое решение N элементами системы, состоящей из M элементов, не повлияет на результаты работы вычислителя, где $M-N$ – число элементов, достаточное для достоверного принятия решения;

- введение в структуру программы тестовой проверки обработки исключений; несмотря на то, что сбой в системе может иметь различную природу, обработка исключений является типовой для всего времени существования системы;

- проверки оборудования, состояние которого необходимо сохранить, проводятся с фиксированием состояния автоматов части системы, с последующим восстановлением после окончания проверки; (например, при проверке оперативной памяти содержимое ячеек заполняется тестовыми кодировками, при этом для дальнейшей работы системы возникает необходимость восстановления содержимого ячеек, что, однако, ведет к дополнительной трате времени).

Организация периодического тестового контроля, со встроенными средствами резервирования, контроля и восстановления, обеспечивает выявление и парирование сбоев вычислительной части системы управления космическим аппаратом, вызванных, в том числе и накопленной дозой излучения или попаданием тяжелой заряженной частицы. При проектировании управляющей вычислительной системы необходимо учитывать то, что узел системы не способен объективно оценить собственную работоспособность, и, соответственно, без минимальной дополнительной аппаратной поддержки любая программа проверок нежизнеспособна.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*И.И. Чупринский, В.А. Точилов, А.И. Казаков
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе»
(г. Санкт-Петербург)*

С 1970-х годов при разработке автоматических космических аппаратов (АКА) используется традиционная структура бортового комплекса управления (БКУ), основными неизменными элементами которой являются:

- бортовая аппаратура (БА) командно-измерительной системы (КИС);
- бортовой вычислительный комплекс (БВК) или бортовая вычислительная система (БВС);
- бортовая система телеметрических измерений (БСТИ).

Этому составу БКУ способствует структура конструкторских бюро, служб заводов изготовителей и эксплуатирующих организаций, которые занимаются, соответственно, разработкой, изготовлением и эксплуатацией АКА. Высшие учебные заведения продолжают готовить специалистов для работы по вышеприведенным направлениям, тем самым также способствуя неизменному составу БКУ.

Настоящая структура БКУ была обусловлена тем, что управление АКА требовало иметь в составе автоматизированной системы управления аппаратом обратной связи с объектом управления, роль которой выполняла БСТИ.

Совокупность бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) и модулей сопряжения ее с БА составляют БВК. Ввиду малого количества вычислительных возможностей и ограниченной оперативной памяти БЦВМ традиционная структура БКУ оставалась неизменной, так как без достаточной информативной обратной связи с объектом управления от нее отказаться было не возможно.

При появлении в БСТИ режима адресной выдачи данных (ВД), можно утверждать, что БСТИ начала выполнять функции модуля сопряжения БЦВМ с датчиковой телеметрической аппаратурой объекта контроля во внутреннем (автономном) контуре управления АКА. Так как, используя режим ВД, значения телеметрической информации (ТМИ), сформированные и хранимые в оперативной памяти БСТИ, выдаются в БЦВМ по ее запросу. Программы дежурного контроля и диагностики работоспособности БА использовали эту информацию, чтобы сообщить в центр управления полетом АКА о некорректной работе и результатах анализа некорректной работы БА, сформировав сигнал «Вызов НКУ» по радиоканалу связи АКА с наземным комплексом управления (НКУ).

Эти бортовые программы помещались в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) БЦВМ, поэтому появилась возможность их корректировки с целью адаптации под измененное в процессе эксплуатации техническое состояние АКА, т. е. были «обучаемые». Данная возможность позволяла более гибко управлять АКА.

Для выполнения корректировки бортовых алгоритмов АКА использовался прямой радиоканал управления АКА из состава КИС. Обратный канал радиоуправления использовали в качестве информационной обратной связи для контроля корректности записи программной информации на борт АКА, а также для считывания из ОЗУ БЦВМ накопленной в ней отчетной информации о результатах автономного управления БА средствами БВК.

Наличие такого обратного канала и требования к повышению степени автономности функционирования АКА на орбите, а также наличие режима ВД БСТИ, привели к тому, что этот обратный канал КИС стал использоваться для получения информации оперативного контроля (ИОК) о состоянии БА АКА. Эта оперативная информация поступала в ЦУП при проведении сеансов управления АКА.

Радиоканал БСТИ стал использоваться только для технического обслуживания АКА на орбите и для определения причин неисправностей в БА, если это не было выполнено средствами БВК. Поэтому планирование использования этого канала БСТИ в эксплуатационной документации по управлению АКА, используемой в ЦУП, становится всё более редким.

В настоящее время наблюдается увеличение в тысячу раз вычислительных возможностей БЦВМ и объема её оперативной памяти, а также увеличение номенклатуры модулей сопряжения БЦВМ с БА АКА, выполненных в цифровом исполнении, что даёт возможность отказаться от использования специальной, обычно не резервируемой датчиковой аппаратуры БСТИ ранее используемой в составе БКУ. Функции сбора, хранения и обработки телеметрической информации, полученной с использованием модулей сопряжения БЦВМ с БА, ничем не отличаются от тех, которые ранее использовались в БСТИ. При этом острая необходимость специального радиоканала передачи этой ТМИ в НКУ также отпадает, а следовательно и отпадает необходимость наличия БСТИ в структуре БКУ.

Предложенная доработка БКУ позволит при наличии магистрали кодового обмена (МКО) между цифровыми вычислительными машинами автоматизированного испытательного комплекса (АИК) и БВК АКА, что позволит значительно повысить контролепригодность АКА при наземных испытаниях и эксплуатации АКА и обрабатывать ТМИ в реальном масштабе времени средствами АИК.

Поскольку оценка корректности работы БА с анализом ТМИ будет при этом выполняться испытательными алгоритмами в реальном масштабе времени, то из состава программно-методической документации (ПМД) наземных испытаний возможно исключить документы по оценке работы БА АКА, используемые традиционно при наличии БСТИ, существующем в настоящее время. Из ПМД при этом должны быть удалены и процедуры «постобработки» ТМИ.

Итак, исключение из состава БКУ АКА БСТИ открывает перспективы к уменьшению трудоемкости изготовления АКА и к повышению качества его потребительских характеристик.

КОНСТРУКЦИЯ КОМПЛЕКСА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ «ГАММА-400»

А.М. Гальпер [1], Ю.В. Гусаков [1],

С.И. Сучков [1], Н.П. Топчиев [1],

К.А. Боярчук [2], В.А. Ерёмин [2], Н.Г. Зайцев [2],

Р.С. Салихов [2], Н.А. Сеник [2]

[1] Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) г. Москва;

[2] Открытое акционерное общество научно-исследовательский

институт электромеханики

(ОАО «НИИЭМ») (г. Истра)

Комплекс научной аппаратуры (КНА) «ГАММА-400» в составе гамма-телескопа, системы регистрации гамма-всплесков «Конус-ФГ» и комплекта магнитометров предназначен для решения фундаментальных задач астрофизики – исследования тёмной материи и космического гамма-излучения. В настоящее время подобные исследования проводятся с использованием гамма-телескопа Fermi-LAT, работающего в диапазоне энергий от 100 МэВ до 300 ГэВ. Для решения данных задач ФИАН предложена физическая схема КНА «ГАММА-400» с энергетическими характеристиками в диапазоне энергий от 0,1 до 3000 ГэВ. КНА «ГАММА-400» предполагается установить на служебную платформу «Навигатор» разработки ФГУП «НПО им. С.А. Ла-

вочкина» и эксплуатировать на высокоэллиптической орбите с высотами апогея не менее 300 000км, перигея не менее 500км, наклоном 51,4° и периодом обращения около 7 суток.

В соответствии с физической схемой ОАО «НИИЭМ» разработана компоновочная схема КНА «ГАММА-400».

Комплект магнитометров расположен на откидном кронштейне, обеспечивающем их удаление от оси гамма-телескопа на заданное расстояние. Секции с блоками детекторов представляют собой сотовую панель с углепластиковыми обшивками. Для проверки точностей расположения блоков, имеющих в своем составе координатные детекторы, блока К (конвертера-трекера) и блока КК1 (координатно-чувствительного калориметра), предусмотрено промежуточное звено сборки КНА – блок К-КК1. Блок К-КК1 содержит блоки К и КК1, взаимосвязанные через переходную ферму, звездные датчики, расположенные на ферме, и зеркальные кубики, позволяющие определить угловые рассогласования между каждым из блоков и звездными датчиками, а также между самими блоками К и КК1.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ КОНТРОЛЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ В БОРТОВЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*С.А. Голованов, А.Б. Уманский, Н.С. Чиркова
ОАО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова»
(г. Екатеринбург)*

На сегодняшний день при подготовке и эксплуатации систем управления космическими аппаратами возникает ряд проблем, связанных с обеспечением достоверности передаваемой информации и влекущих за собой необходимость создания «гибких» и надежных алгоритмов ввода и контроля информации. Поскольку искажение информации на каком-либо этапе может в дальнейшем привести к аварийной ситуации, проблема является актуальной.

В работе рассмотрены условия, накладывающие ограничения на разрабатываемые алгоритмы, особенности и недостатки существующих на данный момент алгоритмов в части обеспечения надежности и правильности ввода информации, предложены новые решения в части

реализации системы управления резервом и контроля правильности передаваемой информации.

В настоящих момент можно выделить три основных условия, накладывающих ограничения на разрабатываемые алгоритмы:

- требования по надежности;
- среда эксплуатации прибора;
- структура управляющей цифровой вычислительной системы.

Рассмотрим данные условия подробнее:

1. **Требования по надежности.** На сегодняшний день для систем управления космическими аппаратами разработки ОАО «НПО автоматики» сформированы следующие требования к данным алгоритмам:

- записываемое в память программное обеспечение должно быть целостно;
- в случае обнаружения нарушения целостности (искажения) программ необходимо составлять исчерпывающую диагностическую информацию;
- информация и система управления должны быть приспособлены к диагностированию;
- должно обеспечиваться определение места неисправностей с точностью до сменной конструктивной единицы;
- возможность парирования искажения информации в ходе выполнения задач ввода.

2. **Среда эксплуатации прибора.** Основной опасностью для аппаратуры системы управления, функционирующей в космическом пространстве, являются одиночные и дозовые радиационные эффекты. Длительное радиационное воздействие на аппаратуру вызывает деградацию параметров и характеристик используемой элементной базы, что ведет к возможному искажению передаваемой/записываемой информации и как следствие к необходимости дублирования информации.

3. **Структура ЦВС.** В процессе создания системы управления для малогабаритных космических аппаратов было установлено, что для обеспечения гарантированного обнаружения сбоя и самовосстановления в качестве управляющей ЦВС оптимальным является использование 3-канального вычислителя со средствами контроля и управления резервом, реализованными на программном уровне.

Основная проблема при разработке алгоритмов заключалась в подборе и комбинировании наиболее эффективных, простых и быстрых алгоритмов с целью достижения поставленной задачи контроля и ввода информации на фоне факторов, искажающих ее, и соответствующих требований по быстрдействию и надежности.

По результатам разработки удалось создать гибкую структуру с возможностью повторов, восстановления информации и определения места возникновения неисправности вплоть до сменной единицы при достаточно высоком быстродействии.

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА ТЕЛЕСКОПА «ГАММА-400»

*Л.А. Амелин, А.В. Мовчан, Н.А. Сенюк
ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики»
(ОАО «НИИЭМ») (г. Истра)*

Комплекс научной аппаратуры (КНА) «ГАММА-400» в составе гамма-телескопа, системы регистрации гамма-всплесков «Конус-ФГ» и комплекта магнитометров предназначен для решения фундаментальных задач астрофизики – исследования тёмной материи и космического гамма-излучения. Одним из основных приборов КНА является гамма-телескоп, представляющий собой набор сложных датчиков для регистрации гамма-излучения. Физическая схема гамма-телескопа разработана специалистами ФИАН, а компоновка и конструкция КНА «ГАММА-400» ОАО «НИИЭМ» совместно с ФИАН [1] Техническим заданием предусмотрено определение термодформационных характеристик КНА в процессе его эксплуатации на орбите. В работе приводится оценка отклонения положения плоскостей координатных детекторов конвертера-трекера и позиционн-чувствительного калориметра.

Расчёту термодформаций предшествует разработка математической тепловой модели КНА. В соответствии с этой моделью определяются температурные поля на участках составных частей гамма-телескопа, которые возникают в условиях орбитального полёта. Далее эти поля используются в упругой модели для оценки требуемых температурных деформаций.

Особенностью гамма-телескопа является наличие в его конструкции переходной углепластовой рамы (материал КМУ-4К), на противо-

положных сторонах которой закреплены блок конвертера-трекера и блок позиционн-чувствительного калориметра соответственно.

В результате расчётов для наилучших условий теплообмена на участках А и Б рамы получены значения температуры «минус» 32°С и «минус» 25°С соответственно. Для рамы составлена конечно-элементная модель, в которой указанные значения использовались как граничные условия.

Разница в перемещениях граней А и Б составляет 0,0064 мм. Угол между нормалью к поверхности, перпендикулярной оси Х и нормалью к этой же поверхности после теплового воздействия составил 1,12 угл. сек. Для рамы с квадратным основанием со стороной 1154мм. Данный результат является приемлемым так как.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКЕ МИКРОСПУТНИКОВ

*В.В. Ширококов, А.Г. Басыров
Федеральное государственное казенное
военное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Снижение массы единичного МС позволяет формировать многоспутниковые орбитальные группировки, способные превзойти по эффективности существующие орбитальные группировки из традиционных КА при сравнимой стоимости. Расширение масштабов использования орбитальной группировки микроспутников (ОГ МС) влечет необходимость повышения автономности их функционирования. Перенос решения ряда задач с наземного комплекса управления (НКУ) на бортовой комплекс управления (БКУ) приводит к необходимости увеличения производительности бортовой вычислительной системы (БВС) КА и совершенствования подходов к построению и организации функционирования ОГ и БКУ КА. Достижимое повышение автономности функционирования ОГ МС приводит к уменьшению нагрузки управления и существенному снижению затрат на эксплуатацию НКУ КА, но при этом наращивание производительности БВС КА вступает в противоречие с ограничениями по массе, энергозатратам, требованиям по надежности, предъявляемым к бортовой аппаратуре. Нарращиваемые ресурсы БВС не будут использова-

ны в полной мере, а будут востребованы лишь на относительно коротких интервалах функционирования КА.

Решение отмеченного противоречия видится на путях применения подхода, положенного в основу технологии предоставления информационно-вычислительных ресурсов по запросу как услуги, называемой «облачными вычислениями». Перенос части вычислений будет осуществляться на основе модели «клиент-сервер». Данный подход позволяет минимизировать требования к аппаратно-программным ресурсам клиента, перенося часть информационно-вычислительной нагрузки на центры обработки данных (ЦОД). При организации ОГ МС в роли КА – «клиента» будет выступать БВС отдельного МС, а в роли ЦОД – один или несколько выделенных КА – «серверов» (КАС) с БВС высокой производительности. При этом существенно сокращаются требования к аппаратно-программным средствам БВС МС и повышается степень использования ресурсов КАС.

Для реализации предлагаемого подхода необходимо решить ряд задач: обоснование состава и баллистического построения ОГ МС с учетом взаимодействия МС и КАС;

обоснование структуры и характеристик БВС КАС и БВС МС;

обоснование распределения целевых задач между БВС КАС и МС;

обоснование и оптимизация объема данных, передаваемых между МС и КАС;

планирование межспутникового информационного обмена;

планирование параллельного вычислительного процесса в БВС КАС;

разработка системного и прикладного ПО, учитывающего особенности функционирования ОГ КА, включая разработку протоколов межспутникового обмена.

В отличие от классической задачи распределения ресурсов в информационно-вычислительной сети в ОГ МС необходимо учитывать:

ограниченные интервалы времени для передачи информации между МС и КАС, а также с БКУ КАС на НКУ;

изменяющуюся пропускную способность межспутниковых каналов связи, обусловленную изменяющимся взаимным положением МС и КАС;

дестабилизирующие факторы космического пространства и энергетические ограничения для функционирования БВС КАС и реализации межспутниковых каналов связи.

Для реализации данной концепции ОГ должна состоять из одного или нескольких КАС категории средней или тяжелой спутниковой платформы и множества КА категории легкой спутниковой платформы («клиентов»). В качестве основных «серверов» необходимо использовать высокопроизводительные бортовые вычислительные средства на основе параллельных вычислительных систем, функционирующих в реальном масштабе времени. Для управления вычислительными ресурсами целесообразно использовать UNIX подобную операционную систему серверного типа.

Для работы КАС с множеством КА-«клиентов» в информационно-вычислительной сети ОГ МС необходимо использовать многоканальные межспутниковые высокоскоростные средства обмена информации. В качестве межспутникового канала будут применяться линии радиосвязи или оптические линии связи, по которому будет передаваться информация о техническом состоянии КА (телеметрия), запросы на предоставление информационно-вычислительных ресурсов, исходные данные и другая информация. Для реализации высокой пропускной способности можно применять современные сетевые технологии, используемые в глобальной сети.

Выполнение возложенной задачи $\Psi = \{\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n\}$ на КА-«клиент» в соответствии с предназначением осуществляет программа, состоящая из n подзадач. Входными данными программы является информация $V_{\text{вх}} = v_1$, поступающая с входных устройств, а выходными данными $V_{\text{вых}} = v_{n+1}$ является результат выполнения программы, который затем передается на НКУ. Перенос части вычислений с борта КА – «клиента» на КА – «сервер» разделяет выполнение программы на две части. Первая часть подзадач $\Psi(i), i \in (1, \dots, k)$ выполняется на БВС КА α до момента выполнения i -ой подзадачи, затем результат выполнения k -ой подзадачи передается по каналу связи на БВС КА β и продолжается обработка подзадач $\Psi(i), i \in (k + 1, \dots, n)$. После обработки данных в БВС КА β результат передается на НКУ. Схема распределенной обработки программы в БВС КА α и БВС КА β представлена на рис. 1, где $T_{\alpha \text{ пам.}}$, $T_{\beta \text{ пам.}}$ – время задержки записи-чтения данных с памяти, установленной на КА α и β , p_i – объем памяти, занимаемый программой для выполнения i -ой подзадачи на борту КА, t_i – длительность монопольного решения i -ой подзадачи на борту КА при входных данных v_i , $E(\Psi_i)$ – потребляемая процессором мощность БВС КА при выполнении i -ой подзадачи.

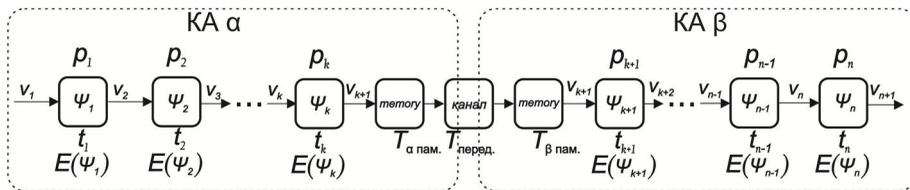


Рис. 1. Схема выполнения задачи

Совокупность КАС и каналов связи образуют вычислительное облако. Данная организация обеспечит масштабируемость системы. Основными задачами КАС в облаке будут являться:

- предоставление необходимых вычислительных и информационных ресурсов по запросу других КА ОГ;
- управление ОГ КА в автоматическом режиме;
- организация взаимодействия и распределение задач между КАС;
- организация связи и обмена информацией с ОГ КА и наземной составляющей;
- коммутация и ретрансляция связи между КА и наземной составляющей при отсутствии прямой видимости КА.

Использованием нескольких КАС достигается резервируемость системы, т. е. сохранение функциональности ОГ при потере одного или нескольких «серверов». При появлении новых КА-«клиентов», благодаря гибкости облака, КАС в автоматическом режиме производят настройку каналов для предоставления необходимых ресурсов. Кроме того наличие нескольких КАС при рациональном их расположении на орбите повышает доступность ресурсов вычислительного «облака» в каждый момент времени.

Таким образом, предложенная организация распределенной обработки информации по запросу в орбитальной группировке микроспутников является перспективной и позволяет повысить оперативность, автономность и другие характеристики ОГ КА.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ АГРЕГАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

А.А. Демьянов, И.О. Левкович, Б.Е. Павлов
 Федеральное государственное унитарное предприятие
 «Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе»
 (г. Санкт-Петербург)

Космический аппарат (КА) состоит из множества сложнейших систем, которые в свою очередь включают в себя множество агрегатов и приборов. Одним из важнейших этапов в жизненном цикле КА являются комплексные электрические испытания.

Управление ходом комплексных электрических испытаний является трудоемким процессом, который заключается в отслеживании и анализе данных, отражающих текущее состояние объекта испытаний (ОИ). Постоянная доступность для специалистов актуальной информации о состоянии ОИ дает возможность оценить его текущее состояние, а слежение за динамикой изменений конкретных его характеристик позволяет выявлять тенденции развития испытаний и спрогнозировать их развитие в будущем. Таким образом, обладая всей полнотой сведений о состоянии ОИ и его элементов в статике и динамике, специалисты могут принимать грамотные (адекватные) решения по мерам управления испытаниями КА, тем самым снижается энтропия (априорная неопределенность), в результате специалисты принимают более грамотные, аргументированные, взвешенные решения по квазиоптимальному управлению испытаниями ОИ.

Для решения подобной задачи возможно использование баз данных (БД). Однако наиболее актуальной проблемой в данной задаче является не только и не столько проектирование и наполнение БД, сколько интегрированный взгляд на сложный объект управления в целом, проведение комплексного анализа собранных сведений и извлечение из огромного объема детализированных данных некоторой полезной информации.

Для достижения основной цели необходимо решить следующие задачи:

- обеспечение инвариантности по отношению к объекту контроля;
- универсальность способа отображения представлений различных аспектов;
- кроссплатформенность;
- построение единой информационной области;
- обеспечение категоризации информации;
- обеспечение доступа к единой информационной среде;
- проектирование интуитивно понятного интерфейса;
- реализация каркасно–модульной архитектуры системы.

Разработка и внедрение такой системы обеспечит:

- возможность получать потребную актуальную информацию о ходе испытаний одновременно нескольким пользователям;
- в режиме реального времени добавлять, изменять хранящуюся информацию;
- уменьшение времени при поиске необходимой информации;
- интегрированный поиск и извлечение накопленных данных;
- сократит время обработки, сбора, структурирования и усреднения информации;
- уникальность информации, т.к. вся информация собирается в одном месте и не имеет дубликатов.

Все вышеперечисленные требования были учтены и реализованы в программном комплексе учета электрических испытаний. Система реализована на программных продуктах MySQL, Apache, PHP.

Перспективное развитие данной системы заключается в создании экспертной системы использующей накопленные знания.

Цель ее создания – выработка стратегии проведения испытаний ОИ – при возникновении отклонений от штатных режимов их проведения, испытаний описанных в конструкторской документации. Для достижения поставленной цели необходимо:

- определить состав экспертов;
- провести содержательный анализ проблемной области, выявить используемые понятия и их взаимосвязи, определить методы решения задачи;
- выбрать экспертную систему (ЭС), определить способ предоставления всех видов знаний, формализовать основные понятия, определить способы интерпретации знаний и прочее.

Вышеперечисленные решения формируют так называемые этапы разработки экспертных систем: идентификацию, концептуализацию, формализацию, выполнение, тестирование, опытную эксплуатацию.

СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ КОМАНДНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.В. Черноусов, А.В. Кузовников, В.Г. Сомов
АО «Информационные спутниковые системы»
имени академика М.Ф. Решетнева»
(г. Железногорск Красноярского края)*

Предлагается использование вейвлет-модулированного широкополосного сигнала для передачи командной информации в системах ДЗЗ. Проведена оценка эффективности предложенного способа.

Ключевые слова: вейвлет, широкополосный сигнал, ФМ ШПС, ВМ ШПС, помехоустойчивость, имитостойкость.

В связи со значительным ростом числа спутниковых систем, все более актуальной становится проблема обеспечения надежного управления космическим аппаратом (КА) посредством служебных команд в условиях сложной радиоэлектронной обстановки. Системы связи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) не являются исключением.

Обеспечение гарантированного приема КА ДЗЗ команд с земли можно реализовать различными способами. Одним из наиболее перспективных способов является применение широкополосных сигналов (ШПС), обладающих как повышенной помехозащищенностью, так и имитостойкостью и позволяющих предохранять передаваемую информацию от несанкционированного доступа.

Для формирования ШПС используются методы непосредственного расширения спектра путем кодирования сигнала с использованием псевдослучайных последовательностей (ПСП).

В случае необходимости дополнительного увеличения ширины полосы частот, занимаемой сигналом (по сравнению с классическим методом расширения) возможно применение специальных функций – вейвлетов.

Более подробно механизм формирования вейвлет-модулированного широкополосного сигнала (ВМ ШПС) описан в [1].

Для оценки эффективности предлагаемого метода передачи служебной информации было проведено моделирование работы системы в условиях наличия широкополосных помех. Результаты моделирования представлены на рисунке.

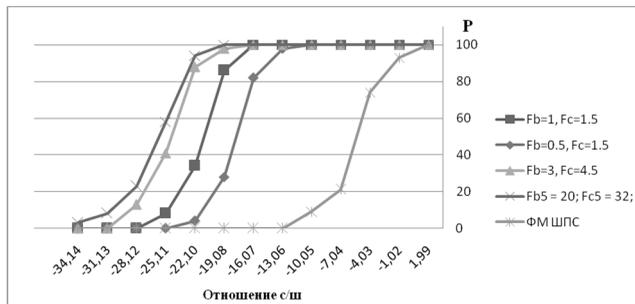


Рис. Зависимость вероятности правильного приема ВМ ШПС от отношения сигнал/шум при присутствии широкополосной помехи.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что при одинаковых начальных условиях наилучшей относительной помехозащищённостью обладает сигнал, модулированный вейвлетом Шеннона со значениями $F_b=20$; $F_c=32$.

Другой особенностью ВМ ШПС является их повышенная имитостойкость. Для сравнительного анализа предложенных способов формирования сигнала была посчитана вероятность навязывания и безопасное время работы. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Имитостойкость сигналов

Алгоритм формирования	Безопасное время работы, сек				Вероятность навязывания сигнала
	Длина ПСП				
	32	64	128	256	
ФМ ШПС	3,1E-4	6,3E-4	1,3E-3	2,5E-3	1,6E-1
ВМ ШПС	4,69	9,53	1,92E+1	3,86E+1	1,1E-5

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод о том, что наибольшей имитостойкостью, а значит, наилучшей способностью противостоять имитационным помехам обладает ВМ ШПС.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что ВМ ШПС обладает рядом преимуществ по сравнению с классическими методами формирования сигнала и, в случае необходимости, может использоваться для передачи командной информации в КА ДЗЗ.

МЕХАНИЗМ СИСТЕМНОГО ВЗАИМНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ В МНОГОКОМПЛЕКСНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

И.В. Ашарина

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

При организации многозадачных параллельных вычислений в многомашинных вычислительных системах (МВС) и сетях ЦВМ одной из важнейших является задача достижения согласованности действий различных ЦВМ системы в условиях неодинаковой базовой информации в этих ЦВМ и возникновения допустимых неисправностей системы. Такая согласованность обеспечивается распределенным механизмом взаимного информационного согласования (ВИС) путем формирования в каждой исправной ЦВМ системы одинаковой информации, содержащей правильную базовую информацию всех исправных ЦВМ системы. Процесс ВИС в системе представляет собой многораундный обмен индивидуальными согласуемыми значениями данных между пронумерованными с единицы до n ЦВМ.

Рассматривается задача в следующей постановке. Задано некоторое множество $Z=[z_1, z_2, \dots, z_l]$ взаимодействующих задач, для каждой из которых определен диапазон значений уровня требуемой отказоустойчивости. Для каждой пары взаимодействующих задач также определен уровень отказоустойчивости среды этого взаимодействия. Имеется МВС или сеть ЦВМ известной структуры. Отказоустойчивое выполнение каждой задачи должно достигаться ее **репликацией**, которая состоит в решении копий этой задачи на нескольких ЦВМ, составляющих комплекс, с обменом копиями результатов и выбором правильного результата в предположении, что только малая часть ЦВМ комплекса может быть неисправной. **Комплекс** должен удовлетворять определенным структурным требованиям, при которых каждая исправная ЦВМ комплекса может определить вектор согласованных значений всех ЦВМ этого комплекса такой, что согласованное значение, вычисленное для каждой исправной ЦВМ, совпадает с ее согласуемым значением. Для решения поставленных задач, в МВС должно быть выделено l пронумерованных непересекающихся комплексов и **сред межкомплексного взаимодействия** между ними, удовлетворя-

ющих заданным уровням отказоустойчивости, а также обеспечивающих возможность достижения системного ВИС (СВИС).

Процесс достижения СВИС осуществляется как два последовательных этапа: 1) внутрикомплексное информационное согласование (ВКИС) для каждого из комплексов, при котором в каждой исправной ЦВМ комплекса вычисляется одинаковый вектор согласованных (ВСЗ) этого комплекса (ВСЗК), 2) этап СВИС, включающий межкомплексный обмен согласуемой информацией по средам межкомплексного взаимодействия и вычисление в каждой исправной ЦВМ каждого комплекса одинакового и правильного ВСЗ системы (ВСЗС).

Структурные свойства выделенных комплексов и сред межкомплексного взаимодействия, составляющих среду СВИС, позволяют построить алгоритм системного ВИС, и поэтому наличие таких комплексов и сред межкомплексного взаимодействия является достаточным условием достижения СВИС в рассматриваемой многокомплексной системе.

Алгоритм ВКИС состоит из следующих основных этапов: 1) внутрикомплексное формирование согласуемого значения каждой ЦВМ каждого комплекса и передача их ЦВМ, непосредственно участвующим в процессе ВИС, 2) выполнение алгоритма многоаундного ВИС и вычисление ВСЗК в ЦВМ комплекса, 3) передача ВСЗК ЦВМ, непосредственно не участвующим в процессе ВИС.

Представленный механизм необходим при организации вычислений с заданной достоверностью в сетевых и распределенных системах, в grid- и «облачных» вычислениях, а также при проектировании небслуживаемых сетевых и распределенных гарантоспособных [6] вычислительных и управляющих систем.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО АЛГОРИТМА СИСТЕМНОГО ВЗАИМНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ

И.В. Ашарина

ОАО «НИИ «Субмикрон» (г. Москва, г. Зеленоград)

Механизм системного взаимного информационного согласования строится на основе распределенного алгоритма, состоящего из множества индивидуальных алгоритмов, выполняемых на каждой ЦВМ многомашиной вычислительной системы (МВС).

Для обеспечения системного взаимного информационного согласования (СВИС) необходима синхронизация работы всех ЦВМ многокомплексной системы с точностью до пронумерованных **квантов**, т.е. периодов обмена сообщениями между соседними ЦВМ, включающих возможные действия по обработке внутри ЦВМ сообщений, полученных в предыдущих квантах, формированию сообщений, подлежащих передаче из этой ЦВМ в данном и последующих квантах, и передаче требуемых сообщений этого кванта из рассматриваемой ЦВМ к соседним ЦВМ. В первом кванте процесса СВИС каждая ЦВМ системы формирует **собственное согласуемое значение**. Согласуемые значения отдельных ЦВМ передаются между ЦВМ в процессе СВИС в составе **сообщений** и называются **элементами сообщений**.

При подготовке процесса СВИС для каждого сообщения в каждом кванте в памяти каждой ЦВМ-передатчика системы выделяется специально организованная область памяти ЦВМ – **выходной контейнер** для передачи сообщения и в памяти каждой ЦВМ-приемника **входной контейнер** для приема сообщения. Контейнер состоит из одной или более **ячеек контейнера**, каждая из которых предназначена для хранения одного элемента сообщения. Состав и последовательность согласуемых значений (элементов) в сообщении определяют его **формат** и формат соответствующего контейнера. Кроме того, в каждой из ЦВМ, принадлежащей какому-либо комплексу, формируется контейнер для хранения вектора согласованных значений данного комплекса (ВСЗК) – **контейнер ВСЗК**, и контейнер для хранения вектора согласованных значений системы (ВСЗС) – **контейнер ВСЗС**, содержащий ВСЗ всех комплексов системы.

Построение распределенного алгоритма СВИС начинается с работы **Алгоритма построения контейнеров**, в процессе которой в каждой ЦВМ системы формируются все необходимые контейнеры для каждого кванта.

После завершения работы **Алгоритма построения контейнеров** выполняется **Алгоритм связывания**, в процессе которого для каждой ячейки каждого выходного контейнера, контейнера ВСЗК и контейнера ВСЗС в каждой ЦВМ системы определяется алгоритм, который выполняет действия, предписанные данной ЦВМ для данного кванта.

Алгоритм выполнения СВИС в первом кванте процесса СВИС инициализирует выполнение индивидуальных алгоритмов СВИС во всех

ЦВМ системы. Индивидуальный алгоритм СВИС в каждой ЦВМ системы анализирует номер кванта формирования элемента каждой ячейки каждого выходного контейнера, контейнера ВСЗК и контейнера ВСЗС этой ЦВМ и при равенстве этого номера номеру текущего кванта выполняет приписанный данной ячейке контейнера алгоритм формирования этого элемента и заносит элемент в ячейку контейнера. Индивидуальный алгоритм в каждой ЦВМ системы завершает свою работу после того, как ВСЗС будут построены в каждой ЦВМ системы в предположении, что все они исправны.

В результате работы распределенного алгоритма выполнения СВИС, в каждой исправной ЦВМ системы формируется одинаковый вектор согласованных значений системы, такой, что для каждой исправной ЦВМ вычисленное согласованное значение совпадает с ее согласуемым значением.

ОЦЕНКА КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ СЛОЖНОГО ИЗДЕЛИЯ

*И.И. Чупринский, С.М. Обросов, Ю.Г. Поздняков
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе»
(г. Санкт-Петербург)*

Комплексные электрические испытания сложных изделий, в частности, космических аппаратов (КА), позволяют сделать вывод о том, что различные изделия имеют качественные отличия, которые характеризуют «сложность их испытаний» в процессе изготовления. Данная характеристика изделия называется «контролепригодностью». Согласно ГОСТ 19919-74 она определяется как свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами.

В настоящее время ядром испытательного оборудования является автоматизированный испытательный комплекс (АИК), который объединяет всё используемое при электрических испытаниях оборудование в единое целое аппаратно-программной связью для реализации автоматизированного испытательного процесса. В данной работе предлагается рассмотреть зависимость контролепригодности, при проведении электрических испытаний от суммы испытательных операций (представленных в виде макрокоманд), выполняемых АИК.

Каждое из испытуемых изделий можно характеризовать контрольной сложностью, величину которой следует определять по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^{i=N} p_i n_{i \text{ макр.}}$$

где: $n_{i \text{ макр.}}$ – число макрокоманд в i -той испытательной программы (ИП) из состава испытательного программного обеспечения (ИПО);
 N – число ИП программ в составе ИПО;
 p_i – число повторений i -той ИП при выполнении программы испытаний изделия в предположении, что все позиции испытательного процесса выполнены без отступления от испытательной программно-методической документации (ПМД), т. е. это, своего рода, "идеальная" контрольная сложность.

Необходимо отметить, что при любых испытаниях сложных систем, имеющих в своём составе бортовую вычислительную систему (БВС), часть испытательных задач выполняется с использованием бортового программного обеспечения (БПО), которое модифицируется на этапах испытаний путем записи в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) БВС технологических испытательных программ, так называемых программ из ОЗУ (ПрОЗУ). Учитывая это, предлагается использовать коэффициент для определения статистической величины контрольной сложности, который выражается следующей формулой:

$$S = 1 + Q_{\text{ОЗУ}} / Q_{\text{ИПО}}$$

где $Q_{\text{ОЗУ}}/Q_{\text{ИПО}}$ – отношение суммарного объёма памяти в ОЗУ АИК, занимаемого текстами ПрОЗУ, которые записываются в ОЗУ АИК перед испытаниями, к суммарному объёму памяти ИПО, записываемому также в ОЗУ АИК.

Кроме того, реальное выполнение ИП будет зависеть от разброса параметров бортовой аппаратуры (БА) испытуемого изделия и испытательного оборудования (наличие в программе ветвлений и циклов). Следовательно, при наличии достаточно большой серии одинаковых изделий (изготовленных по одной и той же технологии) можно определить статистическую величину контрольной сложности (десятичный логарифм исключает недостаток работы с большим числом):

$$C_{\text{СТ}} = \lg \frac{1}{m} S \sum_{j=1}^{j=m} \sum_{i=1}^{i=N} p_{ij} n_{ij \text{ макр.}}$$

где: m – число изделий в серии, а $j=1, 2, 3, \dots, m$;

p_{ij} – число повторений i -той ИП при выполнении программы испытаний j -того изделия;

n_{ij} – среднее число макроопераций выполненных в i -той ИП при реализации программы испытаний j -того изделия.

Имея величину статистической контрольной сложности изделия из серии изделий, испытываемых по одной и той же программе, целесообразно оценивать контролепригодность испытываемого изделия величиной, обратно пропорциональной величине его контрольной сложности. При этом изделие с меньшей контролепригодностью будет иметь величину контрольной сложности большую по сравнению с изделием, имеющим контролепригодность выше, т.е. чем сложнее изделие, тем меньше его контролепригодность.

Чтобы величина контролепригодности, для изделий из рассматриваемой серии, выражалась числом, удобным для сравнения изделий по этому критерию, предлагается определять её по формуле:

$$G_{iCT} = K \frac{C_{CT \max}}{C_{CT i}}$$

где $C_{CT i}$ – статистическая контрольная сложность i -того испытываемого изделия в серии изделий, испытываемых по одинаковой программе;

$C_{CT \max}$ – статистическая контрольная сложность изделия из рассматриваемой серии, имеющего наибольшую контрольную сложность;

K – это выбранный для оценки контролепригодности изделия коэффициент.

При оценке контролепригодности по этой формуле, для изделия, имеющего максимальную контрольную сложность, его величина будет равна K , а все изделия из рассматриваемой серии будут иметь контролепригодность выше. Приняв, например, $K=10$, с учётом того, что контрольные сложности изделий в рассматриваемой серии отличаются на величину не более, чем в 10 раз, даёт возможность иметь 100 градаций изделий по их контролепригодности, если приводить её величину, полученную по предложенной формуле, к целому числу.

Внедрение предложенных в статье способов оценки контролепригодности сложных изделий, которые ранее отсутствовали, позволит проводить количественное сравнение различных изделий по этому качественному критерию.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ В ИНФОРМАЦИИ С МСУ-МР КА «МЕТЕОР-М»

*Р.В. Андреев, А.А. Зайцев,
Д.С. Серебряков, А.Г. Фролов
ОАО «Российские космические системы»
(г. Москва)*

В настоящее время актуальной задачей является наращивание отечественной группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. В июле 2014 года был запущен очередной КА информационного комплекса оперативного гидрометеорологического мониторинга Земли «Метеор-ЗМ» с аппаратурой МСУ-МР на борту. В процессе летных испытаний аппаратуры МСУ-МР было выявлено наличие квазирегулярных помех (полос) на видеоизображениях 6-го канала. Фрагмент изображения, в котором присутствуют помехи, представлен на рис. 1.

В ходе летных испытаний было установлено, что причиной возникновения данных квазирегулярных помех является аппаратура МТВЗА и БИС-МВ, установленная на КА. В работе проведен подробный анализ моментов появления и исчезновения помехи. Полосы на видеоинформации 6-го канала появляются при одновременной работе БИС-МВ и привода МТВЗА. При работающем приводе МТВЗА и отключенной аппаратуре БИС-МВ на видеоинформации можно обнаружить полосы схожего периода, но значительно меньшие по амплитуде. Это говорит о том, что первоисточником помехи является привод МТВЗА, а аппаратура БИС-МВ является ее усилителем.

В данной работе также представлен алгоритм устранения квазирегулярных помех. Разработанный алгоритм включен в программы наземной обработки видеоинформации с аппаратуры МСУ-МР.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ДИЭЛЕКТРИКА ПРИ ПОСТРОЕНИИ МИНИАТЮРНОЙ БОРТОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ

*В.С. Бочаров, А.Г. Генералов, Э.В. Гаджиев
ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики»
(г. Истра)*

Активный процесс миниатюризации космической техники, вызванный переходом к проектированию и внедрению малых космических

аппаратов (КА) вместо больших КА, привел к миниатюризации и бортовой антенной системы.

Для построения таких антенных систем предлагается применение микрополосковых антенн (МПА). На практике рассмотрен вариант построения такой системы для малого КА «Ионосфера» № 3, № 4. Представлена антенная система КА «Ионосфера» № 1, № 2.

Так как к бортовым антенно-фидерным устройствам (АФУ) предъявляются жесткие требования по массогабаритным показателям, то необходимо обеспечить минимально возможные габариты АФУ, сохранив при этом высокие энергетические показатели (коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления).

При построении бортовых МПА метрового и дециметрового диапазонов возникает необходимость миниатюризации этих антенн. В предложенном способе миниатюризации МПА метрового диапазонов.

Для миниатюризации МПА дециметрового диапазона предлагается следующий вариант. Как известно, габариты МПА, при построении квадратной прямоугольной антенны, определяются по следующему соотношению:

$$w = \frac{c}{2f_p} \sqrt{\frac{2}{(\epsilon+1)}} \quad (1)$$

где f_p – резонансная частота, ϵ – значение диэлектрической проницаемости, c – скорость света.

При анализе (1) очевидно, что миниатюризацию МПА можно провести только при увеличении значения диэлектрической проницаемости.

Был проведён анализ существующей на сегодняшний день линейки СВЧ диэлектриков, которые можно использовать в качестве подложки МПА. В качестве подложки миниатюрной МПА дециметрового диапазона предлагается использовать фольгированный листовой арилокс наполненный (ФЛАН).

Приведены результаты моделирования МПА, у которой в качестве подложки применён ФЛАН. Полученные результаты удовлетворяют техническому требованию на антенную систему КА «Ионосфера».

Таким образом, в работе приведён обзор существующих в настоящий момент СВЧ диэлектриков и показаны результаты моделирования

миниатюрной МПА дециметрового диапазона с применением ФЛАН в качестве материала подложки антенны.

**АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ И
ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМОВ
РАСКРЫТИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Л.И. Еремин, И.Ю. Пугач

*ОАО «Научно-производственная корпорация
«Космические системы мониторинга, информационно-управляющие
и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна»
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ») (г. Москва)*

Для достоверного математического моделирования процесса раскрытия солнечной батареи космического аппарата, необходимо экспериментальное определение параметров ее механизмов раскрытия (жесткость пружин, демпфирование в шарнирах). Полномасштабный эксперимент по раскрытию солнечной батареи (СБ) требует создания сложного подвеса, конструкция которого оказывала бы минимальное влияние на процесс раскрытия, и в настоящее время на нашем предприятии не реализован. В докладе предложен подход, позволяющий уточнить математическую модель процесса раскрытия на основе частичного эксперимента, не требующий специального оборудования. Эксперимент проводится только с одной створкой. Механизмы раскрытия между всеми створками идентичны, что позволяет распространить полученные результаты на всю конструкцию СБ.

Определение жесткости пружин шарнирных механизмов осуществляется путем определения крутящего момента в зависимости от угла раскрытия створки. Момент находится посредством измерения силы, необходимой для удержания створки в неподвижном состоянии. Значение момента фиксируется при различных значениях угла раскрытия створки, после чего проводится линейная аппроксимация полученных данных. Значение жесткости пружины определяется путем дифференцирования аппроксимирующей функции.

Для **определения параметров трения** в механизмах раскрытия с помощью специального датчика угла поворота фиксируется зависимость угла раскрытия крайней створки от времени. Дальнейшая задача по определению параметров трения сводится к составлению дифференциального уравнения (ДУ) движения створки и подбора таких ко-

эффективных этого уравнения, чтобы его решение было близким к экспериментально полученной зависимости. Дифференциальное уравнение движения створки имеет следующий вид:

$$J\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + M_{\text{тр}} - c(\pi + \alpha - \varphi) = 0, \quad (1)$$

где J – собственный момент инерции створки, φ – координата, $M_{\text{тр}}$ – момент постоянной силы трения, b – коэффициент вязкого трения, c – суммарная жесткость двух пружин, α – угол предварительной затяжки пружин.

Неизвестные параметры в (1) – коэффициент вязкого трения b и момент $M_{\text{тр}}$ постоянной составляющей силы трения. Необходимо найти такие величины этих параметров, при которых решение уравнения (1) будет близким к экспериментальным данным.

Вышеизложенный эксперимент повторяется несколько раз с различными параметрами предварительной затяжки пружин и с различными присоединенными моментами инерции. На основе полученной выборки определяются искомые параметры, значения которых используются при дальнейшем моделировании.

Предлагаемый алгоритм реализован при отработке КА «Ионосфера». Определенные в ходе эксперимента параметры использованы для уточнения математической модели процесса раскрытия СБ. В ходе моделирования процесса раскрытия с учетом уточненных данных определены время полного раскрытия СБ, последовательность раскрытия створок и моменты времени срабатывания замков, силы и моменты в створках и шарнирах, влияние процесса раскрытия на кинематику КА. Моделирование процесса раскрытия с учетом полученных данных позволило провести уточненный прочностной расчет несущих элементов конструкции СБ и дать рекомендации по величине необходимой предварительной затяжки пружин.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИПОЛЯРНОГО МИКРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ

В.Я. Геча, А.Б. Захаренко, А.К. Надкин

*ОАО «Научно-производственная корпорация
«Космические системы мониторинга, информационно-управляющие
и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна»
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ») (г. Москва)*

Одним из возможных исполнений привода для антенно-фидерной системы является привод с применением униполярной электрической микромашины (УЭМ). Первый униполярный двигатель предложил Барлоу в 1824 г. По сравнению с другими электрическими двигателями двигатель униполярного типа имеет преимущества, главными из которых являются высокое использование активных материалов, как электрических, так и магнитных, простота конструкции, возможность питания от источника постоянного тока напрямую без применения инверторов и преобразователей, высокий КПД и малый относительный вес.

Однако, несмотря на указанные преимущества, проектирование и расчет УЭМ имеет ряд особенностей и сложностей в виду малой изученности машин данного типа и некоторых конструктивных особенностей. Жесткая взаимная связь главных размеров УЭМ, определяемая при заданных соотношениях значений индукции в магнитопроводе ротора и в воздушном зазоре, величиной конструктивного коэффициента λ , не позволяет увеличивать мощность за счет значительного увеличения длины якоря (полюса) при неизменном диаметре якоря, как это делают в биполярных машинах. Исходными величинами для проектирования униполярного электродвигателя (УЭД) являются мощность на валу P_n , скорость вращения ротора n , напряжение питания двигателя U_n и при независимом возбуждении – напряжение питания обмотки возбуждения U_v . При проектировании на максимальный КПД задаваться следует только P_n или M_n , остальные параметры должны определяться в процессе проектирования.

Для увеличения мощности в УЭМ можно увеличивать число полюсов $2p$. Значение индукции в зазоре УЭМ B_g выбирается относительно большим, т.к. ее величина не ограничивается насыщением зубцового слоя, как в машинах с обмотками на якоре. Величина ЭДС, тока и мощности УЭМ ограничиваются допустимой по условию прочности ротора скоростью $v=\pi Dn$ или допустимой по условию работоспособности контакта скоростью. Значения индукции в магнитопроводах статора и ротора ограничиваются насыщением магнитопровода и требуемыми пределами регулирования напряжения УЭМ. Плотности токов статора и ротора выбираются по соображениям нагрева машины. Достаточные данные для оптимальной величины коэффициента использования отсутствуют.

Электромагнитный момент характеризует главные геометрические размеры двигателя, т. к. при заданной скорости вращения ротора M_3 определяет его расчетную мощность. Уравнения для M_3 выводятся из уравнений электродинамики (1):

$$\begin{aligned} j &= \gamma(-\text{grad } U^e + [V * B]) \\ \text{rot } B &= \mu j \\ dT_{3\varphi} &= [j * B] dv \\ dM_3 &= r dT_{3\varphi} \end{aligned} \quad (1)$$

Использование уравнений в данной форме приводит к расхождению с экспериментальными данными. Первое уравнение системы должно быть переписано в следующем виде: $j = -\gamma \text{ grad } U^e$ – закон Ома в дифференциальной форме. При выводе формул для определения момента принимаются следующие допущения: магнитный поток распределен равномерно по сечению цилиндра; магнитная индукция постоянна по всей длине полюса в рабочем зазоре, отсутствует выпучивание; рабочий ток равномерно распределен по сечению ротора; величины γ и μ постоянны во всех точках цилиндрического ротора, не учитывается тепловое состояние и насыщение.

Рассмотрим следующие компоненты в цилиндрических координатах: $j = j_z$, B_r , B_z и B_φ . B_r и B_z являются компонентами поля возбуждения, а B_φ – реакции якоря. Опуская промежуточные выкладки, имеем вращающий момент $M_{3\varphi}$, образуемый тангенциальной составляющей электромагнитной силы $dT_{3\varphi}$:

$$M_3 = \int_0^R r dT_{3\varphi} = 2\pi l j_z \int_0^R B_r r^2 dr \quad (2)$$

Для УЭМ со сплошным цилиндрическим ротором:

$$B_z = B_r = 4\Phi_\delta / (k_{\sigma p} \pi D^2) = 4 / k_{\sigma p} * l / D * B_\delta = 4 / k_{\sigma p} * \lambda_{\text{ч}} * B_\delta \quad (3)$$

где $k_{\sigma p}$ – коэффициент рассеяния активного участка ротора.

$$B_r = B_z \pi r^2 / (2\pi r l) = 1 / k_{\sigma p} * r / R * B_\delta \quad (4)$$

Тогда:

$$M_{\sigma 1} = \frac{2\pi}{k_{\sigma p}} l j_z B_{\delta} \int_0^R \frac{r^3}{R} dr = \frac{0,5\pi}{k_{\sigma p}} R^3 l j_z B_{\delta} = \frac{0,25}{k_{\sigma p}} V D j_p B_{\delta} \quad (5)$$

где $V = \pi D^2 l / 4$ – активный объем сплошного ротора.

Индекс 1 соответствует моменту под одним полюсом.

Т.к. ток якоря $I_a = \pi R^2 j_p$, а поток возбуждения под одним полюсом $\Phi_{\delta} = 2\pi R l B_{\delta}$, то

$$M_{\sigma 1} = I_a \Phi_{\delta} / (4\pi k_{\sigma p})$$

Т.к. $\Phi_{\delta} = 2\pi R^2 B_p k_{\sigma p}$, то

$$M_{\sigma 1} = j_p \Phi_{\delta}^2 / (4\pi k_{\sigma p}^2 B_p)$$

Полный момент многополюсной машины:

$$M_{\sigma} = m_e m_l M_{\sigma 1} \quad (8)$$

где m_e – число активных участков машины, включенных последовательно по напряжению; m_l – число активных участков, включенных параллельно (для увеличения рабочего тока). При 100% использовании $m_e m_l = 2p$.

Магнитный поток и ЭДС УЭМ определяются из следующих соотношений:

$$\Phi_{\delta} = S_{\delta} B_{\delta} = \pi D l B_{\delta} = \pi D^2 \lambda_{\mu} B_{\delta} = \lambda_{\mu} / \pi * B_{\delta} * (v/n)^2 \quad (9)$$

$$E = m_e n \Phi_{\delta} = \pi m_e n D^2 \lambda_{\mu} B_{\delta} = m_e / \pi * \lambda_{\mu} * B_{\delta} * v^2 / n \quad (10)$$

где $D = v / \pi n$; n [об/сек], v [м/сек].

Ток и линейная нагрузка:

$$I = S_p m_l j_p / k_l = \pi D^2 / 4 * j_p = 0.25 / \pi * m_l / k_l * j_p * (v/n)^2 \quad (11)$$

$$A = I/\pi D * k_I/m_I = I_{\text{я}}/\pi D \quad (12)$$

При параллельном возбуждении:

$I = m_I I_{\text{я}} - I_{\text{в}}$, $k_I = m_I I_{\text{я}}/I > 1$ – генераторный режим

$I = m_I I_{\text{я}} + I_{\text{в}}$, $k_I < 1$ – двигательный режим

При независимом и последовательном возбуждении:

$I = m_I I_{\text{я}}$ и $k_I = m_I I_{\text{я}}/I = 1$.

Под расчетной мощностью для УЭМ понимается электромагнитная мощность:

$$P_3 = Em_I I_{\text{я}} \quad (13)$$

которая в двигательном режиме связана с номинальной:

$$P_n = UI/\eta \quad (14)$$

$$P_n/P_3 = UI/Em_I I_{\text{я}} \eta$$

Основное расчетное уравнение УЭМ:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P_3}{\sigma_{\text{и}} \lambda_{\text{и}} n}} \quad (15)$$

$\sigma_{\text{и}}$ – коэффициент использования, характеризующий отношение расчетной мощности к активному объему УЭМ

$$\sigma_{\text{и}} = \pi^2 * 10^{-3} m_{\text{с}} m_I A B_{\delta} \text{ [кВт/(м}^3 \text{ об/сек)]}$$

При использовании УЭМ в качестве микромашины целесообразно выполнять систему возбуждения с использованием постоянных магнитов. Магнитоэлектрические униполярные машины имеют меньший относительный вес и габаритные размеры по сравнению с электромагнитными униполярными машинами. На рис. 1. представлена схема макета привода рефлектора АФС с микро УЭМ (привода по углу азимута АФС). На статоре 1 расположены постоянные магниты 4, создающие поле возбуждения машины, показанное пунктирными линиями со стрелками. К ротору 2 через систему катящихся токоподводов 3 подводится постоянный ток, взаимодействие которого с полем возбуждения приводит к возникновению вращающего момента, который передается на АФС. Управление частотой вращения ротора осуществляется с помощью регулирования тока якоря. Изменение поляриности

прикладываемого к токоподводам напряжения приводит к изменению направления вращения привода.

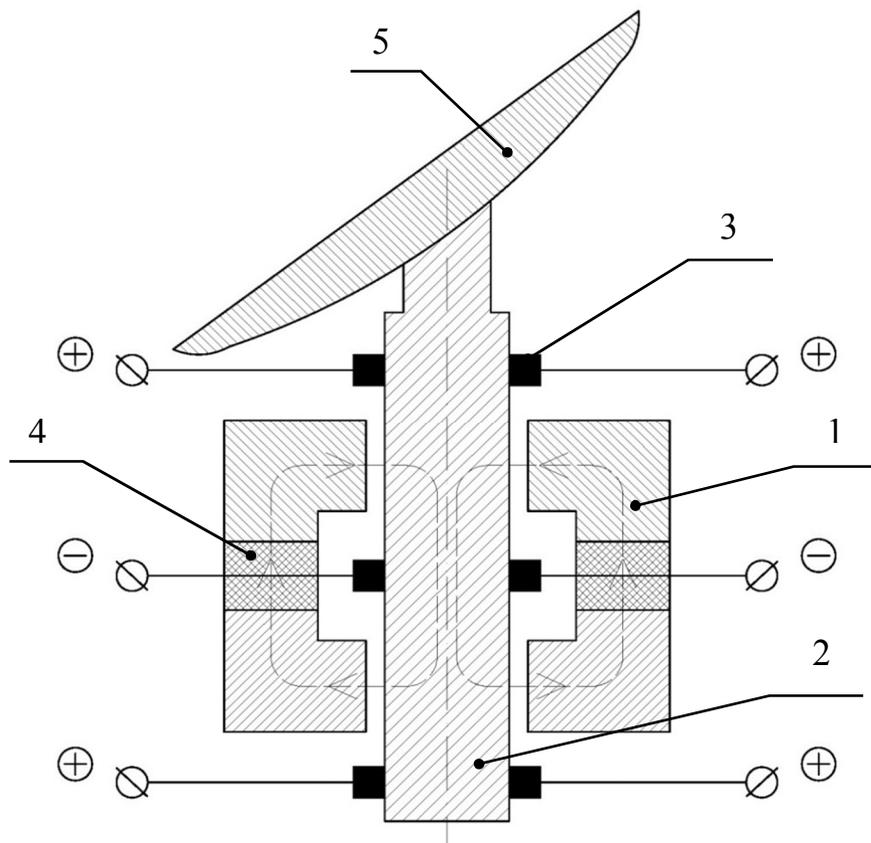


Рис. 1. Схема макета привода рефлектора АФС. 1 – статор; 2 – ротор; 3 – токоподводы; 4 – постоянные магниты; 5 – рефлектор АФС.

Выводы

1. Приведены основные расчетные соотношения, необходимые для проектирования УЭМ.
2. Предложена конструкция униполярной магнитоэлектрической микромашины для привода антенно-фидерной системы.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА КОМПЛЕКСА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ «ГАММА-400».

*Н.И. Постоюк, А.Б. Рускин,
П.В. Полтавец, В. Я. Зубцов
ОАО «Научно-исследовательский
институт электромеханики» (г. Истра)*

Система электропитания комплекса научной аппаратуры является одной из важнейших систем гамма-телескопа «ГАММА-400». От надежности ее работы ключевым образом зависит надежность и правильное функционирование всех энергозависимых систем, входящих в состав научной аппаратуры. Поэтому при разработке электрического интерфейса потребовался тщательный анализ и выбор различных технических решений, позволяющих обеспечить заданные технические требования.

В состав электрического интерфейса «ГАММА-400» входят: бортовой аппарат коммутации (БАК) и вторичные источники электропитания (ВИП). Конструктивно данные составные части выполнены в виде отдельных блоков, соединенных кабельной сетью.

Бортовой аппарат коммутации обеспечивает коммутацию входного бортового напряжения комплекса научной аппаратуры (КНА) 28В по 32 каналам питания составных частей гамма-телескопа. При этом из них 16 каналов основных и 16 – резервных. Максимальный ток по каждому из каналов составляет 10 А. Управление каналами электропитания осуществляется с помощью команд управления, поступающих от системы управления, сбора и хранения научной информации (ССНИ) КНА. Контроль работы БАК проводится на основе формируемой телеметрической информации в виде сухих контактов. Внешний вид блока БАК представлен на рис. 1. Геометрические размеры БАК 400x158x142 мм.



Рис. 1. Внешний вид БАК

Вторичные источники электропитания преобразуют входное напряжение 28В с каждого из 32 формируемых каналов БАК в напряжения питания КНА величиной 5В, 12В и 30В. Включение и выключение соответствующих вторичных источников питания осуществляется с помощью команд управления от ССНИ. Для получения заданных напряжений питания в ВИП были применены DC/DC преобразователи фирмы Interpoint. Данные преобразователи имеют защиту от перегрузок по току и гальваническую развязку входа и выхода, а также допускают работу в условиях открытого космического пространства. Основные технические решения при проектировании ВИП были направлены на обеспечение требуемого теплового режима DC/DC преобразователей. Геометрические размеры разработанного блока ВИП составляют 600x434x105 мм. Основой ВИП является алюминиевая плита толщиной 8 мм. Она обеспечивает рассеивание и отвод тепла от DC/DC преобразователей, максимальная мощность которых составляет 1600 Вт и КПД 87%, на поверхность системы обеспечения теплового режима (СОТР) гамма-телескопа «ГАММА-400». Для контроля температуры каждого DC/DC преобразователя в блоке ВИП установлены ряд датчиков температуры типа DS18B20, работающие по шине 1-Wire. Внешний вид блока ВИП представлен на рис. 2.



Рис. 2 Внешний вид ВИП

Для проведения лабораторно-отрабочных испытаний БАК и ВИП разработан имитатор релейных команд (ИРК), обеспечивающий формирование команд управления системой электропитания КНА, а также приема и индикации телеметрической информации, сформированной БАК и ВИП. Он состоит из двух частей: персонального компьютера (ПК) и блока переходных колодок (БПК). Разработано специальное программное обеспечение ИРК, работающее под управлением операционной системы Windows. Для контроля температуры DC/DC преобразователей в ИРК установлен адаптер 1-Wire-USB типа DS9490R и программное обеспечение Temp.Keerger.

Для обеспечения необходимого коэффициента нагрузки ВИП разработан блок нагрузок (БН), обеспечивающий различные токи нагрузки DC/DC преобразователей. Переключение нагрузок осуществляется с помощью ИРК в среде разработанного программного обеспечения.

Были проведены лабораторные испытания БАК и ВИП, которые подтвердили заданные технические характеристики электрического интерфейса «ГАММА-400» и правильность принятых технических решений.

МАЛОГАБАРИТНАЯ ДВУХЧАСТОТНАЯ ФАР СИСТЕМЫ ВТОРИЧНОГО РАДИОЛОКАТОРА

*С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин, Е.В. Овчинникова
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(г. Москва)*

В задачах разработки современных радиолокационных систем (РЛС) всё чаще предъявляются требования по обеспечению высокой

направленности излучения ФАР при малом уровне бокового излучения с учётом ограничений по массогабаритным параметрам. При этом современные антенные системы РЛС должны обеспечивать заданные характеристики в широкой полосе частот (либо в нескольких частотных диапазонах), а также иметь длительный срок эксплуатации (для отдельных элементов полотна – 10 – 15 лет).

В современных радиолокационных системах наравне с обзорной РЛС зачастую используется система вторичного радиолокатора (ВОРЛ), обеспечивающая возможность обмена информацией между «бортом» и «землёй». Организация этого информационного канала, передаваемая в нём информация и требования, предъявляемые к оборудованию ВОРЛ строго регламентированы Международной организацией гражданской авиации в Приложении 10 к Конвенции о международной гражданской авиации «Авиационная электросвязь».

В работе была поставлена задача разработки двухчастотной распределительной системы и полотна ФАР, способной обеспечить формирование суммарно-разностной ДН и канала подавления боковых лепестков (ПБЛ) в азимутальной плоскости, косекансной ДН в угломестной плоскости в секторе углов $-20^\circ \dots +50^\circ$, электрическое сканирование в азимутальной плоскости в секторе углов $\pm 45^\circ$, КСВ не более 1,5, при этом задано строгое ограничение размеров контейнера размещения ФАР по высоте не более 80 мм, и длительность срока службы не менее 10 лет.

В процессе разработки путём параметрической оптимизации на основе ряда прототипов была получена структура излучателя, представляющего собой пластинчатый уголкового широкополосный вибраторный излучатель, размещаемый на металлических стойках над экраном, имеющий коаксиальное питание. При КСВ < 1.5 полученная конструкция обеспечивает заданные характеристики в рабочих полосах частот обоих диапазонов. При требовании по КСВ < 1.7 излучатель перекрывает оба частотных диапазона (1, 1,5 ГГц). При этом в работе проведено исследование работы излучателя в условиях взаимодействия. В процессе исследования в составе малоэлементной квадратной решётки из 25 излучателей произведена оптимизация конструкции с учётом взаимодействия.

Помимо излучателя в работе проведён синтез трёх распределительных систем. На рис.1 приведены ДН, формируемые суммарным и раз-

ностным делителями мощности, а также ДН канала ПБЛ с учётом сканирования.

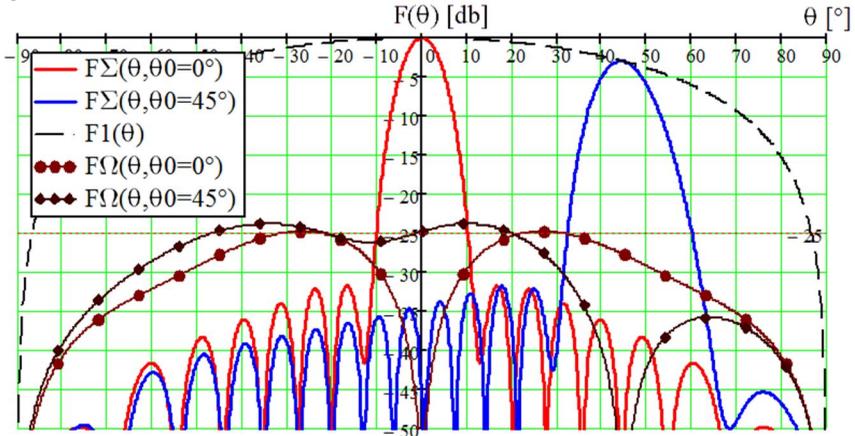


Рис.1. ДН суммарного канала и канала ПБЛ с учётом сканирования

На рис.2 приведена косекансная ДН, формируемая делителем мощности в угломестной плоскости. Процесс разработки топологий схем деления был совмещён с процессом многопараметрической оптимизации симплекс методом и методом градиентного спуска, позволившим обеспечить заданные требования по форме ДН и уровню входного КСВ в обоих частотных диапазонах с учётом точности технологии изготовления.

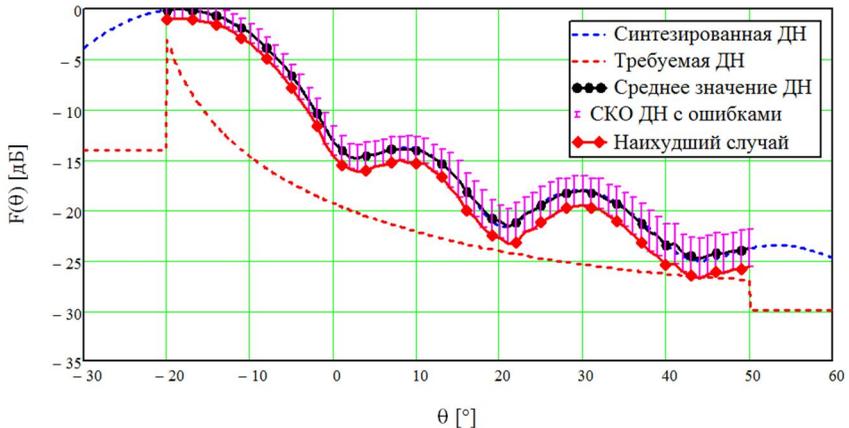


Рис. 2. Косекансная ДН с учётом технологических погрешностей изготовления

Таким образом, в работе разработана двухчастотная ФАР L -диапазона на единой излучающей, распределительной и фазирующей системе, имеющая канал подавления боковых лепестков и оптимизированную пеленгационную характеристику.

РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ИОНОСФЕРЫ И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СИГНАЛАМИ СПУТНИКОВ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

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

*Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова Российской академии наук (г. Фрязино)*

Применение высокостабильных, излучаемых в дециметровом диапазоне радиоволн сигналов ГНСС ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, позволяет проводить глобальное исследование структуры атмосферы и ионосферы на различных высотах для изучения изменений климата и предсказания погоды. Измерения с использованием сигналов ГНСС могут существенно увеличить количество данных о скорости ветра и состоянии поверхности морей и океанов с достаточным пространственным и временным разрешением. В созданы методы решения задач дистанционного зондирования: 1. Разработан и проверен в экспериментах эффективный радиоголографический метод, позволяющий на порядок повысить вертикальное разрешение и 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 одностатотный метод измерения поглощения радиоволн на трассах связи спутник-спутник. На рисунке показаны вертикальные профили рефракционных ослаблений, полученных по амплитудным $X_a(h)$ и фазовым $X_p(h)$ данным, обозначенные индексами «а» и «р» (ломаные кривые), соответственно, и их аппроксимации полиномами (гладкие кривые), измеренные на частоте L1=1,6 ГГц. Измерения были осуществлены в 2008 году в двух регионах Центральной Африки (сеансы 18 октября в 17 ч. 52 мин. UT (слева) и 11 апреля в 03 ч. 14 мин. UT (справа), с координатами 5,0°N, 332,5°W и 6,7°N, 328.1°W, соответственно). Значения высоты h нанесены по горизонтальной оси. Зависимости $X_a(h)$ и $X_p(h)$ и их полиномиальные приближения почти совпадают на высотах между 12 и 40 км и значительно отличаются ниже 8-9 км. Это указывает на влияние общего поглощения радиоволн в атмосфере.

Разработанная методика применяется для исследования атмосферы, ионосферы и земной поверхности по радиоголограммам, зарегистрированным в миссиях GPS/MET, CHAMP, FORMOSAT-3, и др.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ОРИЕНТАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

М.В. Прокуронов
Вневедомственный экспертный совет
по проблемам воздушно-космической обороны
(г. Москва)

В результате развития приборов и методов рентгеновской астрономии, появилась возможность проводить угловую ориентацию КА, регистрируя рентгеновское излучение космических источников. Дополнительное использование в такой системе рентгеновской ориентации фильтра-отражателя, пропускающего рентгеновское излучение и отражающего излучение в оптическом диапазоне, позволяет создать систему угловой ориентации, защищенную от воздействия мощного оптического излучения. Эта система рентгеновской ориентации позволяет дублировать функционирование оптических звездных датчиков.

Система рентгеновской ориентации должна обеспечивать измерение угловых координат не менее двух рентгеновских источников в орбитальной системе координат, связанной с осями КА, идентификацию этих источников в массиве известных источников для определения угловых координат этих двух источников в базовой системе. Эти данные служат для расчета положения орбитальной системы координат относительно базовой. Такие измерения должны обеспечиваться для любой орбиты, в любой точке этой орбиты и для любого периода времени. При этом рентгеновский телескоп, которым измеряются угловые координаты источников, должен обеспечивать предельно высокое угловое разрешение и минимальное время измерения. Масса и габариты телескопа должны быть минимальны.

Время проведения ориентации КА по рентгеновским источникам определяется двумя параметрами. Первый, это характеристики излучения этих источников, в первую очередь, плотность потока рентгеновских квантов на орбите Земли и спектрально–временные характеристики. Для минимизации времени проведения ориентации необходимо измерять угловые координаты самых ярких рентгеновских источников в доступной для наблюдения небесной полусфере при минимальном фоне рентгеновского телескопа.

Вторым параметром, который определяет время проведения ориентации КА по рентгеновским источникам, является тип и конструкция рентгеновского телескопа. Выбор типа и конструкции определяет и характеристики телескопа, в том числе угловое разрешение, чувствительность и массу прибора. Для измерений могут использоваться два типа телескопов – с кодированной апертурой и с рентгеновскими зеркалами косого падения. Но оба этих типа не обладают одновременно высоким угловым разрешением и большим полем зрения. Этот фактор, наряду с характеристиками рентгеновских источников и фоном детектора телескопа, определяет принципы и алгоритмы построения системы рентгеновской ориентации КА. Исходя из этих критериев, можно рассмотреть такой вариант построения системы ориентации. Система состоит из двух рентгеновских телескопов. Один с большим полем зрения и низким угловым разрешением, другой с малым полем зрения и высоким угловым разрешением. Измерения выполняются в два этапа, сначала определяются угловые сектора расположения двух рентгеновских источников с наибольшей плотностью потока квантов

телескопом с большим полем зрения. Затем, путем наведения второго телескопа на эти источники, измеряются их координаты с высоким угловым разрешением. Возможен вариант, когда для определения угловых секторов расположения двух рентгеновских источников используется информация об ориентации КА из блока гироскопов. Далее измерения проводятся одним телескопом с высоким угловым разрешением.

По предварительным оценкам и результатам математического моделирования основные параметры системы рентгеновской ориентации составят:

1. Угловая разрешающая способность $\sim 0.5-5'$
2. Время проведения ориентации 30-100с.
3. Масса – 10-25кг.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

*А.О. Иванов, Г.В. Кремез, А.В. Шерстюк
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Эксперимент планируется для достижения следующих целей:

- получение экспериментальных данных о влиянии факторов космического пространства на характеристики бортовой радиоэлектронной аппаратуры, созданной на основе перспективной элементной компонентной базы (ЭКБ);
- уточнение моделей воздействия факторов космического пространства на ЭКБ;
- формирование научно-технического и методического задела в части организации испытаний радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и ЭКБ на борту Международной космической станции (МКС).

Комплект научной аппаратуры (НА) предполагается установить на внешней поверхности Российского сегмента (РС) МКС. Объектом экспериментальных исследований является приемник навигационных сигналов (ПНС), разработанный на основе ЭКБ высокой степени интеграции. Основными требованиями, предъявляемыми к объекту исследова-

дований, являются его применимость в составе бортовой аппаратуры перспективных космических аппаратов (КА), высокая степень интеграции специализированной ЭКБ и широкие функциональные возможности аппаратуры.

Сеансы космического эксперимента (КЭ) планируется проводить ежедневно. Общее время проведения КЭ определяется по результатам контроля работоспособности испытываемой ЭКБ.

Полученные в сеансе ПКЭ данные записываются в виде массивов цифровых данных средствами РС МКС. В периоды времени, определяемые штатными сеансами связи с МКС, накопленная информация через систему телеметрии передается на Землю. Затем осуществляется контроль работы НА, накопление, архивирование и хранение полученных данных, их последующая распаковка и первичная обработка. Научная информация, выделенная из полученных данных, передается постановщику эксперимента для дальнейшей обработки и формирования банка научных данных. Постановщик эксперимента проводит экспресс-анализ полученной информации и формирует экспресс-заключение с выработкой рекомендаций.

Основными элементами НА являются приемник навигационных сигналов и блок датчиков ионизирующих излучений (БДИИ).

В состав ПНС входят:

- приемник ГНСС ГЛОНАСС диапазонов L1 и L2 – 2 шт.;
- приемник ГНСС GPS диапазонов L1 и L2 – 1 шт.;
- блок антенны приемника сигналов ГЛОНАСС – 2 шт.;
- блок антенный приемника сигналов GPS – 1 шт.;
- вторичный источник питания – 3 шт.

Потребляемая ПНС мощность не должна превышать 20,0 Вт. Габаритные размеры ПНС не должны превышать 250 x 250 x 80 мм. Масса ПНС не должна превышать 3 кг.

БДИИ должен осуществлять измерение:

- поглощенной дозы (мощности дозы) в диапазоне от 10 до 10000 рад;
- спектральных характеристик высокоэнергетичных протонов и ТЗЧ.

Для приема и послесеансной обработки информации, получаемой от ПНС, должно быть разработано сервисное программное обеспечение.

СЕКЦИЯ 3 ЦЕЛЕВЫЕ ПРИБОРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

РАЗРАБОТКА МАТРИЦЫ С ПРОГРЕССИВНОЙ РАЗВЕРТКОЙ ДЛЯ СИСТЕМ АСТРООРИЕНТАЦИИ

*В.А. Арутюнов, Н.Г. Богатыренко,
Е.Ю. Илсавская, А.Е. Прокофьев
ОАО «ЦНИИ «Электрон»
(г. Санкт-Петербург)*

В «ОАО ЦНИИ Электрон» разработана интерлайн матрица с прогрессивной разверткой размером 1024×1024 элемента.

В отличие от матриц с кадровым переносом, матрицы интерлайн имеют следующие преимущества:

– более равномерное распределение чувствительности фотодиодов в пределах апертуры

- однородные по полю матрицы фотодиоды
- широкий спектральный диапазон 0,3-1,0 мкм
- низкое значение смаза сигнала изображения
- высокая частота кадров до 30 кадров в секунду

Данные свойства позволяют существенно увеличить точность определения координат точечного объекта и отслеживать динамику изменения его положения.

Разделение области детектирования и накопления зарядовых пакетов от области их переноса позволяет по отдельности оптимизировать их свойства, что позволило достигнуть высокую эффективность переноса зарядовых пакетов по вертикальным регистрам на частотах до 60 Гц в режиме бинирования по вертикали.

Дальнейшее увеличение частоты кадров в концепции создания интерлайн матриц требует увеличение частоты работы горизонтальных регистров выше 20 МГц при одновременном уменьшении амплитуды тактирования. Обсуждаются проблемы решения повышения частоты работы горизонтальных регистров за счет применения современных технологий.

Защита маской вертикальных регистров от света позволило достичь смаза по вертикали от источника типа «А» от 50 элементного пятна 1,6%. Дальнейшее уменьшение этого параметра требует существенно повышения точности травления края металла и дальнейшего изоли-

рования области сбора фотогенерированных носителей от ОПЗ вертикального регистра.

Приборы интерлайн ПЗС обладают более высокой радстойкостью чем ПЗС приборы с кадровым переносом, так как обедненные диоды нечувствительны к встраиванию в рабочий диэлектрик заряда при ионизирующем воздействии, а вертикальные ПЗС регистры имеют меньшую площадь переноса зарядовых пакетов (при одинаковом шаге расположения фоточувствительных элементов) и могут быть специально оптимизированы.

В настоящее время ведутся работы над совершенствованием управляемого вертикального антиблуминга для обеспечения работы в условиях сильной пересветки.

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ

*А.П. Малахов, А.М. Кузьмичев, А.И. Бакланов
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС» (г. Москва)*

Современные оптико-электронные и радиолокационные системы ДЗЗ высокого и высокодетального разрешения порождают огромные объёмы и потоки информации. Так внутрисистемный обмен данными в аппаратуре системы приёма и преобразования информации (СППИ) космических аппаратов ДЗЗ «Ресурс-ДК1» и «Ресурс-П» достигает 10 Гбит/с. При создании такой аппаратуры ДЗЗ специалисты НПП «ОПТЭКС» столкнулись с проблемой создания многоканальных скоростных интерфейсов связи на основе применения проводных связей. Использование традиционных электрических интерфейсов приводило к тому, что масса бортовой кабельной сети превышала 100 кг и составляла порядка 30 – 40 % от общего веса системы, как это было с СППИ «Сангур-1» КА «Ресурс-ДК1».

В современных высокоскоростных коммуникационных системах повсеместно используются волоконно-оптические линии передачи информации и специалистами НПП «ОПТЭКС» и ОАО «НИИ ТП» было предложено и реализовано в аппаратуре СППИ «Сангур-1У», КШМСА, СППИ-ГСА и высокоскоростной радиолинии (ВРЛ) космических аппаратов ДЗЗ «Ресурс-П» применение волоконно-оптических линий связи. Для этого пришлось на собственной базе освоить произ-

водство всех необходимых компонентов: оптических передатчиков скоростью передачи до 2,5 Гбит/с, оптических приемников, гермопереходов, конвекторов, кроссов, собственно оптических кабелей и шнуров. Характеристики некоторых волоконных компонентов приведены в таблице.

Наименование	Технические характеристики
Оптические гермопереходы: ОГПР-1,ОГПР-2	Уровень оптических потерь не более 0,5 dB.
Оптический приемник – ОПРМ	Скорость приема информации 960 (до 2500) Мбит/с; Оптический диапазон приема информации 1320 ±30 мкм; Чувствительность по приему информации, минус 24 dB
Оптический передатчик – ОПРД	Скорость передачи информации 960 (до 2500) Мбит/с; Оптический диапазон приема информации 1320 ±30 мкм Оптическая мощность выходного сигнала от 0,8 до 1,5 мВт.
Оптические кроссы: ОПКрС (2x2); ОПКрС (2x2)x2; ОПКрС (1x4)x2; ОПКрС (8x2)	Коммутация оптических сигналов Прямые потери от 5 до 12 dB
Оптические линии связи ВОЛП	Оптические потери линий связи составляют от 1,5 до 7 dB, Обратные потери не более минус 40 dB.
Оптические кабели – ЦТВОТ, Шнуры оптические – ШО	Оптические потери оптических кабелей и ШО составляет не более 0,5 dB, Обратные потери оптических кабелей и ШО составляют не более минус 50 dB

Применение волоконно-оптических линий передачи улучшило эксплуатационные характеристики систем передачи информации в следующих направлениях:

- уменьшилась в 8-10раз масса бортовой кабельной сети (БКС);
- повысилась помехоустойчивость линий связи к воздействию электромагнитных помех;

– увеличилась скорость передачи и приема информации по сравнению с применением электрических интерфейсов;

– существенно снизилось количество линий передачи информации.

Использование высокоскоростных волоконно-оптических линий применительно к СППИ «Сангур-IV» КА «Ресурс-П» позволило почти на 100 кг сократить массу кабельной сети, попутно обеспечив надежную гальваническую развязку с другими системами КА.

АНАЛИЗ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И.Ш. Абзалов, А.В. Грибов, Е.С. Шишова
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Организация «Агат»
(г. Москва)

Выбор показателей технического уровня наукоемких проектов является одной из основных задач технико-экономического анализа.

Реализация создания целевой аппаратуры требует исследовательской работы по определению ее оптимальных тактико-технических характеристик. Большое значение на начальных стадиях разработки приобретает технико-экономическое обоснование целевой аппаратуры на основе анализа технического облика, состава и режима эксплуатации, позволяющего определить эффективность затрат.

Характерной особенностью выбранного обобщенного показателя является его тесная взаимосвязь со стоимостными показателями при разработке, изготовлении и эксплуатации целевой аппаратуры.

Определение и выбор основных показателей, которые наиболее полно определяют технический уровень целевой аппаратуры, позволяет провести технико-экономические исследования по методу «стоимость-эффективность», поскольку и эффективность, и стоимость зависят от технического уровня целевой аппаратуры.

При создании целевых приборов ДЗЗ нового поколения стоит задача реализации перспективного наукоемкого проекта с учетом в максимально короткие сроки при минимальных затратах.

Данный подход по созданию перспективных целевых приборов обеспечивает более низкую стоимость получаемых изображений, зна-

чительно расширяет круг пользователей и создает спрос информации ДЗЗ на внутреннем и мировом рынках ДЗЗ.

Набор всех технических параметров целевой аппаратуры трансформируется в единый общий показатель, который характеризует целевую (функциональную) эффективность.

Сформировать модель обобщенного показателя, характеризующего соответствующий показатель целевой эффективности прибора, является трудной задачей. Выбираются главные параметры, которые характеризуют задачи, решаемые целевой аппаратурой, и учитывают ее основные свойства:

- диаметр апертуры зеркала;
- число каналов;
- масса аппаратуры;
- размер элемента;
- размер антенны (радиолокационная аппаратура);
- чувствительность элемента и т. д.

Совокупность этих параметров может достаточно полно характеризовать функциональную эффективность целевой аппаратуры.

Как правило, улучшение одного значения параметра влечет за собой ухудшение остальных. Приведенные основные параметры целевой аппаратуры влияют на следующие частные показатели:

- разрешение целевой аппаратуры;
- радиометрическое разрешение;
- многоспектральность информации;
- размер снимаемой площади или полоса захвата;
- оперативность наблюдения;
- производительность;
- скорость передачи информации;
- срок активного существования и т. д.

Вопрос состоит в том, какой из частных показателей принять за главный, который характеризовал бы целевую (функциональную) эффективность целевой аппаратуры.

Для проведения технико-экономического исследования использовать обобщенный показатель эффективности, который объединяет важнейшие частные показатели: линейное разрешение на местности, радиометрическое разрешение, производительность и срок активного существования КА наблюдения.

Линейное разрешение на местности, так же как и радиометрическое разрешение определяет меру качества получаемых с помощью целевой аппаратуры изображений оказывает существенное влияние на качество информации. Более того, линейное разрешение на местности существенно влияет на выбор многих технических параметров целевой аппаратуры КА ДЗЗ, которые в то же время оказывают значительное влияние на конструктивный и технический облик космической системы.

Производительность целевой аппаратуры дает не только площадную характеристику съемок, но и количество наблюдаемых целей, объектов и районов в единицу времени (сутки, год, срок активного существования). Производительность в основном зависит от величин полосы обзора, времени перенацеливания аппаратуры, наземных средств приема и обработки информации, образующих эффективность КС.

Срок активного существования КА зависит от выбранного конструктивного решения, качества испытаний аппаратуры на этапе наземно-экспериментальной отработки, от наличия современной экспериментальной базы и напрямую связан с надежностью всех бортовых элементов и систем КА, использующих соответствующую элементную базу.

Показатель, характеризующий оперативность передачи информации, можно опустить, поскольку все рассматриваемые приборы осуществляют сброс информации по радиоканалу, обеспечивая передачу информации в близком к реальному масштабе времени.

Приведенные выше частные показатели могут быть объединены в один обобщенный (комплексный) показатель эффективности.

Основным требованием потребителей является получение максимального объема информации с заданным уровнем качества, т.е. показатель производительности за время функционирования целевой информации при минимальной стоимости.

Показатель производительности целевой аппаратуры определяется количеством изображений наблюдаемой земной поверхности в единицу времени с заданным качеством и в наиболее полной мере характеризует возможности аппаратуры (прибора) по решению возможных задач ДЗЗ. Производительность целевой аппаратуры существенно влияет на эффективность и стоимость показателей аппаратуры и в целом КА. Именно показатель производительности в большой мере влияет на

технический облик создаваемой космической системы, ее состав и характеристики.

Этот обобщенный показатель эффективности может быть использован при проведении технико-экономических исследований для видимого, ИК и радиотехнического диапазонов целевой аппаратуры.

В частности постановка задачи проведения технико-экономического обоснования формируется следующим образом: создание целевой аппаратуры может проводиться с заданным требованием показателя целевой эффективности (\mathcal{E}), при котором суммарные затраты на разработку и эксплуатацию (C_{Σ}) целевой аппаратуры (прибора) нового поколения были бы минимальными.

$$\mathcal{E} \rightarrow C_{\min} \quad \text{или} \quad \frac{C_{\Sigma}}{\mathcal{E}} \rightarrow \min$$

Стоимость эксплуатации целевой аппаратуры определяется исходя из задачи условий использования КА ДЗЗ на орбите с учетом привлечения наземных пунктов управления и приема космической информации.

Таким образом, при проведении технико-экономических исследований показатель производительности целевой аппаратуры может быть принят как обобщенный показатель технического уровня целевой аппаратуры.

ВУФ-ГИПЕРСПЕКТРОМЕТР ВЫСОКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

*Ю.В. Бажанов **, *В.А. Бойко **, *Ю.А. Видецих **,
*Е.Н. Демура **, *С.В. Куклев ***, *Д.С. Соколов ***, *Е.А. Шатова **
* ОАО «НПП «Геофизика-Космос» (г. Москва)
** ООО «МЭЛЗ ФЭУ» (г. Москва)

В докладе рассматривается техническое решение построения гиперспектрометра высокого спектрального разрешения ВУФ диапазона спектра (120÷180 нм) для применения на КА с орбитой типа «Метеор».

ВУФ-гиперспектрометр предназначен для глобального контроля и мониторинга состояния полярной ионосферы Земли и состоит из устройства пространственного сканирования, светосильного изображающего спектрометра с разрешением 0,5 нм на основе вогнутой голографической решетки с переменным шагом между штрихами и сверхвысокочувствительного гибридного фотоприемника. Техниче-

ское решение основано исключительно на использовании отечественных комплектующих изделий.

Область применения: глобальная модель ионосферы Земли, прогнозы космической погоды, исследование фонов атмосферы Земли для обеспечения решения прикладных задач СПРН, ПРО и т. д.

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПТИКО-
ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СППИ «САНГУР-IV»
НА ОСНОВЕ ФОТОПРИЁМНИКОВ ПЗС ВЗН ДЛЯ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «РЕСУРС-П»**

*А.И. Бакланов
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС»
(г. Москва)*

Создание оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) для космических систем высокодетального наблюдения ставит перед разработчиками сложнейшие конструктивно-технологические задачи. Это связано, в первую очередь, с огромной информационной производительностью таких систем. Так, скорость съёмки ОЭА «Геотон-Л» при пространственном разрешении 71 см составляет около 1900 км²/с одновременно по панхроматическому и шести мультиспектральным каналам (около 270 км²/с на каждый канал). Применительно к системе приёма и преобразования информации (СППИ) «Сангур-IV» это означает, что внутренний информационный поток видеосигнала составляет почти 10 Гбит/с, или около одного Гпикселя в секунду. В реальном масштабе времени этот поток должен подвергаться коррекции, сжатию, упаковке и передаётся в бортовое ЗУ. В некотором смысле это эквивалентно одновременной работе нескольких сот цифровых видеокамер. Ещё одним обязательным условием является высокая чувствительность и низкие шумы на предельно больших рабочих частотах.

Для реализации этих требований в СППИ «Сангур-IV» специалистам АО «РКЦ «Прогресс» и филиала НПП «ОПТЭКС» потребовалось по ходу разработки создать не менее пяти принципиально новых ключевых элементов и технологий, включающих в себя два типа фотоприёмников - матриц ПЗС ВЗН, многоканальные интерференционные светофильтры, новые алгоритмы цифровой обработки и сжатия информации, а также высокоскоростные интерфейсы передачи данных с оптоволоконными компонентами в космическом исполнении. И всё это было интегриро-

вано в моноблочные панхроматические и мультиспектральные оптико-электронные преобразователи, которые обеспечивают съёмку одновременно в панхроматическом и шести узких мультиспектральных диапазонах.

Специально для применения в оптико-электронной аппаратуре КА «Ресурс-П» в ЗАО «НПП «ЭЛАР» по заказу НПП «ОПТЭКС» разработаны два типа матриц ПЗС, работающих в режиме ВЗН: панхроматические – «Крузи-6» и мультиспектральные – «Крузи-Ц-Б». На основе этих фотоприёмников в НПП «ОПТЭКС» разработаны два типа оптико-электронных преобразователей: панхроматические (ПХ) и мультиспектральные (МС1 и МС2).

Центральный блок ОЭП-ПХ с суммарной длиной строки 54 тысячи пикселей обеспечивает съёмку в панхроматическом диапазоне 0,58-0,8 мкм. За счёт установленного перед ним сменного интерференционного светофильтра имеется возможность получать изображения в дополнительном седьмом спектральном диапазоне. В оптико-электронном преобразователе панхроматического канала применены матрицы ПЗС ВЗН «Крузи-6» с размером фотоприёмного пикселя $6 \times 6 \text{ мкм}^2$ и форматом 1536×192 элемента. Матрицы имеют переменное число шагов накопления: 196, 128, 96, 64, 48, 32, что позволяет управлять чувствительностью ОЭП и СППИ в широком диапазоне. При этом шаг изменения чувствительности уменьшен до 1,5. Это повысило точность задания экспозиции при съёмке и качество изображения. Предусмотрены режимы работы панхроматического блока, обеспечивающие бинирование сигнала пикселей фотоприёмников до 3×3 , а также адаптивный режим работы с автоматическим выбором числа шагов накопления с учетом фактической освещенности фотоприёмников ПЗС.

В оптико-электронных преобразователях мультиспектральных каналов СППИ «Сангур-IV» применены трёхканальные матрицы (фотоприёмные модули) ПЗС ВЗН «Крузи-Ц-Б» с размером фотоприёмного пикселя в три раза больше, чем в панхроматическом канале. Формат матриц ПЗС ВЗН составляет $3 \times 768 \times 64$, при этом число шагов накопления 64, 32 или 16. Конструкция фотоприёмной ячейки этих матриц обеспечивает расширенный в синюю область диапазон чувствительности. Каждый мультиспектральный ОЭП позволяет получать цифровую видеоинформацию сразу в трёх узких спектральных диапазонах. Конкретные спектральные диапазоны чувствительности задаются трёхпо-

лосными интерференционными светофильтрами на стеклянных подложках, которые устанавливаются перед матрицами ПЗС ВЗН Светофильтры, наряду с ПЗС, являются сложнейшим и важнейшим элементом фотоприёмного тракта оптико-электронной аппаратуры. Их разработка и изготовление осуществлялась в ОАО ЛОМО.

Один из мультиспектральных блоков ОЭП обеспечивает съёмку в спектральных диапазонах: 0,52-0,6 мкм; 0,61-0,68 мкм; 0,72-0,8 мкм, а второй – в диапазонах 0,45-0,52 мкм; 0,67-0,7 мкм; 0,7-0,73 мкм.

В каждом блоке ОЭП реализовано три вида сжатия исходной 10-ти разрядной видеоинформации: сжатие по алгоритму ДИКМ до 4, 2 или 1 бита на выборку; сжатие по алгоритму JPEG2000 до 4, 2, 1 или 0,5 бит на выборку; выбор и передача 8-ми оптимальных бит несжатой исходной информации. Предусмотрены большие диапазоны изменения параметров и режимов работы при изменении скорости движения изображения в широких пределах условий эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАБОТЫ АППАРАТУРЫ МСУ-МР НА КА «МЕТЕОР-М» № 2

*Ю.М. Гектин, А.Г. Фролов,
ОАО «Российские космические системы»
(г. Москва)*

В июле 2014 года был успешно осуществлён запуск гидрометеорологического КА «Метеор-М» № 2. Это второй спутник из большой серии специализированных КА, задачей которого, является получение гидрометеорологической информации мирового уровня. Одним из основных приборов бортового комплекса, является многозональное сканирующее устройство МСУ-МР, которое получает информацию в непрерывном режиме в шести спектральных каналах (включая три тепловых).

В докладе рассматриваются основные изменения характеристик прибора по сравнению с МСУ-МР, установленным на КА «Метеор-М» № 1. Представлен подробный анализ конструктивных решений, позволяющих получать гидрометеорологическую информацию, соответствующую мировому уровню по основным требуемым параметрам.

ПЕРВЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОТРАБОТКЕ ВЫСОКОСТАБИЛЬНОГО БОРТОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ИК ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ГАЛЛИЯ

*В.И. Саприцкий (1), А.А. Бурдакин (1), А.И. Иванов (2),
В.Н. Крутиков (1), Б.Е. Лисянский (1), А.С. Лысак (2),
С.П. Морозова (1), А.С. Панфилов (1), А.В. Пузанов (1),
В.В. Раков (1), М.Л. Самойлов (1), Е.А. Ус (1), Б.Б. Хлевной (1)*
*(1) Всероссийский научно-исследовательский институт
оптико-физических измерений (г. Москва)*
*(2) Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения (г. Королев)*

Получение достоверных результатов измерения температуры наблюдаемых объектов с помощью космической радиометрической аппаратуры зависит от долговременной стабильности ее радиометрических характеристик. В настоящее время возможности контроля стабильности ограничиваются значениями (0,5–1) К, в то время как, например, для мониторинга глобальных изменений климата Земли требования на порядок выше. Данную проблему можно решить путём разработки космических низкотемпературных моделей чёрных тел (МЧТ) на основе фазового перехода для применения в качестве высокостабильных опорных бортовых излучателей. Подобные МЧТ применяются в наземных калибровочных установках.

При создании бортового излучателя, основанного на том же принципе, нужно 1) адаптировать его конструкцию к эксплуатации на орбите – в условиях, близких к невесомости, и 2) определить возможное влияние невесомости на характеристики фазового перехода потенциальных рабочих веществ. Для решения этих задач необходимо проведение космических экспериментов с опытными образцами спутниковых МЧТ.

Космический эксперимент

Впервые такой космический эксперимент (КЭ) был осуществлён в августе 2014 г. на борту КА «Фотон-М» №4 в автоматическом режиме. Схема опытного образца бортовой МЧТ, прошедшего испытание, представлена на рис. 1. Это – полостная МЧТ на реперной точке плавления галлия (рабочая температура ~302.9 К). Диаметр выходного отверстия МЧТ составляет 14 мм, диаметр апертуры – 10 мм, глубина полости – 68 мм. Толщина слоя рабочего вещества, окружающего полость – 6 мм, масса галлия – 270 г. В КЭ проводились контактные измерения температуры поверхности излучающей полости. О стабилизации излучения МЧТ

можно в таком случае судить по форме температурного плато, наблюдаемого при фазовом переходе плавления галлия. КЭ состоял из 20 серий по 3 цикла плавления/кристаллизации галлия в каждой (10 с «короткими» плато плавления – 1,5 ч и 10 – с «длинными» – 4 ч).

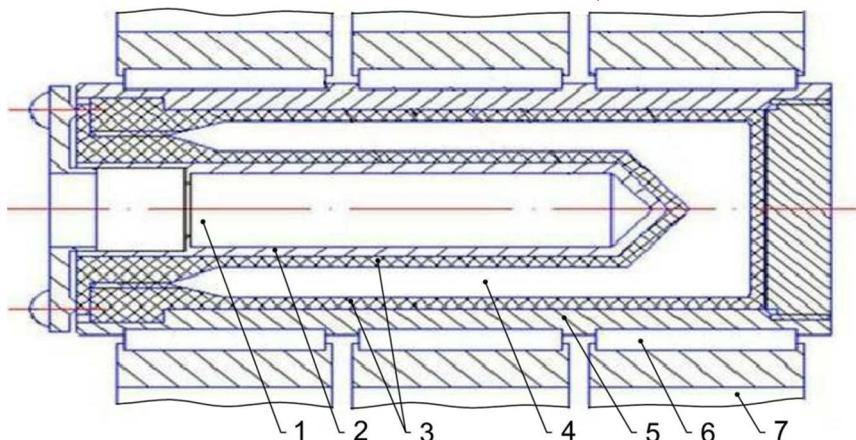


Рис. 1. Схема опытного образца бортовой МЧТ (1 – излучающая полость, 2 – металлическая вставка, 3 – тефлоновая ячейка, 4 – галлий, 5 – теплообменник, 6 – элемент Пельтье, 7 – радиатор)

Результаты

Программа КЭ была выполнена успешно и в полном объеме, а после возвращения аппаратуры с орбиты эксперимент был повторен. Качество «космических» и «наземных» плато плавления практически одинаково, и достаточно высокое: для всех плато, независимо от их продолжительности, температурный дрейф не превышает 30 мК.

Эксперимент показал, что фазовый переход плавления/кристаллизации «работает» в условиях невесомости и, следовательно, подтвердил принципиальную возможность создания космической МЧТ. Обнаружена чувствительность положения плато плавления к температуре окружающей среды. В ходе дальнейших работ предстоит минимизировать зависимость этой важнейшей характеристики от внешней температуры. Тем не менее, полученные результаты подтверждают, что прошедшая испытание на орбите конструкция может служить базисом для перспективных высокостабильных бортовых источников излучения в тепловом ИК диапазоне.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЙ
ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КОСМИЧЕСКОГО
БАЗИРОВАНИЯ ШИРОКОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА
(0,4÷12 МКМ)**

*В.А. Бойко * , Ю.А. Видецких * , Е.В. Дергаус * , О.Ю. Казанцев ** ,
Н.А. Князев *** , В.А. Ковтун **** , Ю.А. Палатов**** ,
И.В. Персев ** , Е.А. Шатова **

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

*** ОАО «НПО «ЛЕПТОН» (г. Москва)*

**** ФГБУН «Институт космических исследований РАН» (г. Москва)*

***** ФГБУ «27 научный центр» МО РФ (г. Москва)*

В докладе рассматриваются технические решения построения гиперспектрального оптического комплекса (ГОК) космического базирования широкого диапазона спектра, предназначенного для установки на борту КА дистанционного зондирования Земли.

В состав ГОК входят:

– гиперспектральная аппаратура видимого (ВД; 0,4÷0,7мкм), ближнего инфракрасного (БИК; 0,7÷1,1 мкм) и коротковолнового инфракрасного (КВИК; 1,1÷1,7 мкм) диапазонов спектра с числом спектральных каналов от 100 до 140, пространственным разрешением (пикселем) на поверхности Земли 30×30 м² числом пикселей в полосе захвата от 320 для прибора КВИК, 512 для БИК и до 800 пикселей для прибора ВД;

– гиперспектральная аппаратура средневолнового инфракрасного (СВИК; 2,5÷5,5 мкм) и длинноволнового инфракрасного (ДВИК; 6÷12 мкм) диапазонов спектра на основе видео-ИК-Фурье-спектрометра с криогенным матричным ФПУ с числом спектральных каналов до ~4 000, пространственным разрешением (пикселем) на поверхности Земли 200×200 м² и возможностью одновременной регистрацией спектров от каждого из 320×256 пикселей.

Область применения ГОК – глобальный мониторинг и контроль:

– АЭС, хранилищ ядерных отходов и других потенциально опасных промышленных объектов;

– последствий техногенных и природных катастроф, сопровождающихся выбросами РВ (радиоактивных веществ) и СДЯВ (сильнодействующих ядовитых веществ)

– территорий, подвергшихся воздействию террористических актов с применением ядерного, химического и биологического оружия;

- плантаций наркосодержащих растений;
- состояния посевов сельскохозяйственных культур;
- состояния лесных массивов;
- чистоты водных ресурсов, состояния акваторий морей и прибрежных зон.

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

*Ю.М. Головин, Ф.С. Завелевич, А.Г. Никулин,
Д.А. Козлов, Д.О. Монахов, И.А. Козлов
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», (г. Москва)
С.А. Архипов, В.А. Целиков
ОАО КМЗ (г. Красногорск),
А.С. Романовский
НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва)*

В настоящее время в ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» широко развернуты работы по созданию бортовых инфракрасных фурье-спектрометров серии ИКФС-2. Разрабатываемая аппаратура предназначена для измерения спектров исходящего излучения атмосферы Земли и служит для обеспечения нужд оперативной метеорологии и климатологии в части получения следующих видов информации: вертикальные профили температуры и влажности в тропосфере и нижней стратосфере, общее и высотное распределение озона, концентрации малых газовых составляющих, температура подстилающей поверхности и др.

Запуск космического аппарата «Метеор-М» № 2 с инфракрасным фурье-спектрометром ИКФС-2 состоялся 8 июля 2014 г. В ходе летных испытаний подтверждены технические характеристики прибора ИКФС-2 (таблица 1) в соответствии с требованиями технического задания.

Таблица 1

Технические характеристики ИКФС-2

Рабочий спектральный диапазон	5...15 мкм (667...2000 см ⁻¹)		
Спектральное разрешение	0.4 см ⁻¹		
Порог обнаружения (NESR) [Вт·м ⁻² ср ⁻¹ см], не более:	$\lambda = 6\text{мкм}$	$\lambda = 13\text{мкм}$	$\lambda = 15\text{мкм}$
	$3.45 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$4.2 \cdot 10^{-4}$
Погрешность измерения спектральной яркости объекта в терминах эквивалентной температуры	(0.1 ± 0.4) К		

Полоса обзора	от 1000 до 2500 км
Периодичность получения интерферограмм	0.6 с
Информативность	580 кбит/с
Масса прибора	50 кг
Энергопотребление режим рабочий режим дегазации	50 Вт 120 Вт

В докладе представлены результаты летных испытаний фурье-спектрометра ИКФС-2 и модернизация аппаратуры ИКФС-2-1, ИКФС-2-2 для КА «Метеор-М» № 2.1, 2.2 по результатам летных испытаний.

СОЗДАНИЕ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ПРИБОРОВ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.Т. Минлигареев, Ю.М. Качановский,

Е.А. Паньшин, А.Ю. Штырков

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

В докладе рассмотрены пути решения задач по созданию эталонной базы для калибровки приборов гелиогеофизических аппаратурных комплексов ГГАК на гидрометеорологических космических аппаратах.

Главной тенденцией повышения качества гелиогеофизических наблюдений является обеспечение единства, достижение требуемой точности, достоверности и сопоставимости результатов измерений при выполнении наблюдений за состоянием ионосферы, магнитосферы, верхней атмосферы и околоземного космического пространства. Современный уровень использования данных об опасных гелиогеофизических явлениях 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.

Учитывая результаты проведенного анализа состояния измерений, специалистами ФГБУ «ИППГ» и ведущими метрологическими институтами Росстандарта в настоящее время реализуется ОКР по созданию эталонной базы для калибровки приборов гелиогеофизического комплекса космических аппаратов гидрометеорологического назначения.

Для обеспечения единства измерений космического сегмента ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений ФГБУ «ИПГ» совместно с ВНИИМ им. Менделеева, ВНИИФТРИ, СНИИМ и другими предприятиями создают эталонную базу и организуют проведение калибровочных работ измерительных приборов типовых гелиогеофизических аппаратурных комплексов ГГАК (для космических комплексов гидрометеорологического назначения серий «Электро», «Метеор», «Арктика» и др.). В частности, на базе ВНИИФТРИ формируется эталонная база для проведения калибровочных работ магнитометра типа ФМ, на базе ИЯФ СО РАН и СНИИМ – измерителя ультрафиолетового излучения Солнца типа ВУСС, на базе НИИЯФ МГУ, ВНИИМ – детекторов галактических космических и солнечных лучей типа ГАЛС, СКИФ, СКЛ.

На текущем этапе запланировано проведение 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 данных приборов для КА «Электро-Л» № 3.

Специфика калибровки гелиогеофизических комплексов состоит в том, что по отдельным видам измерений впервые разрабатываются схемы калибровки, локальные поверочные схемы (например, по протонным и электронным потокам).

Наряду с созданием эталонной базы разрабатывается Программа метрологического обеспечения перспективных приборов гелиогеофизического назначения, включающая:

- создание эталонной базы для типовых комплексов ГГАК;
- проведение калибровочных работ приборов типовых комплексов ГГАК;
- совершенствование эталонной базы и создание новых эталонов для перспективных комплексов ГГАК;
- разработку методик подтверждения метрологических характеристик измерительных приборов в ходе летных испытаний.

Таким образом, калибровка гелиогеофизической целевой аппаратуры космических аппаратов гидрометеорологического назначения является первым этапом комплексной программы метрологического обеспечения измерительных приборов гелиогеофизического назначения, реализация которой:

– придаст измерительным приборам гелиогеофизического назначения правовые основы для применения их на территории Российской Федерации и использования информации Всемирной метеорологической организацией;

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

– повысит эффективность наблюдений, отфильтрует недостоверные результаты измерений для качественного предупреждения опасных гелиогеофизических явлений.

ШИРОКОЗАХВАТНАЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ СЪЁМОЧНАЯ АППАРАТУРА И НАПРАВЛЕНИЯ ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИИ

А.И. Бакланов¹, Н.Р. Стратилатов², А.С. Забиякин¹

¹ – филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС» (г. Москва)

² – АО «РКЦ «Прогресс» (г. Самара)

В составе полезной нагрузки космических аппаратов «Ресурс-П» № 1 и № 2 успешно зарекомендовал себя комплекс широкозахватной съёмочной аппаратуры – КШМСА в составе двух оптико-электронных камер высокого (ШМСА-ВР) и среднего (ШМСА-СР) разрешения, работа которых может осуществляться как вместе, так и автономно под контролем единой системы (блока) управления. Внешний вид камер представлен на фотографиях (рис. 1). Камеры обеспечивают одновременно панхроматическую и мультиспектральную съёмку в полосе захвата 96 км (ШМСА-ВР) и 480 км (ШМСА-СР) с высоты орбиты 475 км. В панхроматическом канале (0,43-0,70 мкм) камеры высокого разрешения проекция пиксела составляет 12 метров, а в пяти мультиспектральных каналах (0,43 – 0,51 мкм; 0,51 – 0,58 мкм; 0,60 – 0,70 мкм; 0,70 – 0,90 мкм; 0,80 – 0,90 мкм) в 2 раза меньше. Пространственное разрешение камеры среднего разрешения в пять раз меньше чем ШМСА-ВР и составляет 60 и 120 м, соответственно.

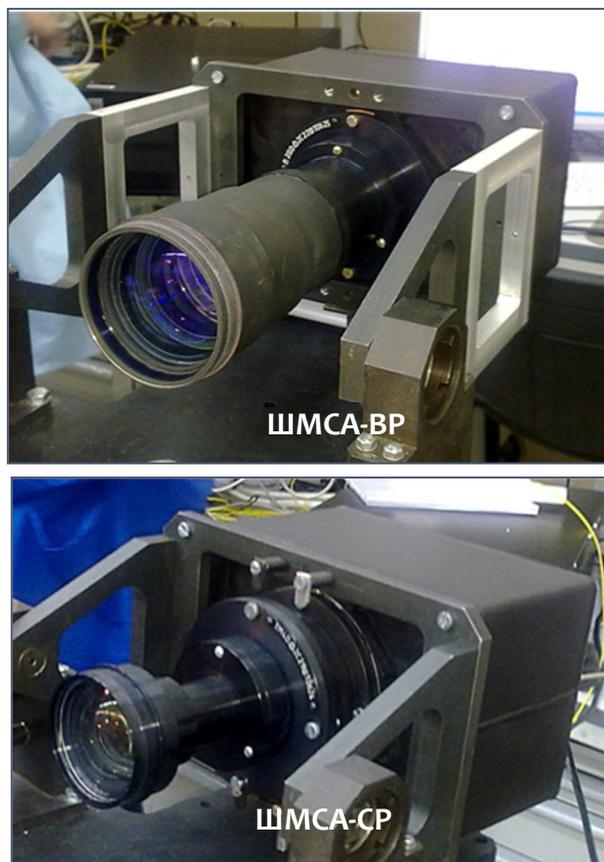


Рис. 1. Камеры ШМСА-ВР и ШМСА-СР на стенде оптотехнических испытаний

Конструктивно аппаратура КШМСА представляет две камеры и блок управления, расположенные на одном основании. Суммарная масса аппаратуры 19 кг. Электроника камер практически полностью унифицирована. Они отличаются только объективами и управляющими программами. В камере ШМСА-ВР используется объектив П-200 с фокусным расстоянием 200 мм и относительным отверстием 1:3, а в камере ШМСА-СР объектив ТМ-40 с фокусным расстоянием 40 мм и относительным отверстием 1:4. Объективы ТМ-40 и П-200 были разработаны и изготовлены на ОАО «ЛЗОС» специально для ис-

пользования в оптико-электронных камерах КШМСА космического аппарата «Ресурс-П» и обладают хорошими стабильными термобарическими характеристиками.

В качестве фотоприёмников используются линейки ПЗС с длиной строки 8 тыс. пикселей для панхроматического канала и 4 тыс. пикселей для каждого из пяти мультиспектральных. Каналы видимого и ближнего инфракрасного диапазона конструктивно несколько разнесены по пространству. На выход камер с каждого спектрального канала поступает 12-ти разрядная видеoinформация в сопровождении БШВ, соответствующей времени съемки каждой строки, а также другой полезной служебной информации. Для передачи данных в бортовое запоминающее устройство в камерах используется оптиковолокнонный интерфейс унифицированный с другими инструментами («Геотон» и ГСА) КА «Ресурс-П» и способный передавать до 960 Мбит/с по одной линии. Масса комплекса КШМСА около 19 кг. Максимальное энергопотребление 41 Вт.

Аппаратура КШМСА разработана в филиале АО «РКЦ «Прогресс» - НПП «ОПТЭКС». По своим характеристикам обе мультиспектральные широкозахватные камеры ориентированы на проведение наблюдений и получение информации о подстилающей поверхности Земли в интересах сельского хозяйства, землепользования, контроля состояния лесных и водных ресурсов, картографирования пахотных земель, составления прогнозов урожайности. Кроме того, оперативные данные КШМСА окажут незаменимую пользу при мониторинге районов чрезвычайных ситуаций. Данные ШМСА-СР обзорного характера прекрасно подходят для контроля за районами лесных и степных пожаров, а также окажутся полезными для метеорологии, определения границ снежного и ледового покрова, развития процессов вегетации. За полтора года работы в составе КА «Ресурс-П» № 1 сняты десятки миллионов квадратных километров суши и морских акваторий по всему земному шару. Изготовлено 3 комплекта аппаратуры КШМСА: первый эксплуатируется в составе КА «Ресурс-П» № 1, 2-й в настоящее время завершает ЛКИ в составе «Ресурс-П» № 2, а 3-й проходит наземные испытания в составе КА № 3. Нарботанный опыт эксплуатации широкозахватного мультиспектрального комплекса позволяет уверенно судить о востребованности информации КШМСА, а опыт её создания и запросов потребителей позволяет определить возможные

пути её модернизации для применения в составе КА «Ресурс-П» № 4 и № 5. В частности, на основе разработанных камер ШМСА-ВР рассматривается возможность построения комплекса, включающего в себя 2-3 таких камеры. Это позволит получить высокопроизводительную обзорную аппаратуру с разрешением порядка 12 м и полосой обзора 200-300 км. Ещё одним направлением модернизации может быть повышение разрешающей способности камер за счет использования более длиннофокусной светосильной оптики. Специалистами НПП «ОПТЭКС» и ОАО ЛЗОС проработаны технические аспекты и показана возможность разработки и установки на КШМСА объектива с фокусным расстоянием от 300 до 500 мм для улучшения разрешающей способности до 8, или даже 5 метров. Неизбежное снижение полосы захвата отдельной камеры может быть компенсировано использованием опять же 2-3 однотипных камер.

ШИРОКОПОЛЬНАЯ ИЗОБРАЖАЮЩАЯ ВУФ-КАМЕРА ВЫСОКОГО УГЛОВОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

*Ю.В. Бажанов **, *В.А. Бойко **,
*Ю.А. Видецких **, *Е.Н. Демура **,
*С.В. Куклев ***, *Д.С. Соколов ***, *Е.А. Шатова **
** ОАО «НПП «Геофизика-Космос» (г. Москва)*
*** ООО «МЭЛЗ ФЭУ» (г. Москва)*

В докладе рассматривается техническое решение построения широкопольной изображающей камеры высокого углового разрешения ВУФ диапазона спектра (133÷180 нм) для применения на КА с орбитой типа «Молния».

ВУФ-камера предназначена для глобального контроля и мониторинга состояния полярной ионосферы Земли и состоит из широкопольного зеркально-линзового внеосевого объектива и сверхвысокочувствительного гибридного фотоприемника.

Область применения: глобальная модель ионосферы Земли, прогнозы космической погоды, исследование фонов атмосферы Земли для обеспечения решения прикладных задач СПРН, ПРО и т. д.

**УНИФИЦИРОВАННЫЙ РЯД СОВРЕМЕННЫХ ФПУ
НА БАЗЕ ШИРОКОФОРМАТНЫХ ФППЗ РАЗРАБОТКИ И
ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОН»
ДЛЯ ВИДИМОГО, УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И БЛИЖНЕГО
ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНОВ ДЛИН ВОЛН**

*О.В. Алымов, Е.Г. Лобанова,
В.А. Минкин, С.С. Татаурицков
ОАО ЦНИИ «Электрон» (г. Санкт-Петербург)*

В настоящее время ОАО «ЦНИИ «Электрон» принимает участие в выполнении ФЦП по разработке современных фотоприемных устройств (ФПУ), отличающихся предельными физическими параметрами, прежде всего чувствительностью, разрешающей способностью и низким уровнем шума для заданных спектральных диапазонов. В 2013 году ОАО «ЦНИИ «Электрон» успешно завершил выполнение ОКР: «Разработка унифицированного ряда ФПУ на базе крупноформатных фоточувствительных приборов с переносом заряда (ФППЗ) для видимого, ультрафиолетового и ближнего инфракрасного диапазонов длин волн для систем ДЗЗ», шифр «Фотик-3». В настоящее время выполняется ОКР «Разработка промышленной технологии изготовления оптико-электронных каналов для ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов длин волн на базе фотоприемных устройств (ФПУ) с широкоформатными (до 4000×4000 элементов) утоненными фоточувствительными приборами с переносом заряда (ФППЗ)», шифр «Радуга».

Данные работы посвящены наиболее перспективному направлению развития современной фотоэлектроники:

– разработке ФПУ на базе крупноформатных утоненных ФППЗ, освещаемых со стороны подложки, с квантовой эффективностью в максимуме спектрального диапазона превышающей 80% и числом фоточувствительных элементов не менее 4000×4000.

В настоящее время ФПУ на крупноформатных утоненных ФППЗ являются самыми сложными изделиями из всех современных твердотельных фотоприемных устройств. Их применение распространяется на области, где необходимо достижение предельных физических параметров, прежде всего чувствительности и разрешающей способности, а значит дальности и точности обнаружения и определения параметров объекта.

Разработка унифицированного ряда ФПУ (ФПУ-1М с числом элементов ФППЗ 1536×1536 и ФПУ-2М с числом элементов ФППЗ

4096x4096) на базе высокочувствительных утоненных ФППЗ, освещаемых с обратной стороны, проводилась в рамках государственного контракта № 11411.1000400.11.146 от 02.12. 2011 г.

Целью работы являлось создание унифицированного ряда ФПУ на базе крупноформатных ФППЗ для видимого, ультрафиолетового и ближнего инфракрасного диапазонов спектра на основе высокотехнологичных фоточувствительных приборов с зарядовой связью.

ФПУ предназначены для применения в системах повышенной точности обнаружения малоразмерных объектов, а также для решения задач дистанционного зондирования Земли из космоса.

Применение предлагаемых к разработке ФПУ позволит повысить дальность обнаружения и распознавания малоразмерных объектов и улучшить точность определения их координат, а также обеспечить создание космических систем ДЗЗ с повышенными функциональными характеристиками.

Разработанный унифицированный ряд ФПУ на базе высокочувствительных утоненных ФППЗ, освещаемых с обратной стороны, ориентирован на серийное изготовление в ОАО «ЦНИИ «Электрон».

Электрические и фотоэлектрические параметры ФПУ-1М и ФПУ-2М при приемке и поставке в нормальных климатических условиях соответствуют нормам, приведенным в таблице 1.

Таблица 1

Нормы электрических и фотоэлектрических параметров ФПУ-1М и ФПУ-2М при приемке и поставке в нормальных климатических условиях

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма	
		не менее	не более
Напряжение насыщения, мВ	Us	600	–
Заряд насыщения, тыс. эл-н	Qs	120	–
Динамический диапазон, крат	D	2400	–
Квантовая эффективность в максимуме спектрального диапазона, %	QE	80	–
Относительная неравномерность выходного сигнала, %	δU	–	10
Относительная неравномерность темнового сигнала, %	δU_d	–	2

Темновой сигнал, мВ/с	Ud	–	400
Эффективность переноса по горизонтали, отн. ед.	TEh	0,99995	–
Эффективность переноса по вертикали, отн. ед.	TEv	0,99995	–
Число дефектных элементов, шт.	N	–	2000

ФПУ, разработанные в соответствии с РАГС.463260.001(002) ТУ, предназначены для использования в температурном диапазоне от минус 600 С до плюс 600 С, имеют наработку на отказ не менее 50000 часов и срок сохраняемости не менее 20 лет.

В ходе работы были получены и исследованы опытные образцы ФППЗ, имеющие максимум спектральной чувствительности в различных областях спектра, в зависимости от технологии просветления и очувствления кремния.

ФПУ, разработанные в соответствии с РАГС.463340.001(002) ТУ, предназначены для использования в температурном диапазоне от минус 400С до плюс 500С, имеют наработку на отказ не менее 10000 часов и срок сохраняемости не менее 10 лет. В ходе технологического ОКР «Радуга» планируется повысить технологический процент выхода годных и добиться повышения качества поставляемых изделий.

Разработанные и освоенные в производстве ОАО «ЦНИИ «Электрон» фотоприемные устройства находятся на современном техническом уровне и позволяют Заказчикам данных изделий повысить точность своих систем при применении унифицированных высокочувствительных ФПУ

ГИБРИДНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПРИБОРЫ НА ОСНОВЕ ЭЧ ППЗ

*М.Р. Айнбунд., О.В. Алымов, Е.Б. Андреева,
И.С. Васильев, Е.Е. Левина, А.В. Пашук,
С.А. Плахов, В.А. Попов, И.А. Свищёв, О.В. Чернова
ОАО ЦНИИ «Электрон» (г. Санкт-Петербург)*

Гибридный фотоприемник (ГФП) – электровакуумный прибор, содержащий в общем вакуумном объеме фотокатод и твердотельный элемент – специальную утоненную матрицу электронно – чувствительного ППЗ (ЭЧ ППЗ – Electron Bombardment Backside CCD). Между фотокатодом и ЭЧ ППЗ подается напряжение в несколько киловольт.

Размножение электронно-дырочных пар в кремнии при его бомбардировке электронами с энергией свыше 2-3 кэВ обеспечивает докоммутиационное усиление сигнала фотоэлектронов в несколько сот раз.

По сравнению с составными фотоприемниками, состоящими из ЭОПа и ФППЗ, сочлененных через ВОП, отсутствует ВОП, что повышает радиационную стойкость, отсутствует микроканальная пластина (МКП), что обеспечивает фактор шума не более 1,1 (тогда как в приборах с МКП фактор шума составляет 1,6 – 2).

На экспериментальных образцах ГФП достигнут квантовый выход TeCs фотокатода 20 % и более для длин волн 260 – 280 нм. Получены пороговая облученность $(3 - 5) \cdot 10^{-10}$ Вт/см² при ускоряющих напряжениях 4,7 – 5,5 кВ. На рис.1 приведена абсолютная спектральная чувствительность образца ГФП с квантовым выходом фотокатода 15% в максимуме при ускоряющем напряжении 4,7 кВ, а на рис.2 для этого же образца приведены экспериментальные зависимости отношения сигнал/шум при двух значениях ускоряющего напряжения и облучения прибора на 260 нм. Полученные зависимости достаточно близки к расчетным зависимостям отношения сигнал/шум для ГФП с фактором шума 1 – 1,1 (в расчете пренебрегли шумами самой матрицы и электроники).

Ведутся работы по оптимизации ионного легирования ЭЧ ППЗ, что позволит снизить ускоряющее напряжение, оставив коэффициент усиления на том же уровне. А уменьшение шумов аппаратуры и усиление снимаемого с ГФП сигнала позволит достичь более низких пороговых и рабочих облученностей.

Также в ОАО ЦНИИ «Электрон» ведутся работы по созданию гибридного прибора с фотокатодом для диапазона 0,9 – 1,7 мкм. Ожидается получение фотокатода на структурах InP/InGaAs с квантовым выходом 10% и более.

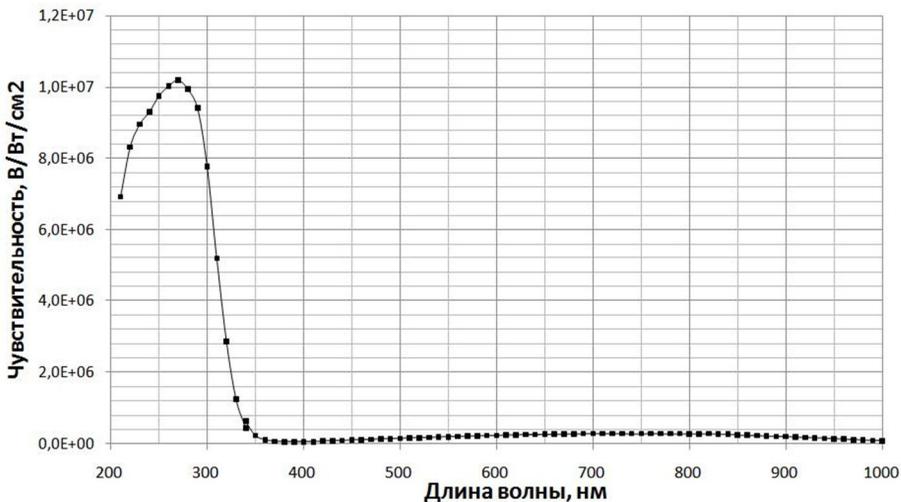


Рис. 1. Абсолютная чувствительность ГФП

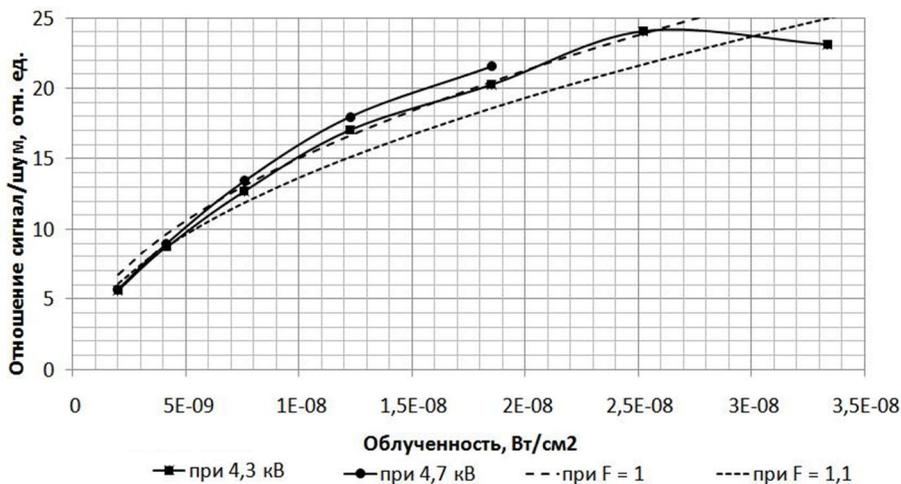


Рис. 2. Отношение сигнал/шум (экспериментальные и расчетные)

ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ БОРТОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

Уже более 13 лет коллектив ЗАО «НПП «ЭЛАР» занимается производством ФПЗС ФЗН микросхем для оснащения систем ДЗЗ различного назначения. Датчики и системы, произведенные в ЗАО «НПП «ЭЛАР», установлены в бортовую аппаратуру большого КА производства России и Республики Беларусь.

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

Начиная с мая 2010 года ЗАО «НПП «ЭЛАР» осуществляет производство ФПЗС «Крузиз-6» с размером фоточувствительной ячейки 6х6 мкм и на данный момент поставило их уже более 800. Кроме того, для применения в упомянутой аппаратуре, ЗАО «НПП «ЭЛАР» выпускает 5 типов фоточувствительных модулей «Крузиз-Ц-Б» с интегрированным трехзонным светофильтром. Типы фоточувствительных модулей различаются набором спектральных каналов, определяемым интегрированным трехзонным светофильтром. Перечисленные фотоприемники работают в системах ДЗЗ КА «Ресурс-ДК», «Ресурс-П» № 1, «Ресурс-П» № 2, а также других аппаратов. В настоящее время осуществлены поставки ФПЗС ВЗН для КА «Ресурс-П» №3 и ведутся поставки для КА «Ресурс-П» № 4 и № 5. На настоящее время оформляются договора и запланированы работы по поставке более 2500 фотоприемников «Крузиз-6» и «Крузиз-Ц-Б».

Помимо ФПЗС ВЗН, для аппаратуры высокого разрешения, ЗАО «НПП «ЭЛАР» разработало и поставляет ФПЗС «Кадр-РП», предназначенный для применения в гиперспектральной аппаратуре (ГСА), которой оснащены все КА «Ресурс-П». Данный матричный фотоприемник, при ширине фотозоны 1024 элемента, обеспечивает уникальные фотохарактеристики и кадровую частоту до 1 кГц.

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

фотоприемники работают в аппаратуре ДЗЗ КА «EgyptSat 2».

В рамках ОКР «Разработка опережающего задела бортовых приборов дистанционного зондирования Земли, в части создания многоканального оптико-электронного комплекса с высоким пространственным разрешением» (шифр ОКР «Прибор-ОЭК») изготовлено семейство широкоформатных ФПЗС ВЗН. На данный момент эти приборы являются самыми крупными матричными фотоприемниками отечественного производства. Семейство представляют два ФПЗС для панхроматического и спектрозонального каналов:

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

Дальнейшее совершенствование этих датчиков проводится в рамках ОКР «Пиксел-ВД» и «Прибор-СР». В разрабатываемых датчиках будет реализована возможность двунаправленного считывания и значительно увеличена частота считывания видеосигнала. В ОКР «Пиксел-ВД» будет разработан и изготовлен спектрозональный ФПЗС ВЗН, в котором чувствительность будет увеличена за счет конструкции с обратной засветкой.

В ФПЗС ВЗН «Комби» (ОКР «Прибор-СР») заложена конструкция, сочетающая на одном кристалле панхроматический (размер ячейки 9x9 мкм и формат строки 6144 элемента) и 4 спектральных канала (размер ячейки 18x18 мкм и формат строки 3072 элемента), что обеспечит более эффективное использование площади в фокальной плоскости оптоэлектронной аппаратуры.

Кроме ФПЗС ВЗН для комплектования целевой аппаратуры ЗАО «НПП «ЭЛАР» ведет поставки фотоприемников для систем астроориентации: ФППЗ «Лев-3» и ФПЗС «Сфера-1000». В рамках ОКР «Прибор-ОЭК» был разработан и изготовлен фотоприемник для перспективной системы астроориентации форматом 3600x2500 элементов. В разработке находится следующее поколение датчиков данного типа (форматом фотозоны 1024x1024 и 2048x2048 элементов), которые будут отличаться улучшенными фотоэлектрическими характеристиками и повышенной надежностью.

Совместно с ОАО ЦНИИ Электрон разработан прибор форматом 4096x4096 элементов, который является базовым для ряда космиче-

ских применений. Его модификация в утоненном варианте с обратной засветкой обеспечит высокую квантовую эффективность не только в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн (85-90%), но и в вакуумном УФ.

НПП «ЭЛАР» совместно с группой компаний «Силар» разрабатывает целый ряд комплексированных изделий для задач космического применения, в т. ч. Формирователи Сигналов Изображения (ФСИ) на основе виртуально-фазных ФПЗС для корректировки фокусировки телескопов, блоки управления и обработки сигналов ФПЗС для звездных датчиков на основе термостабилизированных ФПЗС, а также тепловизионные камеры на основе микроболометрических матриц. Для обеспечения корректного измерения разрабатываемых ФПЗС компании выпускают большой спектр автоматизированного измерительного оборудования, включая и прецизионные осветители с неравномерностью освещенности по полю изображения в единицы процентов.

РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННОГО РЯДА ЛИНЕЙНЫХ ФППЗ

*В.А. Арутюнов, Н.Г. Богатыренко,
Е.Ю. Илизавская, А.Е. Прокофьев
ОАО «ЦНИИ «Электрон», (г. Санкт-Петербург)*

В «ОАО ЦНИИ Электрон» разрабатывается унифицированный ряд линейных ФППЗ с шагом 6,5 мкм и числом элементов 4096, 6000 и 12000. Данные ЛФППЗ предназначены для перспективных систем наблюдения и могут служить основным элементом при создании спектрональных систем высокого разрешения в широком диапазоне длин волн $0,3 \div 0,9$ мкм.

Особое внимание при разработке ряда ЛФППЗ уделено проблеме стойкости к ВВФ, что актуально при создании систем космического базирования.

Фоточувствительная область состоит из обедненных диодов с электродом накопления, что обеспечивает высокую чувствительность и однородность всех элементов, а также обеспечивает большой динамический диапазон.

Секция накопления имеет встроенное устройство антиблуминга, которое обеспечивает хорошую кратность пересветки и может использоваться для управления электронным экспонированием.

В докладе обсуждается комплекс параметров, характеризующих данный унифицированный ряд линейных ФППЗ:

- архитектурные особенности ЛФППЗ
- параметры фоточувствительных элементов (спектральные характеристики фоточувствительных элементов, темновые токи, разброс геометрии параметров, апертурные характеристики)
- параметры антиблуминга (кратность пересветки и временные рамки электронного экспонирования)
- параметры быстродействия и неэффективности переноса ПЗС регистров опроса,
- параметры разрешающей способности

На примере разработанной в ОАО «ЦНИИ «Электрон» ЛФППЗ с числом элементов разрешения 12000 приведены результаты проведенных измерений параметров.

Таблица 1

Параметры ЛФППЗ с числом элементов разрешения 12000

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	
Число фоточувствительных элементов	N	12000
Размер фоточувствительных элементов, мкм		6,5x6,5
Шаг фоточувствительных элементов, мкм		6,5
Напряжение насыщения, В	$U_{C \text{ НАС}}$	2,0
Монохроматическая чувствительность, $\lambda=670$ нм; В/мкДж/см ²	S	3,0
Относительная неравномерность темнового сигнала, %	$\square U_T$	± 10
Динамический диапазон выходного сигнала, отн. ед.	D	6000
Число выходных регистров	n	4
Число выходных узлов	m	4
Скорость вывода данных по каждому регистру, МГц	F	5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СВЕРХВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ РАДИОЛИНИИ ДЛЯ СИСТЕМ ДЗЗ

*А.Н. Ершов, В.В. Березкин,
А.В. Петров, Д.А. Почивалин, С.В. Петров
ОАО «Российские космические системы»
(г. Москва)*

Бурное развитие систем дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) обусловленное возрастающими потребностями как на внешнем так и на внутреннем рынках, сопровождается качественным совершенствованием сенсоров, сканеров, и другой аппаратурой мониторинга земной поверхности, что, в свою очередь, ведет к повышению требований к аппаратуре сбора, хранения и передачи информации. С целью сохранения позиций России на мировом рынке систем ДЗЗ и повышения конкурентоспособности, в федеральной космической программе на 2025 г. изложены требования к перспективной бортовой и наземной аппаратуре. В связи с этим появляется необходимость создания перспективной сверхвысокоскоростной радиолинии, обеспечивающей возрастающие потребности по информативности в соответствии с требованиями ФКП.

В докладе приводятся характеристики эксплуатируемых в настоящее время скоростных радиолиний, обеспечивающих передачу и прием информации от существующих КА систем ДЗЗ.

Приводятся результаты испытаний разработанных в ОАО «Российские космические системы» бортовых и наземных аппаратурных комплексов X – и Ka – диапазонов, предназначенных для ряда высокоинформативных перспективных КА, со следующими основными характеристиками:

- информативность до 800 Мбит/с;
- виды модуляции 8PSK и 16APSK;
- символные скорости в канале 266.(6) МГц и 200 МГц соответственно;
- вид кодирования – турбокод произведения (TPC) с кодовой скоростью $R=0.8$;
- формирование спектров квадратур модулирующего сигнала обеспечивается SRRC фильтром с коэффициентом скругления $r=0.3$.

Приводятся скоростные характеристики радиолиний действующих зарубежных космических систем ДЗЗ и параметры некоторых перспективных радиолиний.

Рассматриваются предложения ОАО «Российские космические системы» по созданию перспективных сверхвысокоскоростных радиолиний на основе результатов полученных в ходе испытаний аппаратурных комплексов X – и Ka – диапазонов и анализа зарубежных аналогов.

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ФУРЬЕ-ИНТЕРФЕРОГРАММ

¹ А.А. Дудкин, ¹Л.П. Поденок, ²Д.Ю. Перцев

¹Объединенный институт проблем информатики
НАН Беларуси, (Республика Беларусь, г. Минск),

²Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, (Республика Беларусь, г. Минск)

Разработан блочно-субполосный алгоритм вейвлет-сжатия Фурье-интерферограмм, включающий межкадровую декорреляцию, переход в частотную область (при сжатии без потерь используются вейвлеты 5/3, при сжатии с потерями – вейвлеты 9/7) и непосредственно алгоритм сжатия, блок-схема которого представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма сжатия

Задача алгоритма сжатия – обработка областей с большой энергией, что позволяет в первую очередь закодировать наиболее значимые коэффициенты (эта особенность позволяет ограничить уровень бито-

вой плоскости, сохранив приемлемое качество). Для оптимизации поиска наиболее значимых коэффициентов используется пирамида (рис. 2). Корневым элементом пирамиды является самый верхний, размерностью 2×2 элемента. Каждый последующий уровень аппроксимирует и детализирует вейвлет-коэффициенты, расположенные на предыдущих уровнях. В основании пирамиды размещаются оригинальные значения вейвлет-коэффициентов. Этап кодирования аналогичен алгоритму SPECK.

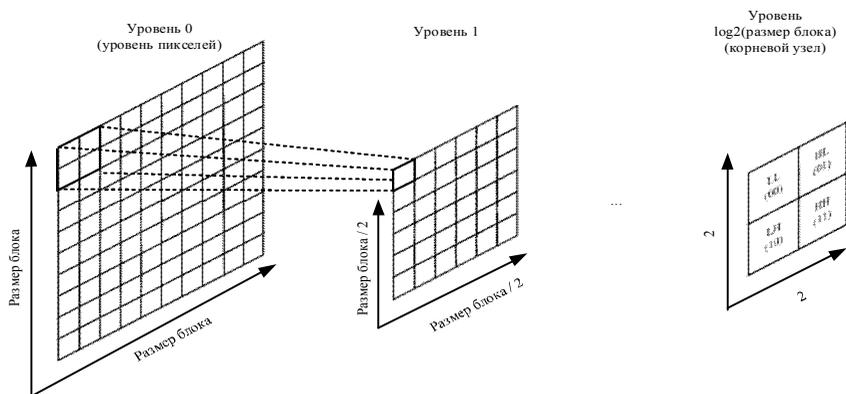


Рис. 2. Структура пирамиды

При тестировании алгоритма получены коэффициенты сжатия около 2 раз при сжатии без потерь и около 6 раз при сжатии с потерями и значение PSNR более 45 дБ.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ БОРТОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.Н. Григорьев, Е.А. Дудин, Е.И. Шабатов, В.В. Октябрьский
Федеральное государственное казенное военное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Повышение эффективности применения современных космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), как правило, обеспечивается улучшением отдельных технических характеристик кос-

мических аппаратов с целевой аппаратурой и применением их согласованных группировок, а также совершенствованием наземных комплексов приема и обработки данных. Наряду с аппаратными инновациями существуют возможности для повышения производительности систем за счет развития элементов комплекса обработки данных дистанционного зондирования, включающего бортовую и наземную компоненты.

Актуальной является задача сброса данных от космических аппаратов ДЗЗ на наземные пункты приема, которая может решаться увеличением пропускной способности каналов связи и применением методов сокращения избыточности. К последним можно отнести традиционные методы компрессии потоков регистрируемых данных, методы сокращения пространственной избыточности данных при наблюдении малоразмерных объектов и методы отбраковки данных по признаку их пригодности для решения практических задач. По каждой группе методов имеются наработки, демонстрирующие целесообразность и возможность их использования в системах ДЗЗ различного назначения при современном уровне развития технологий космического конструирования и оптико-электронного приборостроения.

Разработанный метод компрессии ориентирован для использования при работе с панхроматическими снимками высокого пространственного разрешения, имеет адаптивный характер и основывается на использовании банка фильтров прямого/обратного вейвлет-преобразования. В алгоритме применяется блок решений, обеспечивающий требуемое качество восстановленного изображения при высокой степени сжатия. Экспериментальные исследования метода компрессии на основе реальных данных продемонстрировали его устойчивые возможности по сжатию данных больших объемов более чем в 20 раз без видимых потерь. Количественная оценка качества компрессии – пиковое отношение сигнал/шум, составляет не менее 30 дБ.

Сокращение пространственной избыточности данных на борту КА ДЗЗ является потенциально полезным решением при оперативном наблюдении малоразмерных объектов, обеспечивающим быстрое получение потребителем информативной части зарегистрированных данных. Выполнение такой задачи является возможным за счет использования высокоточных прогнозов орбитального движения КА, имеющего достаточные характеристики по заданию ориентации и стабилизации платформы, имитационного

моделирования стохастического процесса формирования изображения местности с объектами и некоторой доработки бортового специального оптико-электронного комплекса. Разработан способ ведения космической съемки при решении срочных задач с сокращением пространственной избыточности данных ДЗЗ на борту и сбросом по каналам космической связи, имеющий возможность отложенной передачи всего объема зарегистрированных данных.

Известно, что основной помехой при ведении оптико-электронной съемки из космоса являются поля облачности. Разработаны концепция и пути реализации бортового оценивания полей облачности над объектами дистанционного зондирования, что позволит производить отбраковку непригодных данных непосредственно на КА ДЗЗ и освободить каналы связи для сброса полезных данных. Реализация такой функции потребует усовершенствования бортового специального оптико-электронного комплекса для регистрации требуемых данных о полях облачности в поле зрения целевой аппаратуры. Кроме того, выполнена адаптация алгоритмов вычисления маски облачности для применения в бортовом спецвычислителе и конкретизация механизма отбраковки данных по признаку покрытия объекта облачностью.

Разработанные методы обработки данных ДЗЗ создают предпосылки для проектирования новых систем, способных на более высоком качественном уровне обеспечивать получение и использование результатов космической деятельности.

ИСПЫТАНИЯ В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ РАДИОТОМОГРАФИИ

*В.Т. Минлигарев, Ю.М. Качановский, Е.А. Паньшин, А.В. Алексеева
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова»
(г. Москва)*

Одной из задач гелиогеофизического мониторинга околоземного космического пространства является выявление неоднородностей ионосферы. Оперативный учет ионосферных возмущений различного происхождения позволил бы существенно повысить эффективность решения таких задач, как обеспечение высокоточной спутниковой навигации с помощью одночастотной аппаратуры в стандартном и

дифференциальном режиме, расчет трасс распространения сигналов при коротковолновой связи, контроль качества спутниковых радиоканалов связи, учет действия факторов космического пространства на космические аппараты (КА) и т. д.

Кроме того, актуальность повышения качества ионосферных наблюдений в Росгидромете определена необходимостью выдачи достоверных прогнозов об опасных гелиогеофизических явлениях (ОГЯ) потребителям.

Для решения вышеперечисленных задач в федеральном государственном бюджетном учреждении «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова» (ФГБУ «ИПГ») был разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК) низкоорбитальной радиотомографии (ПАК НОРТ). Комплекс служит инструментом для определения распределения электронной концентрации в ионосфере. Основным принципом работы приемника СПБР является расчет относительной разности фаз когерентных трансionoсферных спутниковых сигналов на частоте 150 и 400 МГц. Устройство является типовым элементом сети низкоорбитальной радиотомографии ионосферы, которое применяется на Государственной наблюдательной сети.

В соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» ионосферные наблюдения в Росгидромете попадают в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений. Необходимым условием качества обеспечения указанных направлений является достижение требуемой точности, достоверности и сопоставимости результатов измерений при выполнении наблюдений за состоянием ионосферы. В связи с этим были проведены испытания приемников низкоорбитальной радиотомографии СПБР с целью утверждения типа и внесения их в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (Госреестр средств измерений).

При проведении испытаний исследуемыми характеристиками приемников СПБР являлись следующие измерения:

- разности фаз сигналов на частоте 150 и 400 МГц в течение сеанса связи;
- слежение за центральной частотой когерентного сигнала космического аппарата (КА).

В ходе проведенных испытаний получены следующие результаты:

- автоматическое слежение за когерентным сигналом КА осуществляется в пределах ± 8 кГц от центральной частоты;
- набег разности фаз двух когерентных сигналов за один сеанс измерений на частотах 150,012 МГц и 400,032 МГц составляет не более 0,007 рад.

Данные результаты позволяют определить полное электронное содержание ионосферы с требуемой точностью ($\Delta = \pm 2 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-2}$).

Также, в процессе разработки находится методика, предусматривающая проведение проверки установленных приемников низкоорбитальной радиотомографии СПБР дистанционно, на основе массива данных гелиогеофизической службы ФГБУ «ИПГ», что значительно сократит материальные и временные издержки на метрологическое обслуживание аппаратуры.

СЕКЦИЯ 4. НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

ПРИБОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ ЗЕМЛИ

*В.А. Бойко **, *Ю.А. Видецких **, *Е.В. Дергаус **,
*В.П. Коношенко ***, *О.Ю. Криволапова ***
** ОАО «НПП «Геофизика-Космос» (г. Москва),*
*** ОАО «РКК «Энергия» (МО, г. Королёв)*

В докладе рассматриваются технические решения построения комплекса научной аппаратуры (НА) «Климат» для обеспечения реализации космического эксперимента (КЭ) «Климат» на Российском сегменте МКС.

НА «Климат» предназначена для:

- отработки технологии глобального контроля и мониторинга климатообразующих факторов Земли и их изменчивости, обусловленной, в том числе, антропогенной деятельностью;
- получения информации о состоянии и изменчивости глобальных полей концентрации аэрозоля, озона и парниковых газов (H_2O , CO_2 ,

СН₄ и др.), а также SO₂, являющегося основным и постоянно пополняемым источником стратосферного аэрозоля.

НА «Климат» состоит из:

- ИК-Фурье-спектрорадиометра (ИК-ФСР) высокого спектрального разрешения (спектральный диапазон 3,5÷14,5 мкм; спектральное разрешение 0,01÷0,02 см⁻¹; ~ 110 000 спектральных каналов);
- многоканальной спектральной системы (МСС) УФ, ВИД и БИК диапазонов спектра (~ 500 спектральных каналов).

Используется общая входная оптика в составе телескопа и устройства пространственного сканирования (УПС). Геометрия наблюдений – в лимб и в надир.

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КА «КАНОПУС-В» НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИРОДОРЕСУРСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А.В. Марков, О.В. Григорьева, В.Ф. Мочалов, М.О. Иванец
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Одним из основных направлений использования многоспектральной (МС) камеры «Канопус-В» является информационное обеспечение мониторинга сельскохозяйственной деятельности, водных и прибрежных ресурсов, а также процессов землепользования, включая управление лесными ресурсами. Эффективное использование МС данных в системе мониторинга таких сложных природных комплексов, как лесные и сельскохозяйственные земли, определяется выбором оптимальных алгоритмов их обработки, а в некоторых случаях ограничивается многоканальностью спектральных каналов. При этом важно учитывать степень антропогенной преобразованности и мозаичность исследуемого ландшафта. В этом случае, для оценки информационных возможностей МС камеры «Канопус-В» были рассмотрены задачи ландшафтной классификации особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и районов интенсивного освоения земель в Ленинградской области и разработана методика их обработки с целью максимально достоверной классификации растительного ландшафта на категории. В качестве ООПТ были выбраны заказники «Юнтоловский» и «гряда Вярмянселькя», а в качестве районов хозяй-

ственного освоения – сельское поселение Раздольнинское, где появляются классы полей, населенных пунктов и других антропогенно измененных классов. Методика также была отработана при разработке карты распределения древесной растительности на территории космодрома «Восточный» в Амурской области.

Тематическая обработка материалов съемки осуществлялась с привлечением комплекса программных реализаций, основанных на предложенных алгоритмах классификации изображений.

В процессе разработки в первую очередь оценивалась информационная возможность распознавания основных типов лесообразующих пород на территории заказников с помощью методики имитационного моделирования оптико-электронной аппаратуры КА «Канопус-В» с известными параметрами приемника излучения и оптики при заданных режимах полета носителя и условиях наблюдения. Методика основана на знании спектральных характеристик объекта, выраженных в значениях коэффициентов спектральной яркости. Информация о коэффициентах спектральной яркости основных лесообразующих пород была взята из разработанной в академии библиотеки спектральных характеристик элементов ландшафта.

Непосредственно для тематической обработки многоспектральных данных КА «Канопус-В» был применен ансамблевый алгоритм, который заключается в последовательном использовании метода параметрической классификации с построением обучающей выборки по результатам сегментации и неуправляемой классификации (Isodata). Для «обучения» алгоритма использовалась информация из базы данных коэффициентов спектральной яркости элементов ландшафта с учетом фенологического периода съемки. Построение обучающей выборки осуществлялось в соответствии с критериями принадлежности, выраженными в виде специальной метрики. При этом в пределах кластера предусмотрено назначение нескольких обучающих выборок, относящихся к разным классам ландшафта. Для этого оценивается компактность кластера с помощью индексов внутриклассового расстояния и путем анализа количества локальных максимумов функции плотности распределения, описываемой с помощью многомерной оценки Парзена-Розенблатта для каждого кластера.

При выборе метода классификации были апробированы методы максимального правдоподобия, искусственной нейронной сети и опорных

векторов. Верификация результатов классификации осуществлялась в ходе визуального дешифрирования данных более высокого пространственного разрешения, а также по данным полевых лесотаксационных описаний этих участков. Наименьшие ошибки первого и второго рода при классификации лесного покрова были получены при использовании параметрического метода максимального правдоподобия на основе байесовского подхода, общепризнанного за рубежом и до сих пор сохраняющего прочные позиции в теории распознавания.

По итогам верификации результатов тематической обработки и оценки объема информации, извлеченной из данных космической съемки «Канопус-В», можно сделать вывод, о том, что они обладают значительным потенциалом для проведения экологического контроля природных объектов, находящихся под государственной охраной, на постоянной основе, не уступая по возможностям зарубежным космическим аппаратам, таким как RapideEye.

**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ
ВЫСОКОТОЧНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ
ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОТ КА «МЕТЕОР-М» № 2**

**В.А. Ермаков, *М.В. Новиков, *А.Л. Чуркин,*

***В.В. Еремеев, **А.Е. Кузнецов*

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

***ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет»
(НИИ «Фотон») (г. Рязань)*

Важнейшей задачей, определяющей эффективность практического использования космических комплексов гидрометеорологического назначения, является обеспечение высокоточной геодезической привязки целевой информации в автоматическом режиме. Для ее решения на КА «Метеор-М» № 2 установлено навигационное оборудование, включающее приемник ГЛОНАСС/GPS и два звездных датчика. Это оборудование позволяет определять пространственное положение спутника с точностью 10 – 15 м и его угловую ориентацию с СКО 3 4". То есть с предполагаемыми ошибками геопривязки видеоданных порядка 60 м.

Однако первые результаты оценки точности геопривязки материалов съемки показали, что реальные погрешности в определении коор-

динат объектов земной поверхности составляют значительную величину. Например, для изображений от датчика МСУ-МР ошибки определения координат составили 40 – 50 км. Для повышения точности геопривязки были выполнены работы по геометрической калибровке аппаратуры МСУ-МР и КМСС, включающие уточнение элементов внутреннего ориентирования и установочных углов приборов относительно виртуального звездного датчика. Калибровка выполнялась с помощью программного комплекса MeteorControl, разработанного РГРТУ по заказу ВНИИЭМ в рамках отдельных работ, не предусмотренных в ТЗ на КК «Метеор-М» № 2.

В докладе отмечаются особенности геометрической калибровки аппаратуры МСУ-МР и КМСС и приводятся значения поправок к элементам внутреннего ориентирования и конструктивным углам приборов. Показано, что после выполнения этой операции ошибки геопривязки на изображениях отдельных спектральных каналов не превосходят 1 – 2 пикселей.

Дальнейшие исследования показали, что для достижения пиксельной точности геопривязки изображений всех спектральных каналов аппаратуры МСУ-МР требуется дополнительно оценить параметры взаимного рассогласования спектральных каналов и выполнить их совмещение.

В докладе обосновывается, что для достижения пиксельной точности геопривязки цветосинтезированных изображений земной поверхности от аппаратуры КМСС необходимо учитывать рельефные искажения. Показано, что высокоточное геометрическое совмещение спектральнозональных изображений земной поверхности может быть выполнено в ходе ортотрансформирования каждого снимка в единую систему координат.

В заключении рассматривается еще один проблемный вопрос, связанный с обеспечением качества навигационной информации, которая поступает с аппаратуры БСКВУ-М. Приводятся примеры, показывающие, что сбои в измерительной информации вызваны как помехами, возникающими во время приема, так и сбоями в работе звездных датчиков. Рассматривается алгоритм геопривязки материалов съемки с учетом этих сбоев. Отмечается, что достигнутый опыт в геометрической калибровке и геопривязке по данным БСКВУ-М целесообразно распространить на другие типы съемочной аппаратуры КА «Метеор-М» № 2, 2-1, 2 2.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАНКА ОПОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ОТ ГРУППИРОВКИ КА «КАНОПУС-В»

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

В настоящее время в НКПОР-К/ОМЗ операция контроля точности геопривязки целевой информации каждого маршрута съемки от КА «Канопус-В» № 1 является обязательной. Это объясняется тем, что навигационные измерения не всегда обеспечивают требуемой точности геодезической привязки снимков земной поверхности. Например, при штатной работе звездных датчиков КА «Канопус-В» ошибки геопривязки изображений не превосходят 60 м. Однако встречаются случаи, когда из-за сильного углового движения или «засветки» звездных датчиков ошибки геопривязки достигают 1,5 – 2 км. Поэтому для выявления подобных ситуаций осуществляется контроль точности геопривязки съемки и, при необходимости, ее уточнение до значений порядка 15 – 20 м. Выполняется эта операция с помощью сервиса Google Map в ручном режиме со значительными временными затратами. Такое положение дел не позволяет создать технологию потоковой обработки, что является весьма актуальным при высокоавтоматизированном выполнении операций каталогизации и создания стандартных продуктов по данным от группировки КА «Канопус-В».

Решение данной проблемы, по аналогии с зарубежными спутниковыми системами, видится в создании и последующем использовании банка опорных растровых изображений земной поверхности. Это позволит:

- во-первых, создать замкнутую технологию по автоматическому контролю и уточнению точности геопривязки целевой информации и распознаванию на снимках облачности;
- во-вторых, организовать выдачу потребителям выходной продукции с гарантированной точностью, определяемой точностью топосновы;
- в-третьих, автоматизировать процесс периодической геометрической калибровки съемочных устройств;
- в-четвертых, создать независимые от Internet средства обеспечения точности геопривязки материалов съемки.

**Автоматический контроль точности
географической привязки
информации
от КА «Канопус-В»**

**Создание базы данных
опорных изображений.**

Структура базы данных:

- геокодированные снимки LandSat 8, панхроматический канал, разрешение 15 м/пк;
- цифровая модель рельефа SRTM (разрешение 90 м/пк, 1000 м/пк).

*Совместное отображение маршрута
съёмки КА «Канопус-В» и снимков из БД*

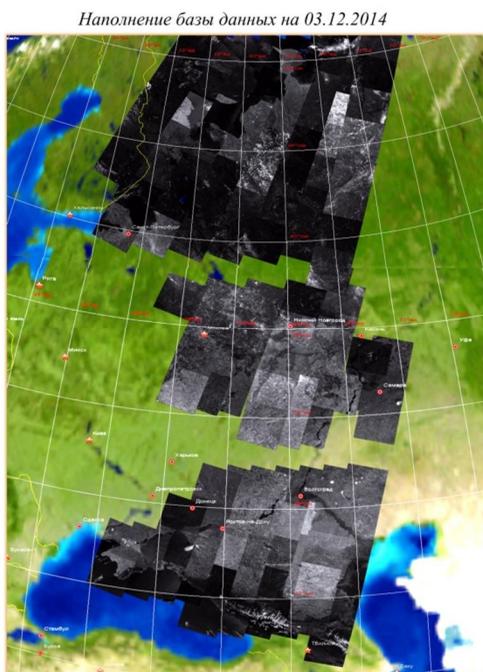
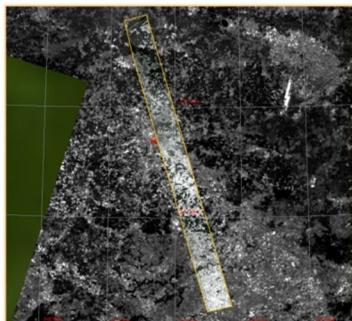


Рис. 1. Пример базы данных опорных изображений на основе снимков LandSat

Создание банка опорных данных – сложная задача, решение которой требует значительных ресурсов. Концепция ее создания включает:

- создание банка абрисов для нескольких регионов, используемых при калибровке съемочных устройств;
- создание и постоянную актуализацию непрерывного растрового покрытия наблюдаемых территорий.

В докладе рассматривается подход, позволяющий начать создание такого банка.

Первое, организовать съемку районов земного шара с максимальным числом ясных дней в году. Выполнить высокоточное ортоформирование получаемых снимков с использованием Google Map, из которых организовать формирование абрисов.

Второе, на основе свободно распространяемых снимков от КА LandSat создать непрерывное покрытие наблюдаемых со спутника

территорий. Пример такой технологии, разработанной РГРТУ, приведен на рисунке 1.

Третье, по мере выполнения съемок организовать замещение данных LandSat снимками от КА «Канопус-В».

ОБРАБОТКА И ПОСТАВКА ДАННЫХ РАДИОМЕТРА МСУ-МР СПУТНИКА «МЕТЕОР-М» № 2

*А.И. Алексанин, А.В. Громов, С.Е. Дьяков,
С.Н. Катаманов, И.В. Недолужко
Институт автоматизации и процессов управления
ДВО РАН (г. Владивосток)*

Рассмотрены вопросы первичной и тематической обработки данных радиометра МСУ-МР. Решены вопросы автоматической географической привязки, коррекции помех, калибровки спектральных каналов. Приводятся показатели точности первичной обработки.

Использование технологии географической привязки изображений, созданной в Спутниковом центре ДВО РАН, позволяет создать автоматический алгоритм привязки изображений с пиксельной точностью и прогноз привязки на несколько витков вперед. Результаты обработки данных накапливаются в галерее по адресу: http://www.satellite.dvo.ru/gallery/sat_image. Кросс-калибровка спектральных каналов 4, 5 и 6 показала, что спектральные аппаратные функции радиометра существенно отличаются от аналогичных, соответствующих радиометрам AVHRR. Поэтому она проводилась посредством пересчета излучения радиометра AVHRR спутника METOP-B/AVHRR в излучение МСУ-МР с помощью модели MODTRAN на основе прогнозных метеоданных центра США NCER. В то же время разницы каналов 5 и 6 у МСУ-МР ближе к разнице каналов радиометров 4 и 5 AVHRR. Это позволяет построить алгоритм расчета температуры поверхности океана по технологиям MCSST или NLSST без привлечения данных об атмосфере.

Высокая точность первичной обработки позволяет строить различные тематические карты по данным радиометра МСУ-МР: одиночные и композиционные карты температуры поверхности океана; карты поверхностных течений, дрейфа льда, карты термических структур океана с выделением и прослеживанием в автоматическом режиме вихрей океана синоптического масштаба и др.

Одной из актуальных проблем является обеспечение доступа к данным и технологиям их обработки. Технологии обработки данных МСУ-МР развернуты в Спутниковом центре ДВО РАН. В Центре создана и успешно применяется распределённая система (PCO) обработки спутниковых данных, основанная на идеях гетерогенности и прозрачности управления. В систему включен кластер ЦКП «Дальневосточный вычислительный ресурс», обеспечивающий обработку с производительностью до 18 терафлопс. На базе средств Европейского космического агентства и пакетов с открытым исходным кодом создаются сервисы, удовлетворяющие требованиям открытых стандартов. Обеспечена интеграция ряда из них в портал европейского космического агентства (информационная система Service Support Environment). Ведутся работы по созданию унифицированного сервиса для доступа к средствам обработки Центра согласно стандарту Web Processing Service Открытого геопространственного консорциума (OGC). Создаваемые средства позволяют обеспечивать внешних пользователей возможностью удалённого доступа к основной части технологий, развёрнутых в рамках PCO. Разработаны принципы организации сервиса обработки, предусматривающие такую обработку как на основе данных Центра, так и с привлечением внешних источников (данных пользователя).

Отдельный спутниковый центр не в состоянии организовать полное информационное обеспечение потребителей из-за недостаточности информационных, технологических и вычислительных ресурсов. Возможным подходом к решению проблемы стало бы создание глобальной информационной системы на основе сервисов обработки данных (Web Processing Service), в которой бы накапливались технологии обработки данных и имелся бы доступ к ним как со стороны потребителей, так и со стороны разработчиков таких технологий. Возможной реализацией этой концепции может стать информационная система Роскосмоса – ЕТРИС ДЗЗ. Один из вариантов развития такой системы предполагает создание региональных дата центров с соответствующими облачными сервисами. В частности, свойства PCO Спутникового центра ДВО РАН позволяет разместить её узлы непосредственно в дата-центре ЕТРИС ДЗЗ. Контроль и управление этим программным комплексом можно осуществлять удалённо.

Работа поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума РАН, а также Программой фундаментальных исследований Президиума ДВО РАН «Дальний восток».

**ПРИЕМНАЯ СТАНЦИЯ СИГНАЛА В ФОРМАТЕ LRPT,
ПЕРЕДАВАЕМОГО
В ДИАПАЗОНЕ 137 – 138 МГц**

*О.В. Бекренев, С.Ю. Домрачев, С.И. Мартынов
Научный центр оперативного мониторинга Земли
ОАО «Российские космические системы»
ОАО «РКС» (г. Москва)*

Формат LRPT (Low Resolution Picture Transmission) принят Всемирной метеорологической организацией для передачи на Землю изображений облачности с низкоорбитальных метеоспутников по каналам связи с низкой пропускной способностью. Такие каналы могут быть реализованы в диапазоне частот 137-138 МГц, где допустимая ширина спектра сигнала не превышает 150 кГц, зато приемная аппаратура отличается простотой и низкой стоимостью, что позволяет использовать эту информацию очень широкому кругу потребителей.

Чтобы «вписать» в такой узкий спектр изображение, создаваемое прибором МСУ-МР (полный поток информации составляет 655 кбит/с), на борту осуществляется сложная цепочка преобразований, включающая в себя:

- Сжатие изображения в формате jpeg;
- Упаковка в пользовательские пакеты переменной длины;
- Упаковка пользовательских пакетов в транспортные строки постоянной длины;
- Кодирование Рида-Соломона (223, 255);
- Скремблирование и вставка синхроимпульсов;
- Сверточное кодирование (171, 133), кодовая скорость 1/2;
- Формирование созвездия для применяемой модуляции QPSK;
- Перенос спектра на несущую частоту.

Приемная станция должна проделать обратные преобразования в обратном порядке: выделение спектра сигнала, демодуляция, декодирование Витерби и далее, до построения изображения. При создании станции главным вопросом является разделение операций на выполняемые аппаратно и выполняемые программно. Поскольку скорость передачи невелика, оказа-

лось возможным в аппаратной части оставить только выделение принимаемого канала и перенос на нулевую частоту, а все остальные преобразования выполнять программно. В докладе представлены функциональные схемы аппаратной и программной частей, обсуждаются основные технические решения, заложенные в созданную станцию.

В докладе приводятся образцы изображений, полученных в формате LRPT с помощью приемной станции, а также обсуждаются возможности совершенствования этого формата с целью повышения качества передаваемых изображений при снижении требований к ширине полосы частот и энергетике канала.

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЛИК РЕГИОНАЛЬНОГО ИЕРАРХИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЕТРИС: ИСХОДНЫЕ ПОСЫЛКИ, РАБОЧАЯ ГИПОТЕЗА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

А.Н. Черный

*«НИИ космических систем имени А.А. Максимова»
– филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,
(Московская область, г. Королев Юбилейный)*

Проведенные в НИИ КС исследования показывают, что в процессе развития космической системы (КС) ДЗЗ не следует исключать возникновение конфликтной ситуации в области новых возможностей системы, которая может проявиться в опережающем росте потенциальных возможностей космического сегмента по формированию информационного ресурса по отношению к наращиванию способности наземного сегмента по его приему и обработке, оперативному производству и доведению до потребителей информационных продуктов глубокой обработки данных ДЗЗ (рис. 1).

Для нивелирования этой ситуации Концепцией развития КС ДЗЗ предусматривается развитие наземного сегмента КС ДЗЗ в виде Единой территориально-распределенной системы (ЕТРИС), представляющей собой пятиуровневую иерархическую структуру, объединяющую информационные и вычислительные ресурсы существующих и перспективных центров приема и обработки информации ДЗЗ различных уровней и мощностей на основе концепции «смешанного их использования».

Безусловно, решение задачи оптимизации информационно-технического облика ЕТРИС в целом представляет собой многофак-

торную задачу, решение которой представляет значительную сложность. В этой связи предлагается провести декомпозицию задачи, и вести поиск ее частного решения в рамках конкретной рабочей гипотезы, но в рамках общей концепции развития КС ДЗ.

Имея определенный опыт в области проектирования региональных систем мониторинга в НИИ КС было обращено внимание на региональный уровень ЕТРИС. На основе анализа тенденций развития отечественной КС ДЗЗ, технологической базы обработки данных ДЗЗ и потребностей в космической информации при решении управленческих задач на региональном уровне была сформулирована рабочая гипотеза, в рамках которой предлагается формировать информационно-технологический облик регионального уровня ЕТРИС:

Повышение эффективности использования информационного ресурса ДЗЗ на региональном уровне, в том числе повышение степени его использования, вычленения из него специфической для региона информации и формирования информационных продуктов на основе «свежих» данных ДЗЗ, может быть обеспечено путем придания региональным Центрам мониторинга (РЦМ), как одному из функциональных уровней ЕТРИС, следующих возможностей:

- непосредственного приема от КА информации ДЗЗ;
- самостоятельного производства информационных продуктов с использованием как собственных информационных и аппаратно-программных ресурсов, так и внешнего информационного и вычислительного ресурсов в режиме удаленного доступа;
- доступа к информационным и вычислительным ресурсам более высоких уровней ЕТРИС, в том числе Национального оператора ДЗЗ с использованием технологии «облачных» вычислений;
- информационного обмена тематически обработанными космическими снимками;
- хранения и архивирования массивов данных большого объема.

В рамках этой рабочей гипотезы был сформирован вариант информационно-технического облика регионального уровня ЕТРИС (рисунок 2).

Предусматривается, что этот уровень ЕТРИС должен быть обеспечен АПС, позволяющим обрабатывать данные ДЗЗ и формировать из них необходимые информационные продукты в соответствии с потребностями решаемых задач. При этом предусматривается три спосо-

ба формирования информационных продуктов, различающихся каналами приема информации:

- по результатам непосредственной космической съемки районов интереса аппаратурой наблюдения КА ДЗЗ;

- с использованием внешнего вычислительного и информационного ресурса;

- с использованием архивных данных, хранящихся в Генеральном архиве.

По мнению автора, предлагаемый информационно-технологический облик позволит повысить эффективность использования информационного ресурса ДЗЗ на региональном уровне за счет:

- оперативного формирования специфических информационных продуктов, в том числе разового использования, в соответствии с текущей необходимостью и потребностью информационного обеспечения решения мониторинговых задач;

- самостоятельного производства специфических для РЦМ и, порой, созданных только в его интересах, информационных продуктов;

- оперативного совершенствования методической, программно-алгоритмической, технологической и аппаратной баз, используемых для приема и обработки информации ДЗЗ на региональном уровне, в соответствии с возникающими информационными потребностями;

- использования объемных информационных и высокопроизводительных вычислительных ресурсов высших уровней ЕТРИС для обработки быстрорастущих объемов информации в интересах формирования специфических для региона информационных продуктов различной глубины обработки;

- оптимизации технологического процесса производства информационных продуктов, вычислительных, временных и материальных затрат, связанных с приемом, обработкой и хранением данных ДЗЗ.

Данные предложения не претендуют на завершенность, носят дискуссионный характер и требуют развития в процессе проработок вопросов производства информационных продуктов с привлечением информационных и вычислительных ресурсов верхнего уровня ЕТРИС в режиме удаленного доступа

СОВМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ПРОБЛЕМА ВЫБОРА МНОЖЕСТВА ПАР КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК

*А.И. Новиков, В.А. Саблина, А.И. Ефимов
Рязанский государственный радиотехнический университет
(г. Рязань)*

В проблеме совмещения изображений в бортовых комплексах с помощью проективного преобразования одной из важнейших и не решенных до конца является задача правильного выбора множества пар ключевых (соответствующих) точек на совмещаемых изображениях. В проведенном авторами исследовании совмещение изображений выполнено двумя способами.

Во-первых, с помощью полного перебора всех возможных сочетаний групп из 4 ключевых точек. В результате такого перебора находится группа (группы) ключевых точек, обеспечивающая наилучшее совмещение изображений. Во-вторых, подходящее подмножество ключевых точек находилось с помощью алгоритмов группы RANSAC.

Общая схема исследования такова:

- предварительная обработка совмещаемых изображений, результатом которой является выделение контуров основных объектов на подстилающей поверхности;
- производится аппроксимация найденных контуров многоугольниками. Вершины многоугольников образуют множества точек, из которых по определенному алгоритму формируются подмножества пар ключевых точек;
- последовательно формируются наборы подмножеств, содержащие по четыре пары ключевых точек; для каждого набора находится матрица гомографии и выполняется совмещение изображений;
- выполняется проверка качества совмещения изображений. Она производится в два этапа. На первом этапе производится грубая проверка качества совмещения и осуществляется отсев «плохих» вариантов. Из оставшегося множества вариантов по специальной методике выбираются несколько (3-5) вариантов наилучшего совмещения;
- параллельно выполняется поиск пар ключевых точек с помощью алгоритма RANSAC, совмещение и оценка качества совмещения;

– производится сопоставление результатов исследования и формирование предложений по автоматизации процесса выбора «правильных» пар соответствующих точек.

В ходе исследования выполнено сопоставление результатов, выработаны рекомендации по автоматизации процесса выбора ключевых точек. Приведены результаты экспериментального исследования качества совмещения как однородных, так и разнородных изображений методами проективной геометрии.

СШИВКА ПЕРВИЧНЫХ ВИДЕОСКАНОВ СПУТНИКОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРОГОЙ МОДЕЛИ СКАНЕРНОЙ СЪЕМКИ

*С.Л Корнеев, В.Ф. Чекалин,
ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов»
НИИ ТП (г. Москва)*

На сегодняшний день весьма актуальной является задача придания отечественным КА ДЗЗ статуса измерительных систем с объективным подтверждением точности получаемых результатов. Без решения этой задачи невозможно обеспечить качественных результатов целевого применения российских спутников ДЗЗ.

При космической съемке спутниками класса ОЭР на Землю передаются массивы первичной информации о местности, сформированные на основе показаний измерительной аппаратуры. При последующей их обработке создается геометрически целостное изображение маршрутов съемки, которые служат исходным материалом для создания ЦМР, ортоизображений и других измерительных документов. Поэтому к их метрике предъявляются очень жесткие требования, согласно которым точность и целостность внутренней геометрии исходных спутниковых изображений должны обеспечиваться в пределах ***0.5-1 pxl***.

Основным инструментом при этом является математически строгая модель сканерной съемки. В этой связи точность и целостность восстановленной внутренней геометрии спутниковых снимков должны обеспечиваться в пределах ***0.5-1.0 pxl***.

Данная модель является суммой частных моделей, которые по совокупности воспроизводят механизм формирования и обработки первичных данных ДЗЗ. Обработка принятой информации, в соответствии с указанной строгой моделью съемки, предусматривает последова-

тельное использование параметров геометрической формы и геопотенциала Земли, траектории полета спутника ДЗЗ, показаний измерительной аппаратуры о текущем положении и ориентации спутника ДЗЗ, положения и ориентации съемочной системы, геометрической модели сканерного изображения и учет метрики конечного картографического продукта. Кроме того, она должна включать также аналитическое или графическое описание корректирующей **функции влияния** внешних факторов на метрологические параметры каждого из измерительных устройств съемочной системы и целевой аппаратуры.

С учетом сказанного, для точной реконструкции геометрии сканерного изображения маршрута съемки алгоритм сшивки должен осуществлять решение двух основных задач:

- восстановления внутренней геометрии изображения каждого видеоскана путем учета его геометрических и радиометрических искажений и согласования показаний бортовой измерительной аппаратуры КА ДЗЗ по метрике и во времени;

- предвычисления положения одноименных точек смежных видеосканов в метрических пространствах местности и сканерного снимка на основе математически строгой модели сканерной съемки и функции влияния внешних условий с последующим устранением их несогласования.

В настоящем докладе определяются возможные пути решения указанных задач, описываются возникающие при этом трудности и приводятся практические результаты сшивки первичных изображений, полученных космическими аппаратами «Ресурс-ДК1» и «Ресурс-П1».

ТОЧНОСТЬ ГЕОПРИВЯЗКИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО БОРТОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

А.К. Гасилина

ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов»

НИИ ТП (г. Москва)

Космические изображения характеризуются изобразительными и измерительными свойствами, которые влияют на точность измерения координат точек объектов местности, их дешифрирование, а, следовательно, и на качество выходной продукции.

Уровень точности геопривязки спутниковых измерений зависит от конструкции съемочной системы, синхронизации бортовых измере-

ний, математической модели съемки местности из космоса. Состояние модели съемки местности из космоса характеризуется величиной точности геодезической привязки снимка к местности. Еженедельный мониторинг оценки точности геодезической привязки вновь поступающих маршрутов, полученных съемочным устройством «Сангур-IV» КА «Ресурс-П» № 1 показал, что точность геодезической привязки - величина изменяющаяся с течением времени.

Первые снимки «Ресурс-П» №2 привязывались по модели, разработанной специалистами НПК12 ОАО «НИИ ТП», с точностью 70 м. На сегодняшний день состояние модели съемки поверхности Земли из космоса составляет порядка 10 м. Результаты представлены по данным маршрутов, полученных высокодетальным съемочным устройством «Сангур-IV 2», установленном на борту космического аппарата «Ресурс-П» № 2. Приведена таблица с данными по привязке маршрутов. Полученные значения сопоставимы с точностными характеристиками зарубежных аналогов. Достигнутая точность – результат проведения комплекса работ по калибровке параметров внутреннего ориентирования по определенной методике с использованием высокоточного опорного материала.

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

*А.В. Кашицкий, И.В. Балашов,
Е.А. Лупян, В.А. Толпин, И.А. Уваров
Институт космических исследований РАН
(г. Москва)*

Значительное увеличение объемов данных, поступающих от систем спутниковых наблюдений Земли, делает все более актуальной задачу разработки новых технологий работы с этими данными. Такие технологии должны позволить организовывать эффективную работу со сверхбольшими, постоянно пополняющимися архивами и прийти на замену «традиционным» подходам, предполагающим сначала выбор необходимых наборов данных из архивов, создание их локальных копий у пользователя (исследователя), а потом проведение обработки и анализа. Основными минусами этих подходов является необходимость выборки, передачи и хранения больших объемов информации и наличие существенных вычислительных ресурсов для анализа данных, ко-

торые не всегда имеются у конкретных исследователей. В настоящем докладе рассмотрены пути решения задач организации эффективной работы исследователей со спутниковыми данными, принятыми в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), рассказывается о разработанной технологии организации распределенной обработки спутниковых данных. Эта технология ориентирована на то, чтобы обеспечить в различных системах дистанционного мониторинга, разрабатываемых и поддерживаемых в ИКИ РАН, возможности не только выбора и просмотра различной спутниковой информации, но и проведение ее обработки и анализа полученных результатов с использованием вычислительных средств, расположенных в центрах архивации и представления данных. Технология позволяет исследователям использовать распределенные информационные и вычислительные ресурсы с той же легкостью, что и локальные, обеспечивает возможность эффективной работы со сверхбольшими распределенными архивами спутниковых данных и результатами их обработки. В докладе описывается предлагаемая архитектура построения систем распределенной обработки данных, ее основные возможности. Приводятся примеры реализации процедур обработки и их использование в различных системах дистанционного мониторинга для организации обработки и анализа спутниковых данных, в том числе гиперспектральных.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ АНАЛИЗА ФОРМЫ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СИГНАТУРЫ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ СОСТОЯНИЯ

*Д.В. Жуков, О.В. Григорьева
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Основной особенностью и преимуществом применения гиперспектральных (ГС) данных аэрокосмического зондирования является возможность анализа формы и поведения функции спектральных характеристик природных объектов на разных длинах волн, отражающих закономерности изменения свойств этих объектов. В свою очередь, использование оценок формы спектра в алгоритмах дешифрирования в

качестве дополнительных признаков позволяет повысить вероятность распознавания. При этом процесс обработки ГС изображений должен быть по возможности максимально автоматизирован.

В качестве численных способов анализа формы гиперспектральных сигнатур зачастую используют узкоспектральные вегетационные индексы, пространственно-масштабируемую фильтрацию, производную и автокорреляционную функции спектра.

Особый интерес представляет построение производной функции спектра, которая имеет тенденцию подавлять средний уровень сигнала и усиливать изменения для оценки полос поглощения, обусловленных свойствами материала. Например, нефтепроявления могут регистрироваться по изменению интенсивности поглощения солнечного излучения в спектральных полосах 1,73 и 2,31 нм, а основным фактором диагностики состояния растительного покрова является изменение уровня полосы поглощения хлорофилла (главного пигмента зеленой листвы, хвои и т.д.) в диапазоне 640-670 нм и антоцианов в диапазоне 490-550 нм, а также положение «красного края» спектральной кривой в интервале 680-750 нм. В качестве же численной оценке положения точки перегиба спектра в ближнем инфракрасном склоне предложен расчет производной кривой коэффициентов отражения. Так, для оценки содержания азота в сельскохозяйственных культурах используется вторая производная спектра.

Для ГС данных первая производная на длине волны может быть аппроксимирована дискретными производными. Однако построенные таким образом функции не всегда могут быть однозначно интерпретированы и очень чувствительны к выбросам, особенно при наличии аддитивного некоррелированного шума, обычно присутствующего на ГС изображениях. Использование же медианного фильтра для сглаживания спектральной сигнатуры приводит к изменению (в основном, уменьшению) глубины поглощения излучения в исследуемых полосах и в некоторых случаях к ошибкам обнаружения локальных точек перегиба. В этом случае, было принято использовать полиномиальное представление спектральных характеристик для решения задач обнаружения и сегментации состояния объекта по форме его спектральной кривой. При этом для растительности полиномиальное преобразование всей спектральной сигнатуры в диапазоне 0,4-1,0 мкм нивелирует интересующие участки полос поглощения, что является недопусти-

мым. В связи с этим, предложено применять либо полиномиальный фильтр (н., Савицкого-Голая), либо осуществлять аппроксимацию спектра, но только в пределах информативных диапазонов длин волн, что к тому же сокращает степень полинома и соответственно снижает вычислительные затраты. Например, для оценки смещения основной полосы поглощения хлорофилла на величину в несколько нанометров (1–5 нм) в сторону более коротких волн, возникающего при появлении признаков возникновения стрессовой ситуации и увядания растений, в некоторых случаях достаточно применение полиномов 3 степени в диапазоне 650-730 нм.

Указанные способы анализе формы спектральных сигнатур объектов реализованы в программном комплексе обработки много- и гиперспектральной информации, разработанном в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, в виде отдельного модуля, а также в алгоритмах детектирования лесов с признаками дефолиации и выделения объектов, имитирующих природные. В алгоритмах в качестве признаков дифференцированных спектров используются длина волны, на которой достигается максимальная амплитуда первой производной, а также индексы, полученные в результате линейной экстраполяции функции производной в двух информативных интервалах спектра.

Экспериментальные исследования и апробация алгоритмов с использованием производных функций спектральных сигнатур и их полиномиальных представлений были проведены при обработке данных видеоспектрометра «Фрегат» и НПО «Лептон», а также данных отечественной ГС съемки с КА «Ресурс-П».

ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННЫМ КОСМИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ И ДАННЫМ ДЗЗ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*В.П. Седельников, Е.А. Бровко, Е.Л. Лукашевич
ОАО «НИИП центр «Природа»
(г. Москва)*

Предлагаемая система государственного топографического мониторинга (система ГТМ), предназначенная для постоянного и регламентированного слежения за изменениями объектов местности на базе регулярной космической съемки с отечественной группировки спут-

ников предусматривает: а) обзорный мониторинг – на основе автоматизированного анализа разновременных космических снимков среднего линейного разрешения выявление районов с высокой степенью изменений топографической ситуации и формирование плана проведения детальной космической съемки (детального топографического мониторинга); б) детальный мониторинг–дешифрирование материалов космической съемки с высоким линейным разрешением на местности и внесение идентифицированных по снимкам изменений объектов на дежурную цифровую топографическую карту (на пользовательский слой оригинала изменений), сопряженную с объектовой базой данных изменений объектов местности, с привлечением отраслевой тематической информации и справочных материалов и данных; в) актуализацию (обновление) пространственных данных – реализацию процесса интеграции существующей цифровой топографической карты и оригинала изменений.

Очевидно, современные и перспективные космические системы и данные ДЗЗ должны обеспечивать получение космических изображений на первом и втором этапах ГТМ, пригодных для дешифрирования и идентификации изменений объектов – элементов содержания топографических карт масштабов 1:100 000 и 1:25 000 соответственно.

Требования к материалам космической съемки, используемым при топографическом картографировании, сформированы давно, но, тем не менее, могут уточняться в зависимости от особенностей конкретных картографических задач. Наиболее важными параметрами, определяющими степень пригодности материалов космической съемки к использованию в картографическом приложении, являются линейное разрешение на местности получаемых изображений и точность внутренней геометрии условных кадров. Напомним, что линейное разрешение на местности космических снимков, используемых для создания и обновления топографических карт масштабов 1:25 000 и 1:100 000, составляют соответственно 1,0 – 2,5 м и 5,0 – 10,0 м. Эти данные получены из опыта оценки полноты содержания топографической карты масштаба 1:25 000 в зависимости от линейного разрешения на местности материалов космической съемки.

Точность внутренней геометрии условных кадров определяется точностными требованиями к созданию и обновлению топографических карт (Основные положения по созданию и обновлению то-

пографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. М., РИО ВТС, 1984 г., Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. М., ЦНИИГАиК, 2002 г. и др.), в соответствии с которыми средняя ошибка определения координат объекта по снимку без использования опорных точек составляет для масштабов 1:25 000 и 1:100 000 соответственно 8-12 м и 25-40 м. Эти точности зависят от многих факторов, в том числе от угла отклонения линии визирования от местной вертикали. Отсюда вытекает рекомендация к ограничению углов разворота КА по крену при обычной съемке в интересах картографии не более 10^0 при съемке равнинных районов и не более 5^0 – горных.

Второй этап топографического мониторинга особых вопросов не вызывает и может быть реализован при обычной съемке с КА «Ресурс-П» (при условии выполнения рекомендаций ОАО «НИИП центр «Природа» по обеспечению смещения трасс через трое суток на величину, соразмерную полосе захвата, что позволит выполнять площадную, близкую к надирной съемке). А что касается первого этапа ГТМ, то здесь есть две особенности.

В нашем случае на первом этапе ГТМ, когда нам необходимо обнаружить факт изменения местности и по возможности оперативно, углы крена в процессе обзорной съемки можно увеличить до такой величины, которая не приводит к неоднозначности установления наличия изменений местности, обусловленной погрешностями трансформирования снимков. Можно показать, что такая неоднозначность исключается при разворотах КА по крену до 20^0 .

Еще одной особенностью реализации первого этапа ГТМ является надежность получения исходных материалов космической съемки, по результатам обработки которых, делаются выводы об изменениях объектов местности. Иначе говоря, вероятность проведения хотя бы одно-разовой съемки в течение съемочного сезона в малооблачных условиях должна составлять не менее 0,8, для достижения которой необходимо такое сочетание ширины полосы захвата целевой аппаратуры, длительности полного покрытия межвиткового интервала полосами захвата и количества КА в системе, которое обеспечило бы не менее, чем 5-ти кратную возможность наблюдения заданных районов в тече-

ние съемочного сезона. Такой возможностью будет, например, обладать система из 2-х КА Обзор-О».

**ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
МОРСКИХ ПОЛЯРНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ САФУ
ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ
ДЗЗ НА ГЕОПОРТАЛЕ ЦКМА**

Ю.Г. Кутинов^{1,2}, С.Г. Копосов¹

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

*²Институт экологических проблем Севера (ИЭПС)
Уральского отделения РАН (г. Архангельск)*

На настоящий момент сложилось понимание, что геоинформационный портал – это многофункциональный инструмент интеграции разнородных информационных данных и геоинформационных ресурсов. Традиционно, одной из основных форм пространственных данных являются географические и тематические данные. Развитие информационных технологий в последние десятилетия кардинальным образом изменило подходы и методы, применяемые в современной картографии, и в значительной мере способствовало расширению вариантов получения и использования пространственной информации, включая и динамические аспекты изменения сред. Геопорталы создаются сейчас в десятках научных учреждений и вузов России. Однако, вопросы эффективного применения геопортальных технологий, создания методов обработки спутниковых данных особенно для северных территорий РФ и, в первую очередь, акваторий морей, содержательной интерпретации результатов, их валидации по наземным измерениям остаются во многом открытыми. Отсутствие системы и комплексных технологий обработки получаемых данных, недостаток апробированных алгоритмов мониторинга и изучения параметров окружающей среды, разрозненность применения геопортальных технологий требуют ускоренного и скоординированного развития новейших технологий.

В Северном (Арктическом) федеральном университете им. М.В. Ломоносова (САФУ) проводится и в дальнейшем планируется проведение на постоянной основе в навигационный период научных экспедиций в акватории Северного морского пути с участием в них студентов. Центром космического мониторинга Арктики (ЦКМА) САФУ

осуществляется информационная поддержка проводимых экспедиций с публикацией текущей ситуации и результатов на геопортале ЦКМА.

Геопортал работает с постоянным наполнением комоснимками для использования в учебном процессе и проектах. Система имеет настраиваемый под каждого пользователя веб-интерфейс – соответственно каждый пользователь видит только свои данные. Совместно с отделом поддержки веб-сайта САФУ разработан интерактивный каталог космоснимков для автоматизации процесса заказа снимков для внутреннего использования в университете.

В течение всего периода научных экспедиций на геопортале, в режиме близком к реальному времени, осуществляются публикация текущего положения судна, общей обстановки и полученных с борта судна новостей и научных данных.

Для этого обеспечивается двусторонний доступ к информационным ресурсам с борта судна, находящегося в арктических широтах, с помощью цифровой спутниковой связи через системы Iridium и/или Гонец.

СЕКЦИЯ 5. МЕТОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ

*А.И. Алтухов, М.А. Чебурков
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Одним из приоритетных направлений при подготовке военных специалистов является применение в образовательном процессе учебных тренировочных и тренажерных средств, а также совершенствование форм и методов обучения с их использованием. В рамках этого направления на уровне Министерства обороны Российской Федерации разработана концепция развития технических средств обучения на период до 2025 года.

Актуальность этого направления обусловлена, прежде всего, поступлением на вооружение сложных технических систем, боевой и

другой техники, которые требуют от офицера глубоких теоретических знаний и твердых, уверенных навыков ее эксплуатации. Таким образом, по окончании вуза выпускник должен иметь знания, уверенно владеть навыками по решению специальных задач и обладать такими личностными качествами, которые позволили бы ему успешно применять полученные знания и приобретенные навыки при решении задач по предназначению в различных условиях обстановки.

Такие знания и навыки управления сложными техническими системами, а также личностные качества, которые позволят выпускнику в короткий срок приступить к самостоятельной работе, можно получить, используя в учебном процессе по дисциплинам профессионального цикла учебно-тренировочные комплексы, техническую основу которых составляют штатные технические средства, оснащенные специальным программным обеспечением.

Так, при подготовке специалистов в области обработки данных дистанционного зондирования Земли в рамках ФГОС ВО 200401 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения; специализация - Электронные и оптико-электронные приборы и системы дистанционного зондирования Земли подготовка по дисциплинам профессионального цикла осуществляется на базе многофункционального учебно-тренажерного комплекса приема, обработки и хранения данных дистанционного зондирования Земли (далее – комплекс). Компонентами комплекса являются современные штатные технические средства: комплекс приема и регистрации, комплекс первичной обработки данных, комплекс систематизации и архивного хранения данных, комплексы интерпретации и тематической обработки данных, разработки отчетных документов.

Особенность комплекса в том, что представляя единую систему, которая реализует весь технологический цикл дистанционного зондирования Земли, каждый из его компонентов по отдельности обеспечивает изучение нескольких дисциплин профессионального цикла. Реализация технологического цикла дистанционного зондирования Земли в учебном процессе позволяет установить межпредметные связи не только на теоретическом уровне, но и на уровне прикладном (на уровне привития практических навыков и формирования способностей и готовности к решению задач по предназначению), чем достигается принцип сквозного обучения.

Другими словами, комплекс предоставляет уникальную возможность организовать плановые учебные занятия с обучающимися в форме реальной работы на штатных технических средствах, с использованием данных дистанционного зондирования Земли, получаемых в режиме реального времени. Кроме этого, на базе комплекса реализована такая форма занятий, как учебное дежурство, где обучающиеся старших курсов выполняют обязанности в составе дежурных смен в зависимости от этапа обучения и полученных на этот момент знаний, проводится научно-исследовательская работа, организуется эксплуатационная практика.

Одним из требований к организации практических занятий на базе комплекса является требование охвата полного объема деятельности личного состава при решении специальных задач. С этой целью в рамках комплекса разрабатывается база данных ситуационных задач по дисциплинам профессионального цикла, которая включает весь комплекс специальных задач и алгоритмов их решения. Структура задачи включает: цель занятия, практического занятия, методические рекомендации при подготовке к практическому занятию, теоретические основы, контрольные вопросы, порядок выполнения задания, перечень исходных данных и т. д.

Организация практических занятий на базе комплекса способствует подготовке квалифицированного специалиста, сокращению ввода в строй при назначении на первичную должность.

Для формирования психологической устойчивости, привития навыков выполнения задач по предназначению в различных условиях обстановки в ситуационные задачи заложена возможность введения нештатных ситуаций. Поэтому одним из компонентов комплекса является модуль нештатных ситуаций.

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ АВИАЦИОННОГО БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОИСКА И ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАДЫМЛЕННОСТИ

*Б.Ю. Никульшин, С.А. Пономарев, В.Э. Аверьянов, О.А. Фуженко
Федеральное государственное казенное военное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

В последние годы обращают на себя внимание общемировые тенденции роста числа лесных и, что особо важно, торфяных пожаров как следствие общего потепления климата, а также индустриального смога как следствие увеличения числа автомобильной техники и технического износа дымоочистного оборудования предприятий. В то же время, возросшее количество производств приводит к их вынужденному размещению в непосредственной близости от возможных очагов пожара (в т. ч. друг от друга). При этом ряд таких предприятий (в первую очередь атомной, химической, нефтяной промышленности), характеризующихся значимым ущербом при нарушении их нормального функционирования, принято считать критически важными.

Мониторинг таких объектов и районов чрезвычайных ситуаций, характеризующихся, как правило, существенными площадями, с задачей оценки уровня опасности возникновения аварий, а также оценки возможности эвакуации оборудования и персонала изначально является одним из основных предназначений комплексов дистанционного зондирования земной поверхности. Решение такой задачи поиска и оценки функционального состояния объектов контроля на больших площадях принято осуществлять с использованием оптико-электронных систем авиационного базирования. В то же время, в условиях задымленности (как естественного, так и антропогенного характера) оптические средства видимого диапазона малоэффективны.

Военно-космической академией имени А.Ф. Можайского поставлен и проведен ряд целевых экспериментов с выполнением синхронной с наземными измерениями разномасштабной оптико-электронной аэро съемки контрольных объектов в различных условиях их скрытия от наблюдения за счет задымленности, а также естественных и искусственных атмосферных образований. Результаты обработки и анализа полученных данных позволяют сделать вывод, что наиболее эффективным для решения подобных задач является инфракрасная съемка в диапазоне 8-12 мкм (особо при последующей интерпретации данных по имеющимся в распоряжении материалам видовой аэро съемки объекта контроля в обычных условиях, картографической основе и другой информации).

Оценка влияния на качество получаемых данных проведена с использованием инфракрасной радиометрической аппаратуры. Основным критерием качества была принята вероятность обнаружения и

распознавания объектов на реальных фонах. С учетом использования данных наземных измерений и ИК радиометра проведена также оценка возможности калибровки аэросъемочных данных в сложных условиях наблюдения в значения радиационных температур с целью обеспечения последующего определения функционального состояния отдельных узлов и элементов систем объектов промышленности и инфраструктуры.

По результатам проведенных экспериментов и анализа полученных результатов разработана методика комплексного применения оптико-электронных систем авиационного базирования для поиска и оценки функционального состояния объектов контроля в условиях задымленности.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности существенного повышения эффективности проведения поисковых операций и качества оценки уровня опасности на объектах промышленности в зоне задымленности при возникновении чрезвычайных ситуаций за счет корректного комплексного применения средств дистанционного зондирования авиационного базирования.

ПРОЕКТ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЙ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Л.А. Белозерский, Л.В. Орешкина,
Д.С. Суценья, А.А. Левковский*

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Современной тенденцией в развитии тематической обработки космической информации является ее автоматизация, исключение оператора из соответствующего процесса. Достижение таких целей характеризуют разработки последних лет, проводимые Объединенным институтом проблем информатики НАН Беларуси в области создания программно-информационных комплексов широкого применения.

В наибольшей степени приближение достигаемой функциональности к требованиям, ориентированным на перспективы применения, характеризует осуществляемая в настоящее время опытно-конструкторская работа в рамках программы Союзного государства.

Выполненное эскизное проектирование на основе исследований, теоретических разработок, моделирования и экспериментальных про-

верок подтвердило идеи автоматизации тематической обработки космической информации и позволило полностью осуществить алгоритмических подготовку завершающих этапов. При этом введены, об этапах обработки изображений разновременной съемки, что позволило решить задачи:

- замещающего оператора автоматического контроля информации многоспектральной космической съемки на соответствие предъявленным требованиям;

- автоматического устранения отдельных недостатков съемки и первичной обработки;

- автоматического распределения информации по этапам тематической обработки комплекса;

- автоматического выполнения всего комплекса задач от подготовки изображений разновременной съемки, анализа, обнаружения наземных изменений, их многоспектрального описания, осуществляемого 60-ю программными модулями, реализующими около 3000 логически полных математических и логических построений и их функциональное взаимодействие, до программно обеспеченной поддержки принимаемых решений;

- автоматической защиты комплекса от любого по характеру останова, выключения и т. п. с восстановлением работоспособности с того места, в котором произошел останов.

Наряду с этим в проекте комплекса впервые решен целый ряд принципиально новых задач:

- внесения определенности в представления о территории применения комплекса, состоящей в использовании геометрически известной и топографически привязанной к местности зоны ответственности комплекса, разделяемой на участки мониторинга, охватываемые одной спутниковой съемкой, в пределах которых устанавливаются области повышенного интереса, т. н. области мониторинга;

- разработки принципов настройки комплекса, позволяющей использовать его с любой системой космической съемки и наземной первичной обработки информации, а также заменять отдельные параметры в интересах повышения результативности работы;

- ввода автоматической дискретной аппроксимации области мониторинга для устранения такого недостатка входной информации, как частичный ее захват при съемке;

– автоматического субпиксельного сведения геометрии разновременных снимков и их интенсивностей, в обнаружении изменений, расчете их вероятностей;

– установки режима работы для автоматического определения порогов устанавливаемых минимальных ложных тревог по площадям и относительным яркостям изменений;

– автоматического предоставления в распоряжение принимающего решения по результатам спутникового мониторинга обобщающей числовой информации, широкого набора цветowych визуализаций изображений разновременной съемки с повышенной разрешающей способностью, синтезированных цветов и разновременного композита, программной поддержки их зрительного анализа наряду с многоспектральными описаниями обнаруженных изменений;

– автоматически формируемого отчета о сеансе мониторинга.

Выполненная разработка характеризуется оригинальностью, отказом от использования готовых программных продуктов, основывается на белорусских патентных и патентуемых решениях и может рассматриваться, как импортозамещение традиционно применяемых коммерческих программных продуктов, не обеспечивающих в создании подобных комплексов реализацию рассмотренных проектных решений в полном объеме.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ИНТЕРЕСАХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

*М.А. Болсуновский
ООО «Компания Совзонд»
(г. Москва)*

Управление территорией подразумевает наличие следующих условий: информации о первоначальном и текущем состоянии исследуемой территории; средств оценки соответствия текущего и требуемого состояния территории. Из этого следует, что эффективность управления зависит от качества получаемой информации. Важнейшим показателем качества такого рода информации является её объективность. Одним из таких методов получения информации о состоянии активов региона (лес, земля, вода, объекты капитального строительства) является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). В настоящее

время ДЗЗ осуществляется посредством съемки с космических аппаратов, самолетов, беспилотных летательных аппаратов и т. д. ДЗЗ позволяет получать однородную и сравнимую по качеству объективную информацию одновременно для обширных территорий, что практически недостижимо при любых наземных обследованиях. В предлагаемом докладе будет представлен опыт компании «Совзонд» практического применения данных дистанционного зондирования Земли в интересах социально-экономического развития территорий.

**ОСНОВЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
СОСТОЯНИЯ ФОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ В ПОЛЯРНОЙ
ИОНОСФЕРЕ И ЕЕ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА
С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА
МАГНИТОСФЕРНОГО-ИОНОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ЧАСТИ АВРОРАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ С ОРБИТ КА
И ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

*О.Ю. Аксенов⁵⁾, В.А. Аникин⁵⁾, Ю.А. Борисов²⁾,
А.К. Кузьмин¹⁾, В.Б. Лапшин³⁾, А.Н. Ляхов⁴⁾,
А.М. Мёрзлый¹⁾, Ю.Н. Потанин²⁾, П.Я. Салтанов⁵⁾,
П.М. Свидский³⁾, В.В. Трекин⁵⁾*

*¹⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(г. Москва),*

*²⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение
Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный МО,*

*³⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт при-
кладной геофизики имени академика Е.К. Федорова
(г. Москва),*

*⁴⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт динамики геосфер Российской академии наук (г. Москва),*

*⁵⁾ Научный исследовательско-испытательный центр
Центрального научно-исследовательского института
Войск воздушно-космической обороны
(г. Москва)*

В докладе рассматриваются основы и пути развития системы контроля фоновой обстановки в полярной ионосфере Земли. Получение достоверной информации о состоянии фактической фоново-спектральной (от рентгеновского до ИК диапазонов) и фоновой электродинамической обстановки в полярной ионосфере с орбит КА и с поверхности Земли и

краткосрочного прогнозирования (от 30 мин до 2-х суток) параметров фоновой обстановки с помощью моделей ионосферы, ассимилирующих экспериментальные данные, является одной из важных современных прикладных задач. Решение этой задачи должно опираться на современные научно-обоснованные представления и конкретные экспериментальные данные о процессах, происходящих при взаимодействии ионосферы с магнитосферой при различных геомагнитных условиях, характеристиках солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Существующий уровень знаний о процессах в полярной ионосфере заметно повысился, но до сих пор не позволяет получать однозначно детерминированные прогнозы по энергетическим распределениям выпадающих частиц в различных частях аврорального овала, и как следствие, прогноз условий для распространения радиоволн ДМВ/ММВ диапазонов, в особенности об уровнях амплитудных сцинтилляций. В полярных областях околоземного пространства, на поверхности Земли и в глубинах океана все более возрастает количество движущихся объектов, для которых качество связи, точности навигации и фоновой-целевой обстановки носят принципиальный характер. Улучшение оперативности и точности контроля фоновой обстановки в ионосфере, как составной части гелиогеофизической ионосферной службы, становится все более актуальным. Практические потребности и несовершенство теоретических моделей заставляют сосредоточиться на альтернативном варианте исследований, комбинирующем ансамбли быстрых алгоритмов оценок ионосферных параметров с данными оптического мониторинга, дающими интегрированное по высоте представление электродинамических процессов в ионосфере Земли. В докладе рассмотрен предварительный состав информационных, модельных и экспериментальных блоков, составляющих систему, развиваемую на едином базовом программном обеспечении, каждый из которых несет свою специфическую функциональную нагрузку и может быть востребован оператором в любой момент. Обращено внимание на ряд принципиально новых качеств системы: использование алгоритма разбиения околоземного пространства на ячейки Эйлера с помощью неоднородной, неортогональной, фиксированной сетки; преимущества орбитальной широкоугольной оптической диагностики фоновой обстановки, использования глобальных и локальных карт ионосферных электродинамических параметров, построенных по данным дистанционных оптических наблюдений, в уточнении модельных расчетов. Подчеркивается важность опера-

тивности при доведении информации до оператора; валидации моделей ионосферы и уточнения фоновой электродинамической обстановки, выявления отклонений характеристик фоново-спектральной обстановки от модельной, получаемой при расчетах комбинированных электронных и протонных высыпаний, и их влияния на фоново-целевую обстановку; информировании государственных служб и ведомств об этих отклонениях в рамках заданных критериев.

МЕХАНО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-ТЕПЛОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЕ И СЕЙСМО-МОНИТОРИНГ: ОТ СКВАЖИН ДО ИОНОСФЕРЫ

О.Б. Новик, С.В. Еришов,

М.Н. Волгин, Ф.А. Смирнов

Институт Земного Магнетизма,

Ионосферы и Распространения Радиоволн

(ИЗМИРАН) (г. Москва, г. Троицк)

1. В начавшемся XXI веке от землетрясений (зтр), с очагом на континенте или под Океаном, погибло около 750 тыс. человек (к концу века прогнозируется 3млн.), в XX веке — около 1,3 млн. Число погибших, раненных и разрушений мировой геодинамической войны растет из-за роста и концентрации населения, городов, промышленности. К тому же, более половины населения Земли живет в прибрежных регионах Мирового Океана (и эта доля неуклонно растет), т. е. вблизи сейсмогенных контактов океанских литосферных плит с континентами. Сейсмическая опасность и необходимость надежного прогноза зтр возрастают также из-за нехватки энергии и ввода АЭС: Фукусима I в Японии не была остановлена во время и потому была разрушена сейсмической волной с выбросом радиации, 2011 г. Практика прогноза не может быть улучшена без развития теории, включая адаптацию, в рамках физических и геологических данных, к наблюдавшимся процессам подготовки зтр и модификации сейсмо-мониторинга.

2. Тысячекилометровые размеры зон подготовки зтр и их предвестники (изменения TEC, foF2, plasma density, ion compositions, EM emissions и др.) в ионосфере делают необходимым применение бортовой аппаратуры КА для мониторинга и передачи данных в центры анализа и прогноза. С другой стороны, энергетическое обеспечение процессов подготовки идет из недр Земли, и необходима скважинная

(каротажная) и поверхностная наземная аппаратура для регистрации и прогнозного анализа динамики полей различной физической природы (предвестников в геосферах?), генерируемых при локальных накоплениях и сбросах механических напряжений в реологически неидеальной литосфере зон подготовки.

3. Результаты многочисленных МТ-зондирований сейсмичных зон литосферы, опубликованные различными авторами, говорят о типичности для этих зон значительных (десятки километров вкострости) проводящих (порядка 0,1 См/м) структур на фокальных глубинах. В связи с этим авторами численно описано — с применением физической теории магнитотермоупругости и разработанной ими математической теории струнно-диффузионных систем уравнений — возникновение и распространение электромагнитных (ЭМ) и температурных (Т) возмущений с глубин верхней мантии (40 км) до поверхности Земли в модельной геосреде с проводящими структурами, а также ЭМ эмиссия в атмосферу. Показано, что ЭМ поле сейсмического происхождения зарождается (в виде диффузного СНЧ сигнала, наследующего частотный спектр сейсмического возбуждения) на контакте фронта сейсмической волны с границей первого из встреченных ею проводников. ЭМ сигнал обгоняет сейсмическую Р волну вертикальных смещений (S волна отстает) и достигает нижней границы вышележащего проводящего блока. Однако, индукция в блоке остается слабой, пока в него не ударит Р-волна. В проводниках пространственная структура горизонтальной компоненты магнитной индукции (ортогональной плоскости поляризации глубинного упругого смещения) подобна структуре упругого поля Р-волны. При этом расчетное сейсмо-ЭМ поле сосредоточено в проводниках или между ними, достигая в этих областях значений порядка 1000 пТл и быстро убывая при удалении от проводника. Показано, что когда верхний проводник оказывается насыщенным энергией сейсмических волн (упругие смещения достигают нескольких см), возникает ЭМ излучение в приземной слой атмосферы с амплитудой магнитного возмущения порядка 50 пТл на поверхности Земли. Модуляция этим сигналом (или более мощным, как показывают расчеты, сигналом в скважине, если она пробурена) несущего сигнала подходящей частоты, например, соответствующей спектральным окнам ионосферы при спутниковой связи, обеспечит передачу геодинамической информации в центр прогноза.

4. Сейсмо-Т поле распространяется вместе с Р-волной, довольно точно повторяя ее пространственную структуру, включая форму фронта. Т сигнал в осадочном слое мощностью 1 км достигают 0.02 К и представляет собой СНЧ колебание того же характера, что и глубинное сейсмическое возбуждение. Вдали от указанного максимума амплитуда Т возмущения составляет порядка 0.001 К, для регистрации могут использоваться кварцевые терморезисторы. Это, в частности, позволит отделить сейсмический ЭМ сигнал от совпадающих с ним по спектру ионосферных Рс пульсаций, при которых Т сигналы отсутствуют. Амплитуды, частоты и скорости расчетных сейсмо-ЭМ и – Т сигналов принадлежат диапазону наблюдавшихся значений.

5. Чтобы выявить скважинные (реакция электро-каротажной аппаратуры на динамику трещиноватости), наземные, стратосферные, ионосферные предвестниковые сигналы (сравнить предвестники по данным датчиков в этих средах – ввиду разницы механизмов помех), должны применяться: а) датчики деформационной, электрической, магнитной, ЭМ (например, ГМТЗ), тепловой, гравитационной природы; б) численное моделирование сейсмически вызванной динамики полей, (см. выше), анализ сейсмической перестройки регистрируемых многомерных временных рядов сигналов: оценка момента разладки сигнала, изменение колмогоровской оценки спектральной плотности, изменение когерентности показаний разнесенных по сейсмичной площади датчиков различной физической природы.

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Е.А. Бровка, С.А. Ефимов, С.О. Дубенсков ***

** ОАО «Научно-исследовательский и
производственный центр «Природа»*

(г. Москва),

*** НИЦ ТТНО ФГБУ «27 ЦНИИ» Минобороны России*

(г. Москва)

Проблему актуализации пространственных данных на современном этапе развития космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗ) предлагается решать на основе интегрированного подхода к использованию оптимального набора наиболее геометрически

точных и информативных материалов космической съемки. Под «интегрированным подходом» авторами понимается совместное использование различных видов космической информации, наиболее эффективных для фотограмметрической обработки, дешифрирования космической информации, однозначной идентификации пространственно-временных изменений объектов местности, а также последующей векторизации результатов дешифрирования и создания актуализированной цифровой картографической. Принцип интеграции предполагает: взаимосвязанность в единое целое (комплекс) сопоставимых различных видов космической съемки – оптико-электронной: панхроматической и мультиспектральной, радиолокационной и гиперспектральной, с учетом их технических характеристик (пространственного, радиометрического, спектрального разрешения и др.) для использования в процессе топографического и тематического дешифрирования. Очевидно, что пространственно-распределенные объекты, расположенные в различных физико-географических регионах, с разной степенью освоенности, обладают спецификой изображения и особенностями дешифровочных признаков на различных видах космической съемки.

Информационная модель интегрированного подхода к выбору космической информации для целей дешифрирования различных категорий объектов на территории страны, может быть представлена в виде:

$КО = \{ОЭП \cup ОЭМ \cup РЛ \cup ГСП\}$, где

КО – комплексный образ объектов;

ОЭП – оптико-электронная панхроматическая съемка;

ОЭМ – оптико-электронная мультиспектральная съемка;

РЛ – радиолокационная съемка;

ГСП – гиперспектральная съемка, при этом:

ОЭП = $\{m; \dots; d\}$, где m – метрика объектов; d – детальность космического изображения (линейное разрешение на местности);

ОЭМ = $\{g; \dots; p\}$, где g и p – дешифровочные признаки объектов гидрографии, почв и грунтов, соответственно;

РЛ = $\{o; \dots; i\}$, где o – дешифровочные признаки всех категорий объектов для районов, покрытых облачностью и северных территорий; i – дешифровочные признаки объектов промышленной и сельскохозяйственной инфраструктуры;

ГСП = $\{r; \dots; s\}$, где r и s – признаки растительности и состояния сельскохозяйственных угодий, соответственно.

Интегральный подход в этом случае, означает обоснование и выбор комплекта различного вида космической информации оптимального для результативного дешифрирования специфики состояния и динамики объектов конкретного региона. При планировании космической съемки отечественными космическими системами (современными и перспективными) с установленной различного вида съемочной аппаратурой для актуализации пространственных данных на регионы страны, предлагается в качестве научно-методической основы использовать электронную, интерактивную карту районирования (зонирования) территории Российской Федерации по степени освоенности и интенсивности изменений объектов местности (Карта районирования), первая редакция которой разработана в ОАО «НИИП центр «Природа» и применена для оценки очередности и периодичности государственного топографического мониторинга. Реализация предлагаемой информационной модели позволит: для каждой выделенной на Карте районирования территории сформировать свод космической информации сопряженной с банком данных дешифровочных признаков объектов – элементов содержания разнообразных видов цифровой картографической продукции и выполнить экономически эффективную актуализацию пространственных данных.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Б.В. Костров, А.Н. Колесников

*Рязанский государственный радиотехнический университет
(г. Рязань)*

Использование оперативной аэрокосмической информации позволяет успешно осуществлять мониторинг как быстро протекающих, так и протекающих медленно процессов, охватывающих большие территории.

При объединении картографической информации с постоянно обновляющимися аэрокосмическими изображениями (АКИ) с помощью современных геоинформационных технологий появляется задача автоматической привязки (наложения) нового аэрокосмического изображения на текущее.

Современная аэрофотосъемка позволяет проводить съемку местности или наземных объектов с высоты от нескольких десятков метров до нескольких километров для последующего дешифрирования.

Результатом цифровой аэрофотосъемки местности являются цифровые АКИ, для обновления которых предлагается следующий алгоритм автоматической привязки АКИ.

Введем обозначения: $f_{ТИ}(i, j)$ – функция распределения яркости некоторого изображения, размером $N \times S$ элементов в прямоугольных целочисленных координатах ($i = \overline{0, N-1}$, $j = \overline{0, S-1}$), будем считать его текущим изображением (ТИ); $f_{НИ}(k, l)$ – функция распределения яркости некоторого изображения, размером $K \times L$ элементов в прямоугольных целочисленных координатах ($k = \overline{0, K-1}$, $l = \overline{0, L-1}$), будем считать его новым изображением (НИ); $f_{ЭИ}(m, r)$ – функция распределения яркости фрагмента текущего изображения, связанного некоторым образом с НИ, размером $M \times M$ ($M \leq \min\{N; K\}$). Будем называть его эталонным изображением (ЭИ).

Первый этап – автоматическое выделение нескольких фрагментов ЭИ на ТИ (количество задается в настройках в зависимости от требований по качеству и быстродействию).

Второй этап – автоматический поиск точек соответствия между ТИ и НИ за счет вычисления корреляционной функции между ТИ и каждым ЭИ.

Третий этап – оценка верности нахождения точек совмещения АКИ.

Четвертый этап – наложение НИ на ТИ.

На втором этапе предлагается вычислять взаимную корреляционную функции с последующим поиском максимума этой функции. В результате исследований получено, что при вычислении взаимной корреляционной функции предпочтительно применять теорему о корреляции, которая в диадном пространстве приводит к понятию вещественно-диадной свертки.

Для случая вычисления взаимно-корреляционной функции двух изображений, формула для вещественно-диадной свертки принимает вид:

$$K_{ВД}(p, g) = \frac{1}{ML} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{r=0}^{M-1} [H_w F_{ЭИ}(m, r) H_w] \times [H_w F_{ТИ}(m + p, r + g) H_w],$$

где H_w – матрица Адамара, $F_{ЭИ}(m, m)$ и $F_{ТИ}(m + p, r + g)$ – матрицы элементов эталонного и текущего изображений.

Проектирование алгоритма основано на том, что АКИ содержат избыточные данные, устранение которых незначительно влияет на их

взаимную корреляционную привязку. Для снижения исходной информативности АКИ и уменьшению объема вычислений при корреляционной обработке предлагаются методы совмещения АКИ с устранением избыточных данных.

1. С устранением информационной избыточности высокочастотной фильтрацией. Для этого на спектры отождествляемых фрагментов накладывается фильтр верхних частот.

2. С устранением информационной избыточности методом прореживания базисных функций. Метод основан на устранении низкочастотных составляющих коррелируемых изображений в процессе вычисления их спектров с использованием модифицированной матрицы Адамара.

3. С использованием квазидвумерного спектрального представления коррелируемых изображений.

Совмещение ТИ и НИ может осуществляться с ошибками округления координат точки привязки, поскольку вычисляемая оценка корреляционной функции $K(p, g)$ представляет собой случайную функцию, статистические характеристики которой определяют надежность совмещения, которая может быть оценена по следующей формуле:

$$r = M[K(i_n, j_n)] / [D[K(i_B, j_B)]]^{1/2},$$

где (i_n, j_n) и (i_B, j_B) - значения аргументов оценки корреляционной функции, соответствующее точке истинного совмещения, и одной из точек области боковых пиков корреляционной функции; $M[K(i_n, j_n)]$ - математическое ожидание оценки корреляционной функции в точке истинного совмещения изображений; $D[K(i_B, j_B)]$ - дисперсия оценки корреляционной функции в области боковых пиков.

Чем больше r , тем меньше вероятность ложного совмещения. Однако получить аналитические зависимости для расчета вероятности ложного совмещения по известной r не всегда удается. Результат привязки можно считать корректным при выполнении неравенства $r > r^*$.

Применение вещественно-диадной свертки позволяет строить эффективные экстремально-корреляционные алгоритмы для автоматического совмещения АКИ. В результате проведенных исследований можно сделать вывод о высокой надежности алгоритмов, основанных на предлагаемых методах вычисления взаимно-корреляционной функции при получении выигрыша в объеме вычислений более чем в 3 раза.

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДСПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И АТМОСФЕРЫ

*А.А. Алексеев, Е.И. Астахова,
С.А. Пономарев, Л.И. Чапурский
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Рассмотрены возможности повышения эффективности получения исходных данных для замещающей калибровки и тематической обработки материалов космических и авиационных съёмок, а также формирования баз данных по оптико-физическим характеристикам природных и антропогенных объектов за счёт оптимального планирования лётно-экспериментальных работ организаций, располагающих современными измерительными средствами.

С начала 1960-х годов специалисты Военно-космической академии (ВКА) им. А.Ф. Можайского принимали активное участие в информационном обеспечении предприятий-разработчиков космических систем дистанционных исследований Земли данными об отражательных, излучательных характеристиках (ОИХ) целей, фонов и передаточных свойствах атмосферы. При выполнении государственных программ по созданию космических систем различного назначения непосредственное сотрудничество специалистов ВКА с разработчиками космической аппаратуры осуществлялось в рамках хозяйственных договоров с ВНИИЭМ, ВНИИТ, ЦСКБ, ГИПО, ГОИ, ЭЛАС.

Для получения надёжных исходных данных о целях и фонах использовались данные, получаемые в результате авиационных и наземных экспериментов с использованием самолётов Ли-2, Ан-8, Ил-18, Ан-12 и вертолётов Ми-8, оснащённых отечественной аппаратурой для измерения ОИХ естественных и антропогенных объектов и характеристик атмосферы. Самолёты-лаборатории оснащались приборами, созданными на опытных производствах и в макетных мастерских ГГО им. А.И. Воейкова, ГОИ им. С.И. Вавилова, ВНИИ КАМ, ЛГУ им. А.А. Жданова, ЦАО, ЛКВВИА им. А.Ф. Можайского. Из-за установки многочисленных датчиков измерительной аппаратуры, нарушающей аэродинамику самолётов, и большого энергопотребления, полёты таких самолётов-

лабораторий квалифицировались как испытательные. Самолёты-лаборатории использовались при выполнении научно-исследовательских и прикладных программ, в том числе, связанных со съёмками Земли со спутников «Метеор» и с обитаемых орбитальных станций, а также при выполнении международных экспериментов. Результаты исследований публиковались в отечественных и зарубежных периодических изданиях и докладывались на конференциях.

При выполнении ЛЭИ наземной исследовательской группой на аэродроме базирования выполняются измерения оптико-метеорологических характеристик, радиационных температур поверхностей на спектральном интервале от 8 до 13 мкм и коэффициентов спектральной яркости элементов аэродрома, выбранных в качестве тестовых, с использованием пирометров и авиационных спектрометров. При выполнении подспутниковых ЛЭИ организуется выезд наземной группы в район выполнения съёмок.

Для получения исходных данных для качественного решения перечисленных выше задач кроме высококвалифицированных специалистов (которыми ВКА располагает) необходимо наличие современной аппаратной базы. Имеющаяся в данный момент в академии измерительная аппаратура уступает по своим характеристикам ведущим мировым образцам и по ряду параметров уже не удовлетворяет современным требованиям.

Таким образом, при современном состоянии экономики РФ объединение технических и интеллектуальных потенциалов организаций различных ведомств позволит обеспечить эффективное использование информации от существующих космических систем метеорологического природоресурсного и двойного назначения.

ОЦЕНИВАНИЕ РОЛИ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА В ГЕНЕЗИСЕ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ И ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

*Ю.Е. Бунина, А.Н. Ефременко, Н.О. Моисеева
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

В последние десятилетия на Земле наблюдается увеличение природных катастроф, связанных со стихийными бедствиями (СБ) и опасными природными явлениями (ОПЯ). Увеличение числа ОПЯ требует безоговорочного повышения внимания к их прогнозированию с целью уменьшения вызванного этими явлениями ущерба.

Помимо естественных причин, учащение возникновения ОПЯ связано с высокими темпами индустриального развития общества, требующими освоения природных ресурсов в большем объеме. Оценивание роли антропогенного фактора (АФ) при исследовании причин возникновения СБ и ОПЯ необходимо для понимания того, как изменение человеком условий природной среды (УПС) может влиять на частоту и повторяемость ОПЯ.

Для минимизации ущерба от ОПЯ необходима система мониторинга, позволяющая: регистрировать эти явления; определять характеристики ОПЯ; выявлять характер причин возникновения ОПЯ; прогнозировать возникновения ОПЯ; разрабатывать рекомендации по проведению защитных мероприятий. Проведенные в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского исследования показали, что решение задач своевременной регистрации ОПЯ в глобальном масштабе и идентификации их генезиса может быть автоматизировано с использованием компьютерных технологий и программных средств. В этой связи в академии был разработан макет программного комплекса регистрации СБ и ОПЯ (далее по тексту – Макет).

Макет предусматривает возможность автоматизированной формализации идентификаторов как самих ОПЯ, так и УПС, благоприятных для их возникновения.

Идентификаторы ОПЯ включают в себя стандартные показатели, описывающие само явление. Значения показателей или их характеристики распространяются по каналам связи от соответствующих геофизических систем наблюдений (в том числе и систем космического базирования).

При создании Макета была сформирована постоянно обновляющаяся (по мере поступления информации) база данных результатов наблюдений за ОПЯ и УПС, предшествующих и сопутствующих каждому ОПЯ. Сформированный архив позволяет разрабатывать идентификаторы УПС, благоприятных для возникновения ОПЯ по степени их соответствия благоприятным условиям на три градации: 1) > 0,75 –

благоприятные условия; 2) $0,75 - 0,25$ – допустимые условия; 3) $< 0,25$ – неблагоприятные условия. Идентификаторы благоприятных УПС для формирования ОПЯ или СБ и геофизического идентификатора АФ разрабатываются для всех геосфер, что позволит определять (с определенной долей вероятности) характер причин их возникновения.

Полученные результаты позволят автоматизировать процесс оценивания роли АФ при возникновении того или иного СБ или ОПЯ. Проведенные исследования позволят также повысить точность прогнозирования СБ и ОПЯ и способствует своевременному применению защитных мер от них в автоматизированном режиме.

Следует заметить, что наибольшая эффективность применения защитных мероприятий достигается при комплексном использовании всей имеющейся информации о состоянии окружающей ПС (результаты наземных систем наблюдений, аэрологического и дистанционного зондирования Земли) и учете антропогенного фактора

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НАБЛЮДАЕМОСТИ ГРУППОВЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ВИДОВЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

*А.В. Попов, Е.Э. Филиппских, О.А. Фуженко
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Задача априорной оценки характеристик наблюдаемости групповых объектов (ГО) на основе ранее рассчитанных соответствующих показателей наблюдаемости отдельных элементов этих ГО (частных показателей) для видовых данных дистанционного зондирования актуальна при анализе эффективности технических средств дистанционного зондирования на этапе планирования их применения.

В качестве основных характеристик наблюдаемости групповых объектов для видовых данных приняты значения вероятностей обнаружения и определения формы этих объектов. Под вероятностью обнаружения ГО понимается вероятность обнаружения посредством комплексной обработки видовой информации не менее 50% его элементов. Под вероятностью определения формы ГО предложено понимать вероятность определения формы заданного количества его кри-

тических элементов и/или конфигурации типового размещения элементов ГО при ранее рассчитанных вероятностях определения формы их выбранного количества.

Расчет характеристик наблюдаемости ГО по полученным результатам оценки частных показателей основан на системном анализе процесса дешифрирования.

Для получения оценки вероятности обнаружения ГО рассчитанные значения вероятности обнаружения каждого из его N элементов ранжируются по величине. Из ранжированного ряда с длиной N для дальнейших вычислений выбираются $N/2$ (округление в сторону большего целого) наибольших результирующих значений вероятности обнаружения и по этим значениям рассчитывают значение вероятности обнаружения группового объекта как произведение $N/2$ независимых событий.

Расчет оценки вероятности определения формы ГО может выполняться двумя предлагаемыми способами.

При первом способе косвенного метода определения вероятности определения формы ГО возможно использовать подход, основанный на системном анализе процесса дешифрирования группового объекта. Основную компоненту значения вероятности определения формы ГО при условии его обнаружения определяют на основе исходных данных частных показателей, рассчитанных для каждого элемента группового объекта. Последующие компоненты (при необходимости) определяются их условий системного анализа процесса дешифрирования, например, учет исхода по определению формы первых трех специфических элементов ГО или достоверное обнаружение подавляющего большинства элементов ГО на типовых дистанциях размещения, или определение формы наиболее критичного элемента при условии обнаружения заданного количества остальных и т.д. Все возможные компоненты учитываются как совместные случайные события.

При втором способе косвенного метода определения вероятности определения формы ГО возможно использовать подход, основанный на применении теории графов. Их построение основывается на формализованном описании набора возможных событий, представляющих вершины графа. Ребрам присваиваются в качестве их веса значения вероятностей перехода из одного состояния в другое. Этот способ наделен большей трудоемкостью вместе с повышенной наглядностью и возможностью последующей детализации.

СОЗДАНИЕ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ СБОРА, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С.А. Карин

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»

Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)

В данном докладе представлен подход к решению задачи создания предметно-ориентированной базы данных в системе сбора, обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли органов управления на основе концепции сетецентрических систем. Суть подхода заключается в разработке универсальной (для определенного круга задач и используемых информационных ресурсов) модели представления данных ДЗЗ и соответствующих методов их автоматического учета, оперативного поиска, обработки и доведения до потребителей.

С учетом постоянно возрастающего объема добываемых и обрабатываемых данных ДЗЗ значительно возрастает значение технологий, обеспечивающих оперативность поиска и получения необходимой информации. При этом в технологическом цикле сбора, накопления, поиска и анализа данных ДЗЗ с учетом вышесказанного все более возрастающую роль начинают играть распределенные базы (банки) геопространственных данных, построенные по единому принципу и обеспечивающие:

- совместный доступ потребителей к информационным ресурсам;
- организацию разграничения доступа к информационным ресурсам;
- распределенное хранение информационных ресурсов;
- многокритериальный поиск требуемых информационных ресурсов.

Кроме того, важным свойством таких систем является унификация хранимых и обрабатываемых информационных ресурсов, т.е. применение определенным образом унифицированных моделей их представления, а также унификация подсистемы поиска и синхронизации хранящихся данных.

Сотрудниками Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского специализированная технологическая интеграционная платформа такого класса создана и успешно функционирует. Основной ее за-

дачей является обеспечение функционирования прикладного программного и лингвистического обеспечения типовых территориально-распределенных защищенных автоматизированных систем хранения и обработки данных ДЗЗ с возможностью динамического моделирования целевой предметной области.

При этом факторами, которые учитывались при создании данной платформы были следующие:

1) Территориальная распределенность и гетерогенность информационных ресурсов и самих участников информационного взаимодействия.

2) Необходимость предоставления должностным лицам технологических средств настройки системы под возникающие информационные задачи.

3) Необходимость в гарантированном доведении и обработке информации, в том числе при «нестабильных» каналах связи.

4) Необходимость обеспечения работы должностных лиц в единой понятийной среде и в едином информационном пространстве.

5) Необходимость в постоянном мониторинге функционирования системы.

6) Постоянное масштабирование системы и т.д.

Все это создает предпосылки к тому, чтобы использовать данную платформу в качестве основы для построения систем хранения и обработки разнородных данных ДЗЗ.

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

*М.В. Акинин, А.И. Ефимов, М.Б. Никифоров, А.В. Соколова
Рязанский государственный радиотехнический университет
(г. Рязань)*

В настоящее время для успешного решения многих народнохозяйственных задач, а также задач предотвращения чрезвычайных ситуаций требуется оперативное отслеживание и качественный прогноз различных погодных аномалий и потенциально опасных погодных явлений.

Для оперативного прогнозирования погодных катаклизмов перспективным является использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого и среднего разрешения в совокупности с данными аэрофотосъемки. Важной задачей оперативного прогнозирова-

ния является задача обнаружения атмосферных структур (образований) — первопричин опасных погодных явлений. К таковым структурам относятся вихри, ураганы, торнадо и прочие атмосферные образования.

Как правило, вихревые образования имеют регулярную структуру:

- на спутниковых снимках среднего и высокого разрешения вихревые структуры имеют вид спиралевидных образований с расходящимися от центральной окружности (так называемый «глаз» вихря) рукавами;
- на спутниковых снимках низкого разрешения вихревая структура представляется в виде окружности (из-за низкого разрешения рукава сливаются в единую практически правильную окружность с перепадами яркости между центрами рукавов).

Кроме того, стоит отметить высокую яркость вихревых образований в каждом из видимых спектральных каналов, а также в ближних инфракрасных каналах, что объясняется природой возникновения вихря — восходящие потоки воздуха имеют высокую температуру, из-за чего создается циркуляция, приводящая к возникновению вихря.

Правильная структура вихревых образований позволяет разработать алгоритм обнаружения вихревых образований на основе данных ДЗЗ, для чего можно использовать следующие методы:

- метод, основанный на поиске вихревых образований по образцу;
- метод, основанный на применении преобразования Хафа.

В каждом из этих подходов на первом этапе выполняется пороговое поканальное преобразование исходного изображения B для выделения областей высокой яркости. После чего полученные матрицы объединяются в одну с помощью операции попиксельного И, результатом чего становится бинарное изображение B_{bin} , на котором белым цветом отмечены области высокой яркости в каждом из имеющихся спектральных каналов

Непосредственное обнаружение вихревых образований может быть выполнено следующими способами.

В случае метода, основанного на поиске вихревых образований по образцу, генерируется набор паттернов $W = \{W_i\}, i = \overline{1, I}$, где W_i

— бинарный паттерн, содержащий заполненную окружность. Каждый паттерн скользящим окном проходит по бинарному изображению B_{bin} , вычисляя для каждого окна функцию корреляции f_{cor} , равную количеству пикселей, установленных в 1 в окне и в паттерне одновременно. Те окна, чье значение функции корреляции превосходит некоторый порог T , помечаются как окна, содержащие вихревое образование.

В случае метода, основанного на преобразовании Хафа, вихревое образование моделируется с помощью параметрической функции $M(a)$, где a — вектор параметров модели.

Параметрическая функция $M(a)$ принимает вид $M(a) = (x - a_1)^2 + (y - a_2) - a_3^2$ — для спутниковых снимков низкого разрешения, и вид спирали Архимеда или логарифмической спирали для спутниковых снимков среднего и высокого разрешения.

После задания функции $M(a)$ выполняется поиск в пространстве $A = \{a\}$ параметров кривой M расчётом локального максимума в накопительном пространстве, которое строится при вычислении преобразования Хафа.

В целях наискорейшего оповещения о возможных приближающихся чрезвычайных погодных явлениях рассмотренная методика может быть реализована аппаратно на борту устройства, осуществляющего ДЗЗ. Это позволит увеличить время на принятие управляющих решений и предотвращение или уменьшение негативных последствий из-за возникновения чрезвычайных погодных явлений.

ПРОГРАММНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТЛАДКИ АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ДЗЗ

*А.А. Логинов, Е.Р. Муратов, С.И. Елесина, М.В. Акинин, О.А. Ломтева
Рязанский государственный радиотехнический университет
(г. Рязань)*

При выполнении научных исследований по разработке и отработке элементов программно-математического обеспечения системы ДЗЗ возникает потребность в создании универсального программного средства для тестирования и отладки программных модулей и структур, реализующих различные алгоритмы обработки данных (в частности, обработка изображений), а также предварительной обработки данных одним или несколькими алгоритмами в задаваемой последовательности.

В докладе представлен программный стенд, имеющий визуальную IDE (интегрированную среду разработки), позволяющую собирать и перестраивать конвейер (последовательность алгоритмов для обработки данных) путем манипуляций с блоками, отождествляющими выбранные функции. Выполнение каждой функции осуществляется стендом в соответствии с порядком соединения блоков в конвейере. Каждый блок получает на свои входы данные с выходов соединенных с ним блоков, а затем вызывает соответствующую ему функцию. Блок описывает такие характеристики функции, как количество входов и их тип, тип выхода, значения на выходе и входах, имя библиотеки и имя функции, которую он представляет, указатели на соединенные с ним блоки.

Стенд позволяет редактировать имеющиеся, а также добавлять и удалять новые функции обработки данных, которые берутся из пользовательских библиотек (DLL). Перечень динамически загружаемых DLL и порядок вызова функций определяется составом и структурой собранного пользователем конвейера.

Имеется возможность собрать схему из нескольких независимо работающих конвейеров с целью их сравнения по временным показателям. Конвейер может выполняться как в автоматическом, так и пошаговом режиме. Схему и параметры собранного конвейера можно сохранять и загружать повторно.

Стенд осуществляет контроль корректности собранной схемы с синтаксической и логической точки зрения.

При работе конвейера выполняется накопление и обработка статистической информации от каждого блока, в котором пользователь предусмотрит такую возможность.

Стенд содержит минимальный набор предустановленных модулей (блоков), реализующих такие функции, как формирование списка имен файлов, хранение константного значения (числового и строково-

го), получение изображения из файла и/или кадра из видеопоследовательности, конвертирование изображения в буфер (где пиксели представлены группой байт), получение изображения от программ, формирующих виртуальную модель местности (ВММ), получение навигационных данных с их покадровой синхронизацией с видеопоследовательностью, а также реализация вычислений средствами Matlab.

Набор входных данных варьируется в зависимости от характера выполняемого эксперимента. В качестве данных могут использоваться видеопоследовательности, изображения, константы (числовые и строковые), навигационные данные сенсора (координаты, высота, курс, крен, тангаж), параметры сенсора (разрешение, углы обзора и т. п.), изображения ВММ.

В стенде предусмотрена возможность использования аппаратных ускорителей, внешних контроллеров, реализующих некоторые функции, например на ПЛИС, или на GPU.

В научно-образовательном центре «СпецЭВМ» Рязанского государственного радиотехнического университета с помощью предлагаемого стенда проведены экспериментальные исследования характеристик различных алгоритмов обработки изображений земной поверхности, в частности:

- алгоритмы корреляционного и некорреляционного совмещения разнородных изображений;
- алгоритмы выделения контуров объектов;
- алгоритмы построения 3D-моделей местности на основе цифровой карты местности.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ ПОСТОЯННЫХ РАССЕЙВАТЕЛЕЙ И МАЛЫХ БАЗОВЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ РСА ASAR/ENVISAT И PALSAR/ALOS

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

*¹ Научный центр оперативного мониторинга Земли
ОАО «Российские космические системы»
(г. Москва)*

*² Фрязинский филиал
Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН
(г. Фрязино)*

Возможности классических методов интерферометрической и дифференциальной интерферометрической обработки данных радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) при измерении рельефа и подвижек отражающей поверхности существенно ограничены эффектами пространственной и временной декорреляции и атмосферных искажений. Интенсивно развиваемые современные методы постоянных рассеивателей, PS, и малых базовых линий, SBAS, основанные на совместном использовании длинных временных серий изображений, позволяют резко ослабить влияние искажающих факторов.

В рамках метода PS задача выявления подвижек отражающей поверхности и измерения рельефа решается для ограниченного набора пикселей с достаточно сильным устойчивым отраженным сигналом, наблюдаемых в большом количестве на территориях типа городской застройки. В докладе представлены результаты исследований возможностей метода на примере модуля PS программного пакета SARscape и тестового массива данных (длинная временная серия из 25 фрагментов изображений PCA ASAR/ENVISAT размером 16×17 км², полученных в период с 25.10.2002 по 27.01.2006 по одному из районов вблизи города Лас Вегас, США). Данные входят в комплект поставки пакета SARscape. В качестве опорной цифровой модели рельефа (ЦМР) при проведении обработки использована ЦМР SRTM V4. Ввиду отсутствия каких-либо результатов подспутниковых наземных измерений основной акцент сделан на анализе относительных точностных характеристик выходных продуктов модуля PS пакета SARscape, включая средние значения и СКО рассчитанных скоростей смещений и остаточных высот.

Возможность формирования пространственно «плотных» выходных продуктов реализована в рамках метода SBAS. Ключевые моменты метода SBAS: (1) формирование наборов свернутых интерферограмм (временные и пространственные базовые линии интерферометрических пар изображений должны удовлетворять вводимым пороговым ограничениям); (2) развертка фазы свернутых интерферограмм; (3) матричная формулировка алгоритмов инверсии (оценка векторов смещений \vec{p} и остаточной топографии Δh по значениям фазы развернутых интерферограмм) для случаев одного и нескольких не связанных SBAS-наборов (интерферограммы для пар изображений не связанных наборов отсутствуют); (4) введение «гладкой» полиномиаль-

ной временной модели для изменения фазового сигнала во времени; (5) учет атмосферных фазовых искажений с использованием процедур низкочастотной пространственной и высокочастотной временной фильтрации (разработаны в рамках метода PS).

Описаны основные особенности алгоритма, реализованного в модуле SBAS пакета SARscape: (1) фильтрация свернутых интерферограмм с использованием одного из трех фильтров (Adaptive, Voxcar, Goldstein); (2) возможность выбора между методами 2D-развертки и 3D-развертки; (3) дополнительное использование результатов развертки усредненных свернутых интерферограмм, имеющих более низкое пространственное разрешение; (4) коррекция орбитальных ошибок методами Orbital refinement или Residual Phase refinement с использованием опорных точек местности (OTM), выбираемых на развернутых интерферограммах; (5) разбиение процедуры инверсии на два этапа – предварительного и основного, в рамках которого выполняется атмосферная коррекция. Предусмотрено использование большого объема интерактивных процедур визуально-инструментального анализа промежуточных и конечных результатов обработки с целью обеспечения возможности коррекции сделанного ранее выбора алгоритмов и значений их параметров в ключевых процедурах обработки (с последующим повторным запуском процесса), а также удаления интерферограмм с высоким уровнем шумов и наличием артефактов.

Запланированы и начаты комплексные экспериментальные исследования возможностей метода SBAS – на примере модуля SBAS программного пакета SARscape и тестового массива (входит в комплект поставки пакета SARscape) в составе:

- длинной временной серии из 34 фрагментов изображений размером 16×16 км² PCA ASAR/ENVISAT, полученных в период с 04.09.2006 по 08.09.2010;
- длинной временной серии из 23 фрагментов изображений размером $16,5 \times 16$ км² PCA PALSAR/ALOS, полученных в период с 26.08.2006 по 22.10.2010;
- результатов подспутниковых GPS-измерений для одной точки, находящейся в пределах области «покрытия» земной поверхности изображениями PCA.

Территория съемки – префектура Chiba, Япония – на которой расположено несколько участков с проседанием и подъемом почвы. Смещения земной поверхности вызваны добычей газа и закачкой воды.

ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТЕХНИКИ НА ДИСКРЕТНОМ РАБОЧЕМ ПОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ О РЕЛЬЕФЕ МЕСТНОСТИ И МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

А.Г. Саидов

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»

Министерства обороны РФ

(г. Санкт-Петербург)

Задача построения маршрутов передвижения в настоящее время имеет несколько реализаций: картографические интернет-сервисы, программное обеспечение навигаторов, модули в геоинформационных системах. Все они, как правило, в качестве основных данных используют топографические информацию о дорожной сети, сезонной загруженности и т. п. Однако в задаче планирования передвижения тяжелой техники или прокладки новых путей в районах, где дороги отсутствуют или приведены в негодность вследствие чрезвычайных происшествий (стихийные бедствия, военные действия и т.п.), решение задачи построения маршрута затруднительно.

В данном направлении были проведены исследования, в результате которых предложен способ построения маршрутов передвижения техники опираясь на пространственные данные получаемые с помощью мульти- и/или гиперспектральной съемки (МГС). Стоит отметить, что предложенный способ учитывает особенности и рельеф местности, поскольку передвижение различной техники может быть ограничено водными преградами, залесенными территориями, сильно пересеченными участками, а также допустимыми значениями уклона.

В качестве основного инструмента для работы с пространственными данными использовалась геоинформационная система (ГИС) Quantum GIS, поскольку является универсальной для обработки разнородной информации, обеспечивает поддержку разработки пользовательских модулей и относится к кроссплатформенным системам.

В предложенном способе построения маршрутов можно выделить три этапа: подготовку исходных данных, формирование дискретного рабочего поля (ДРП) и расчет кратчайшего маршрута.

На первом этапе производится сбор и обработка исходных данных, к которым относятся: данные о рельефе местности и результаты МГС съемки на анализируемую территорию. В процессе обработки МГС-снимка с помощью специализированного программного обеспечения, разработанного в академии, формируется набор исключаяющих слоев (водные объекты, залесенные территории и т. д.).

В качестве информации о рельефе местности использовались данные радиолокационной съемки SRTM. Была проведена обработка указанных данных, с целью получения векторного слоя. Объекты результирующего слоя содержат полигональные объекты триангуляционной нерегулярной сети с атрибутивными данными, включающими значения уклона и наклона (азимут) в градусах.

На втором этапе формируется ДРП, размерность ячейки которого соответствует размеру пикселя исходного МГС-снимка. ДРП представляет собой векторный слой, содержащий множество полигональных объектов. С помощью инструментов «выделения» последовательно определяются те ячейки ДРП, которые находятся в пределах исключаемых слоев. Также производится пересечения слоев ДРП и рельефа местности, таким образом, что каждому полигону ДРП соответствует значение уклона и его направления.

На конечном этапе производится определение начальной и конечной точки (в пределах ДРП) и указание предельно-допустимого значения уклона.

В качестве базового алгоритма по нахождению кратчайшего пути был выбран алгоритм Ли также известный, как волновой алгоритм. Данный алгоритм был модифицирован, поскольку имелась необходимость учитывать направление и значение уклонов местности.

Предложенный способ построения маршрутов передвижения техники на дискретном рабочем поле с использованием данных о рельефе местности и многоспектральной съемки был реализован в виде программного модуля, разработанным в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ МАКЕТА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИСТРАЦИИ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ И ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

*К.А. Лобанов, А.Н. Подковырин, А.С. Подчасский
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург)*

Постоянно возрастающее количество природных катастроф, их интенсивность, их влияние на все сферы человеческой деятельности обуславливает крайнюю необходимость организации систем комплексного мониторинга состояния окружающей природной среды (ОПС) и изучения факторов возникновения стихийных бедствий (СБ) и опасных природных явлений (ОПЯ). В докладе представлены результаты работы по созданию макета программного комплекса регистрации СБ и ОПЯ (далее по тексту – Макет), который в перспективе может явиться элементом подобной системы.

На рис. 1 приведена структура программного обеспечения (ПО) Макета.



Рис. 1. Структурная схема Макета

Из рисунка видно, что программное обеспечение Макета включает следующие программные компоненты (ПК): приема ГФИ, усвоения

ГФИ, формирования и ведения базы данных ГФИ, математического анализа, визуализации, настройки, служебных функций.

Данные ПК позволяют решить следующие основные задачи: усвоение потока первичной информации ГФИ, получаемой из различных источников в виде текстовых файлов; формирование базы данных СБ и ОПЯ, произошедших в различных геосферах; отображение на карте координат возникновения СБ и ОПЯ, зарегистрированных за требуемый интервал времени в заданном районе; сравнение значений геофизических величин, описывающих параметры различных геосфер, с их граничными значениями.

Для регистрации ОПЯ в Макете используются следующие их характеристики: название явления и его определение, пространственно-временные характеристики (дата, время, географические координаты, площадь, глубина, высота, продолжительность и т. д.), энергетические характеристики (потенциальная и кинетическая энергия, магнитуды и т.д.) и другие уточняющие характеристики самого ОПЯ, метеорологические и гидрологические условия (атмосферное давление, температура, влажность воздуха, ветер и т. д.), характеристики ландшафта и рельефа района локализации ОПЯ. Источниками необходимой для реализации Макета информации выступили архивы данных существующих систем мониторинга и контроля состояния ОПС в глобальном масштабе, представленные в открытом доступе. Особое внимание уделено возможности получения исходной информации от систем космического базирования.

Конечная цель функционирования Макета, заключающаяся в представлении выходной информации о СБ и ОПЯ потребителю, реализуется с помощью ПК визуализации картографических документов. Формирование графического изображения ОПЯ происходит на основе результатов работы ПК математического анализа, работающего в фоновом режиме.

В заключение отметим, что продолжение работы над созданием системы комплексного мониторинга состояния ОПС и изучения факторов возникновения СБ и ОПЯ позволит проводить более полный анализ СБ и ОПЯ на предмет изучения закономерностей их развития, а также анализа сопутствующих эффектов, как по отдельным явлениям, так и в комплексе.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПО МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ

*И.А. Козинев,
Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны РФ
(г. Санкт-Петербург)*

Одной из основных тенденций современного развития космических систем ДЗЗ является переход к широкому использованию бортовых много- и гиперспектральных оптико-электронных систем (ОЭС), работающих в видимом и ИК-диапазонах. Основной отличительной особенностью таких ОЭС является возможность одновременного анализа пространственного распределения и спектральных характеристик наблюдаемых объектов, процессов и явлений. При распознавании по спектральным признакам используется не структурное распознавание, как при распознавании по топологическим признакам, а корреляционное, более удобное для реализации автоматизированного распознавания. Все методы спектрального анализа данных ДЗЗ и корреляционного распознавания объектов по спектральным образам основываются на сравнении спектральных характеристик, полученных в ходе съемки, со спектральными характеристиками уже известных материалов, поэтому необходимым инструментом обработки гиперспектральных данных являются библиотеки спектральных эталонов. При использовании библиотек эталонных спектральных образов наземных объектов устройство или программа, осуществляющие распознавание вычисляют меру сходства между спектральной характеристикой, зарегистрированной в каждом пикселе «куба спектральных данных», и спектральными характеристиками, содержащимися в библиотеке эталонных спектральных образов. При этом анализ может вестись по всем эталонным образам, содержащимся в базе данных или по отдельным образам или группам образов, представляющим интерес для решения конкретной задачи с учетом имеющейся априорной информации. В Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по результатам анализа опубликованных результатов экспериментальных исследований коэффициентов спектральной яркости и индикатрис яркости объектов по материалам отечественных и зарубежных исследований, картографических данных о ландшафтном районировании территории РФ и сведений о сроках

наступления фенологических событий в различных ландшафтных зонах, содержащихся в календарях природы, справочниках и монографиях по сельскохозяйственной метеорологии, фенологии и экологии растений создана библиотека спектральных образов.

Для реализации процедуры распознавания объектов, зарегистрированные системой ДЗЗ спектральные данные должны пройти предварительную обработку, включающую в себя процедуры калибровки, радиометрической коррекции, геометрических преобразований, представления данных, улучшения качества изображения, нормализации и координатная привязки. Все эти процедуры реализуются в автоматизированном режиме с использованием специального программного обеспечения.

Данные спектральных библиотек, также необходимо калибровать для использования их на любом приборе. Соответственно, для работы с этими библиотеками аналогичные процедуры калибровки необходимо провести и на используемом приборе. Кроме того, под каждую конкретную задачу и конкретное программное обеспечение необходимо формировать собственную спектральную библиотеку или искать способ коррекции данных под существующую библиотеку. Ещё одним важным моментом является то, что спектральные библиотеки должны содержать информацию о трансформации спектральных образов объектов в зависимости от сезона, времени суток, положения солнца и др. факторов на момент наблюдения, с целью дальнейшего их учета при распознавании.

Важным фактором, который необходимо учитывать при работе с многоспектральными данными это их избыточная информативность и связанная с этим громоздкость, требующая создания специальных высокопроизводительных бортовых и наземных вычислительных систем, устройств хранения и обработки больших объемов данных и высокоскоростных каналов передачи информации на Землю. Для решения этой проблемы предлагается сокращение объема спектральных данных за счет выбора сокращенного количества наиболее информативных спектральных данных. Выбор значений наиболее информативных спектральных данных осуществляется путем отбора значений некоррелированных спектральных каналов датчика, соответствующих областям наиболее быстрого изменения спектрального образа наблюдаемого объекта. Тем самым число спектральных каналов выбирается соответствующим так называемой существенной размерности данных

наблюдений. Метод эквивалентен сжатию с потерями информации, однако за счет оптимального выбора выделяемых для обработки спектральных каналов эти потери могут быть минимизированы.

Практическое использование цифровой корреляционной обработки спектральных образов наблюдаемых объектов с выбором наиболее информативных спектральных каналов позволяет достигнуть высокого уровня характеристик обнаружения и распознавания широкого класса объектов, использовать автоматизированную обработку данных наблюдения на борту космического аппарата (КА) ДЗЗ и на наземном пункте приема информации, уменьшить поток передаваемых на Землю по радиоканалу данных наблюдения и обеспечить их оперативное доведение непосредственно до потребителя, обеспечить миниатюризацию бортовой аппаратуры ДЗЗ за счет снижения габаритов многоспектральных ОЭС и использовать такие ОЭС на перспективных малых КА.

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО.....	3
ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ.....	4
СЕКЦИЯ 1. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, КОСМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ.....	13
СЕКЦИЯ 2. ПРИБОРЫ СЛУЖЕБНЫХ СИСТЕМ КА, АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА.....	51
СЕКЦИЯ 3. ЦЕЛЕВЫЕ ПРИБОРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	95
СЕКЦИЯ 4. НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ	130
СЕКЦИЯ 5. МЕТОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ.....	153

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

Подписано в печать 30.03.2015.
Тираж 150 экз.