



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

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



МОСКВА
2016

Тезисы докладов Четвертой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – 220 с.

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

Сборник издается в авторской редакции.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДАННЫХ ДЗЗ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*В.А. Заичко, В.А. Мироничев
Госкорпорация «Роскосмос»*

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЗЗ

*С.Н. Волков (1), С.А. Золотой (2), И.В. Минаев (3)
(1, 3) АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва
(2) УП «Геоинформационные системы», г. Минск, Беларусь*

С 1991 г. Республика Беларусь является суверенным государством, самостоятельно осуществляющим внутреннюю и внешнюю политику. Успешно решая задачи космического направления по многим программам СССР, Республика Беларусь (РБ) не располагала национальной программой исследования космического пространства, возможности использования космической информации для решения республиканских задач были крайне ограниченными.

Учитывая широкий спектр государственных интересов в сфере использования космического пространства и космических технологий для нужд социально-экономического развития и научного прогресса, уже в течение 1991 и 1992 годов РБ были подписаны Межгосударственные соглашения о порядке организации работ в СНГ по исследованию и использованию космического пространства. В дальнейшем в интересах Союзного государства были разработаны и реализованы научно-технические программы, имеющие существенное научное и практическое значение, в том числе и для развития космической деятельности в рамках национальных программ РФ и РБ. Основными из этих программ являются:

«Разработка и использование космических средств и технологий получения, обработки и отображения космической информации» («Космос-БР» на 1999 – 2002 годы);

«Разработка и использование перспективных космических средств

и технологий в интересах экономического и научно-технического развития Союзного государства» («Космос-СГ» на 2004 – 2007 годы);

«Разработка базовых элементов, технологий создания и применения орбитальных и наземных средств многофункциональной космической системы» («Космос-НТ» на 2008 – 2011 годы);

«Разработка интегрированной системы стандартизации космической техники, создаваемой в рамках программ и проектов Союзного государства»

(«Стандартизация-СГ» на 2011 – 2014 годы).

Разработанная в 2002 – 2003 гг. в НАН БР с участием российских ученых Концепция создания Белорусской космической системы ДЗЗ (БКСДЗ) была утверждена Указом Президента РБ в 2004 г., а Указом Президента РБ 2007 г. БКСДЗ уже рассматривалась как основа космической отрасли РБ. В состав БКСДЗ входит космический сегмент, включающий зарубежные спутники с аппаратурой низкого и среднего разрешения, а также Белорусский КА (БелКА) с панхроматической и многозональной аппаратурой ДЗЗ высокого разрешения, и многофункциональный наземный сегмент с комплексами планирования, управления, приема, обработки, хранения и распространения информации.

Создание БКСДЗ позволило не только существенно сократить бюджетные расходы на приобретение данных ДЗЗ с зарубежных КА, но и значительно повысить эффективность решения социально-экономических задач РБ. Благодаря запуску спутника РБ создала полную систему ДЗЗ, которая позволяет отказаться от услуг других государств для получения и обработки космической информации. С запуском БелКА и российского «Канопус-В» Беларусь и Россия фактически создали орбитальный комплекс КА, который используется в интересах двух наших государств.

Мировые технологические тенденции развития КА дистанционного зондирования Земли определяются созданием: многоспутниковых орбитальных группировок на базе надежных малогабаритных КА, обеспечивающих оперативность повторных наблюдений 2 – 4 часа, оснащённых мультиспектральной, радиолокационной и гиперспектральной аппаратурой наблюдения; отказоустойчивой бортовой аппаратуры сверхвысокого разрешения (пространственное разрешение 0,25 – 1,0 м) в видимом (оптическом) диапазоне и радиолокационном X-диапазоне

(длина волны 3,1 см).

Реализация указанных направлений обеспечит возможность повышения оперативности (не более 12 часов с момента подачи заявки) предоставления потребителям актуальной космической информации.

Вместе с тем создание надежных бортовых электронных и радиотехнических приборов и систем малогабаритных космических аппаратов возможно лишь посредством выполнения полного цикла их отработки на Земле и в космосе. При этом должны быть реализованы следующие принципы:

- технические решения по новым и сложным изделиям космической техники должны приниматься, в основном, по результатам проведения расчетно-теоретических исследований с применением программно-моделирующих комплексов;

- технические решения, которые невозможно подтвердить с помощью расчетных методов, отрабатываются на наземной лабораторной базе с использованием специально созданной аппаратуры контроля и диагностики;

- ключевые (критические) решения, которые невозможно обоснованно принять по результатам наземных лабораторных испытаний, отрабатываются в натурных условиях, в том числе в процессе летных испытаний, с использованием малогабаритных технологических космических аппаратов.

Одним из направлений решения указанных проблем, с учетом привлечения к научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам сложившейся кооперации предприятий России и Беларуси и имеющегося у них конструкторского и технологического задела по созданию маломассогабаритной космической аппаратуры, полученного в рамках ранее выполненных программ, должна стать реализация программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг СГ» на 2013 – 2017 гг.).

**СПУТНИКИ СЕРИЙ «МЕТЕОР-М», «КАНОПУС-В»
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И
МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

В.В. Асмус^{}, В.А. Кровотынцева^{*},
Л.А. Макриденко^{**}, О. Е. Милехин^{*}, А.Н. Рублев^{*},
В.И. Соловьев^{*}, А.Б. Успенский^{*}, А.В. Фролов^{***}, М.Н. Хайлов^{****},
Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии
«Планета»;
^{**} АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
^{***} Росгидромет,
^{****} Госкорпорация «Роскосмос»*

В рамках Федеральной космической программы России на 2006 – 2015 гг. выполнены работы по созданию космического комплекса (КК) «Метеор-3М» гидрометеорологического и океанографического обеспечения с космическими аппаратами (КА) «Метеор-М» № 1 (запущен в 2009 г.) и «Метеор-М» № 2 (запущен в 2014 г.), а также КК оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с КА «Канопус-В» № 1 (запущен в 2012 г.). Наряду с КА «Метеор-М» № 1 и КА «Метеор-М» № 2 в состав КК «Метеор-3М» должны входить еще два метеорологических КА («Метеор-М» № 2-1 – 2016 г. и «Метеор-М» № 2-2 – 2017 г.), а также КА «Метеор-М» № 3 океанографического назначения. КК «Канопус-В» должен быть дополнен в 2017 г. КА «Канопус-В» № 3, 4. Тематическим заказчиком обоих КК является Росгидромет. Практическую реализацию планов по созданию системы спутников серии «Метеор-М» и «Канопус-В» осуществляет АО «Корпорация «ВНИИЭМ» с кооперацией. Наземные комплексы приема, обработки, распространения и архивации данных «Метеор-М» (НКПОР-М) и «Канопус-В» (НКПОР-) созданы ФГБУ «НИЦ «Планета».

Даются общие сведения о бортовых измерительных комплексах КА типа «Метеор-М» и «Канопус-В». Приведено краткое описание НКПОР-М и НКПОР-, дан перечень выходных информационных продуктов и областей их применения. Представлены результаты опытной эксплуатации бортовой целевой аппаратуры МСУ-МР, КМСС, МТВЗА-ГЯ, ИКФС-2, БРЛК КА «Метеор-М» № 2, приведены приме-

ры выходных информационных продуктов, получаемых по спутниковым данным. Рассмотрено состояние работ по внешней калибровке данных микроволнового сканера-зондировщика МТВЗА-ГЯ и контролю бортовой калибровки ИК-зондировщика ИКФС-2. Обсуждаются получение и валидация выходных продуктов атмосферного зондирования, получаемых по данным МТВЗА-ГЯ, ИКФС-2. Рассмотрены примеры использования данных МСУ-МР, КМСС, а также информации «Канопус-В» № 1 для мониторинга стихийных гидрометеорологических явлений и природных чрезвычайных ситуаций, обнаружения и контроля очагов лесных пожаров и гарей, мониторинга сельскохозяйственной и водоохранной деятельности, мониторинга ледовой обстановки на реках, озерах и водохранилищах, а также в прибрежных зонах замерзающих морей России.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

*А.В. Горбунов, М.В. Новиков,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

С развитием наблюдения Земли из космоса растут требования к пространственному разрешению, спектральным диапазонам, точности привязки полученной информации к абсолютной шкале яркости и т. д. Для нормализации и тематической обработки информации стали использовать вычислительную технику.

Возможности обработки информации на вычислительных машинах позволяют существенно увеличить объемы информации, получаемой потребителями. Однако при этом одним из проблемных вопросов остается повышение точности радиометрической коррекции и абсолютной энергетической привязки информации многозональных сканирующих устройств (МСУ).

В большинстве случаев в выходной информации космической системы не учитываются погрешности, возникающие в оптической системе при эксплуатации в натуральных условиях и в тракте обработки сигналов МСУ, а так же при геометрической коррекции и при геодезической привязке информации. Для повышения радиометрической

точности необходимо усовершенствовать модели погрешностей МСУ и комплекса обработки данных, использовать модернизированные алгоритмы радиометрической коррекции и нормализации информации дистанционного зондирования. Целесообразно использовать в космической системе методы поддержания точности абсолютной энергетической привязки на базе бортовых калибровочных источников излучения, полетной калибровки МСУ по специальным полигонам, природным объектам (облака, снег, песок) и т. д. Эффективное решение этой задачи требует интеграции МСУ и комплекса обработки его информации. Примером такой интеграции являются информационно-измерительные системы, которые на протяжении многих лет используются в различных областях науки и техники. Для поддержания заданных характеристик космической измерительной системы целесообразно формирование и подачу на МСУ командно-программных воздействий, формируемых информационно-управляющей системой космического аппарата.

Модернизация структуры космических систем ДЗЗ заключается в интеграции МСУ и комплекса обработки информации в информационно-измерительную систему, создаваемую по единому техническому заданию и обеспечивающую повышение радиометрической точности за счет более полной коррекции погрешностей МСУ. В дальнейшем модернизация структуры космических систем ДЗЗ может идти по пути создания на базе информационно-измерительных систем космических автоматизированных информационно-управляющих систем.

КОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «КАНОПУС-В» И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КАРТОГРАФИИ

*Е.Л. Лукашевич,
АО «Научно-исследовательский
и производственный центр «Природа»,
г. Москва*

Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» напрямую не предназначен для обеспечения картографической отрасли материалами космической съемки. Тем не менее, Росреестр является созаказчиком

разработки КА «Канопус-В», и получаемая с него информация успешно используется для обновления топографических карт масштаба 1: 50000.

В связи с тем, что Росреестр ежегодно заказывает большой объем данных ДЗЗ для обновления карт не только масштаба 1:50000, но и масштаба 1: 25000, возникает вопрос о степени пригодности материалов съемки с КА «Канопус-В» для картографирования в масштабе 1:25000.

Из опыта работ по космическому картографированию, известно, что для обновления карт масштаба 1:25000 с минимально допустимым коэффициентом полноты содержания карт необходимо использовать материалы космической съемки с линейным разрешением на местности не хуже 2,5 м.

В настоящее время при съемке с высоты 510 км аппаратурой ПСС можно получить снимки с линейным разрешением на местности не лучше 2,8 м. В то же время в марте 2015 г. по результатам технического совещания по выбору баллистического построения орбитальной группировки КА «Канопус-В» было принято и утверждено разработчиком и основными заказчиками комплекса «Канопус-В» решение, в соответствии с которым рабочие околокруговые солнечно-синхронные орбиты могут иметь высоту в восходящем узле 500 ± 30 км. Съемка в реальных условиях с высоты 470 км однозначно позволит улучшить коэффициент полноты содержания карт масштаба 1:25000.

В идеальном случае для обеспечения площадной съемки с ограниченными углами отклонения линии визирования от местной вертикали можно спроектировать в окрестности высот 470 – 480 км околокруговую солнечно-синхронную орбиту кратности $m = 3$ с восточным смещением трасс через трое суток на величину $\Delta L_3 = b_\varphi$, где b_φ – величина проекции полосы захвата вдоль трассы КА на параллель, соответствующую фиксированной широте φ , без ущерба на оперативность мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций. Номинальные параметры рабочей орбиты, вычисленные с учетом ширины полосы захвата $b = 20$ км и $\varphi = 42^\circ$, составляют:

- драконический период обращения $T_\Omega = 93,8922$ мин;
- межвитковый интервал $L = 23,4730^\circ$;
- суточное смещение трасс $\Delta L_1 = +7,9043^\circ$ (восточное смещение);
- смещение трасс через трое суток $\Delta L_3 = +0,24^\circ$ (восточное смещение);

– средняя высота орбиты $H_{cp} = 478$ км.

Коррекцию орбиты для компенсации аэродинамических возмущений целесообразно проводить по достижению смещения трасс через трое суток значения $\Delta L_3 = +0,72^\circ$. При этом площадная съемка в течение периода между коррекциями может проводиться с отклонениями линии визирования от надира с углами крена, не превышающими 7° .

В упомянутом ранее Решении технического совещания по выбору баллистического построения орбитальной группировки КА «Канопус-В» отмечается, что группировка может включать от 2-х до 8-ми КА, расположенных в двух плоскостях, в каждой из которых будут 2 – 4 КА, равномерно распределенных по аргументу широты. Рассмотрим конфигурацию системы из n КА, расположенных в одной плоскости.

Все конфигурации орбитальных систем можно разделить на два типа:

- конфигурация, при которой каждый КА независимо заметает полосами захвата свою n -ю часть межвиткового интервала;
- конфигурация, при которой покрытие межвиткового интервала осуществляется суммарными полосами захвата, формируемыми в определенной очередности полосами захвата каждого КА.

Можно показать, что построение конфигураций первого типа возможно при выполнении условий: $m \neq n$, отсутствие у чисел n и m общих делителей, отличных от единицы, и равенство ширины полосы захвата целевой аппаратуры ДЗЗ на всех КА. В случаях $m = n$, наличия у чисел n и m общих делителей, а также в случае разных по ширине полос захвата будет иметь место второй тип конфигураций.

Нетрудно видеть, что орбита всех КА в конфигурации орбитальной группировки первого типа определяется также, как и для одиночного КА из условия $\Delta L_3 = b_\phi$. Тогда в случаях $n = 2$ и $n = 4$ будем иметь рабочую орбиту каждого КА с приведенными выше номинальными параметрами, вычисленными при $T_\Omega = 93,8922$ мин

Можно также показать, что в случае конфигурации второго типа при $n = m = 3$ орбита должна определяться из условия $\Delta L_3 = m b_\phi$. Параметры такой орбиты приведены ниже:

- драконический период обращения $T_\Omega = 93,8504$ мин;
- межвитковый интервал $L = 23,4626^\circ$;
- суточное смещение трасс $\Delta L_1 = +8,0610^\circ$ (восточное смещение);
- смещение трасс через трое суток $\Delta L_3 = +0,72^\circ$ (восточное смещение);
- средняя высота орбиты $H_{cp} = 476$ км.

Коррекцию орбиты для компенсации аэродинамических возмущений целесообразно проводить по достижению смещения трасс через трое суток значения $\Delta L_3 = +2.16^\circ$.

Разнесение двух плоскостей по долготе восходящего узла может быть произвольное от 15° до 90° в зависимости от выбора приоритетной целевой задачи, решаемой орбитальной группировкой «Канопус-В».

СЕКЦИЯ 1.

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

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ВЫПОЛНЕНИЯ СИСТЕМНЫХ ПРОЕКТОВ

И.С. Волков (1), Г.Г. Молоканов (2)

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

(2) ВА РВСН им. Петра Великого, г. Москва

В соответствии с требованиями нормативных документов планирование и научно-методическое сопровождение системных проектов (СП) связано с оценкой риска не достижения требуемых результатов. При этом учет рисков СП в зависимости от их специфики и масштаба может производиться по ряду частных направлений (например, риски превышения стоимости, снижения качества, увеличения сроков проекта). В таком случае наличие нескольких частных показателей рисков затрудняет задачу формирования оценочного суждения относительно уровня риска СП в целом и обуславливает необходимость формирования многокритериального решающего правила, позволяющего произвести оценку рисков с учетом значений множества частных показателей (индикаторов), целей производимой оценки рисков и системы предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР).

Многообразие и принципиальная сложность задач принятия решений по векторному показателю предопределило появление большого числа методов их анализа. В зависимости от характера возможных за-

дач оценки рисков СП может быть выделено два направления их решения.

Первое направление связано с решением задачи сравнения вариантов СП по уровню риска выполнения мероприятий. Характерной особенностью данного рода задач является наличие заранее сформированного ограниченного множества вариантов СП, для которых могут быть заблаговременно рассчитаны значения частных показателей рисков. В качестве используемых методов сравнения вариантов СП по уровню риска предлагается использовать отношение доминирования по Парето, лексикографический метод и метод последовательных уступок.

Второе направление связано с необходимостью оценивания отдельных вариантов СП по некоторому абсолютному показателю, отражающему интегральный уровень рисков выполнения мероприятий СП безотносительно других вариантов. Решению подобного рода задач посвящено научное направление MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), которое отличают следующие особенности: строится функция полезности, имеющая аксиоматическое (чисто математическое) обоснование; некоторые условия, определяющие форму этой функции, подвергаются проверке в диалоге с ЛПР.

С учетом рассмотренных положений схема многокритериальной оценки рисков выполнения СП предполагает решение следующих задач:

1. Расчет значений частных показателей рисков.
2. Формирование критериев оценки рисков по каждому из частных показателей.
3. Выбор вида задачи оценки рисков выполнения СП.
4. Формирование отношений предпочтения на множестве частных показателей рисков (данная процедура основывается на получении информации о важности показателей от ЛПР).
5. Формирование решающего правила в форме, соответствующей задаче оценки рисков выполнения СП, с учетом наличия (отсутствия) информации о важности частных показателей рисков.
6. Проведение процедуры оценки рисков в соответствии с сформированным решающим правилом.

Таким образом, предложенная схема многокритериальной оценки рисков выполнения СП позволяет производить оценку рисков в раз-

личных вариантах постановки задачи с учетом возможных моделей системы предпочтений ЛППР посредством формирования и использования решающего правила, форма которого в наибольшей степени соответствует условиям исследования.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*М.М. Матюшин, Н.Л. Соколов, К.Э. Гершман, В.М. Овечко,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,
г. Королев*

В условиях планируемого расширения орбитальных группировок космических аппаратов (КА) различных типов и назначений, в том числе аппаратов дистанционного зондирования Земли, на первый план выдвигается задача оптимального распределения средств управления. Основными критериями этой задачи являются обеспечение высокого уровня оперативности информационного обмена с наземными станциями и прием целевой информации в масштабе времени, близком к реальному. Сложность ее решения повышается с ростом количества функционирующих КА при ограниченном ресурсе наземных средств управления.

На решение этой задачи влияют различные факторы, имеющие как детерминированный, так и случайный характер. К ним относятся: характеристики орбитального построения КА, количество и географические координаты наземных станций, интенсивность проведения сеансов связи с аппаратами, возникающие нештатные ситуации, проведение экстренных динамических операций и внеплановых коррекций программ полета и ряд других. Все это свидетельствует о достаточно высокой степени неопределенности исходных условий и о необходимости решения рассматриваемой задачи в вероятностной постановке.

Представим процесс взаимодействия отдельного КА с наземными станциями в виде последовательных переходов системы из состояний, характеризующихся реализацией i сеансов связи в состояния с увеличенным на единицу числом сеансов: $i + 1 \leq n$ (n – требуемое число проводимых сеансов связи с КА за заданный временной интервал).

Будим считать, что переходы между соседними расстояниями описываются пуассоновскими потоками событий.

Тогда на основе использования методов теории марковских процессов представим общий вид дифференциального уравнения для определения вероятности нахождения КА в состоянии $S_{i,j,\dots,k}$

$$\frac{dP_{i,j,\dots,k}}{dt} = P_{i-1,j,\dots,k}\lambda_{i-1,j,\dots,k} + P_{i,j-1,\dots,k}\lambda_{i,j-1,\dots,k} + P_{i,j,\dots,k-1}\lambda_{i,j,\dots,k-1} - P_{i,j,\dots,k}(\lambda_{i+1,j,k} + \lambda_{i,j+1,k} + \lambda_{i,j,\dots,k+1}), \quad (1)$$

где $i > 1, j > 1, \dots, k > 1$.

Состояние $S_{i,j,\dots,k}$ характеризуется тем, что рассматриваемый КА провел i сеансов связи с 1-ой наземной станцией, j сеансов со 2-ой, k сеансов с последней станцией из привлекаемого перечня. Окончательное значение вероятности $P_{i,j,\dots,k}$ определяется при условии когда суммарное число проведенных сеансов достигнет требуемой величины, т. е. $n = i + j + \dots + k$.

Суммарная вероятность проведения n сеансов связи при любых вариантах задействования наземных станций рассчитывается по формуле:

$$P_{\Sigma} = \sum_i \sum_j \dots \sum_k P_{i,j,\dots,k} \quad (2)$$

Процесс расчета завершается либо при достижении условия $P_{\Sigma} = 1$, либо по истечению заданного интервала времени, например одних суток.

Анализ зависимостей (1), (2) показывает, что темп роста вероятности P_{Σ} , в первую очередь, зависит от интенсивности переходов системы из одних состояний в другие $\lambda_{i,j,\dots,k}$. На значения $\lambda_{i,j,\dots,k}$ оказывают влияние перечисленные ранее детерминированные и случайные факторы. Поэтому точное решение рассматриваемой задачи может быть проведено лишь с учетом конкретных исходных данных, ограничений, моделей случайных процессов. Однако основными факторами, оказы-

вающими доминирующее влияние на интенсивность $\lambda_{i,j,\dots,k}$, являются предельно возможные значения сеансов связи L , которые могут быть проведены конкретным аппаратом со всеми задействуемыми наземными станциями, и общее число КА в орбитальной группировке N , претендующих на использование наземных станций. Качественный характер зависимости $\lambda_{i,j,\dots,k}$ от указанных факторов в первом приближении может быть описан формулой:

$$\lambda_{i,j,\dots,k} \sim \frac{L}{N} \quad (3)$$

Из рассмотрения формулы (3) нетрудно видеть, что при увеличении числа КА темпы роста вероятностей $P_{i,j,\dots,k}$ будут снижаться и, начиная с некоторого предельного значения N , величина P_{Σ} будет меньше единицы при достижении заданного временного интервала. Это эквивалентно невыполнению поставленной вариационной задачи в полном объеме.

В этих условиях для повышения надежности управления крупномасштабными группировками КА и оперативности получения информации дистанционного зондирования Земли представляется необходимым использование технологий совместного применения средств наземного и спутникового контуров. Решение задачи оптимального распределения средств управления позволит обеспечить получение целевой информации в масштабе времени, близком к реальному.

ВОПРОСЫ ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

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

Традиционно оценка показателей надежности программного обеспечения (ПО) и их прогнозирование производится на базе математиче-

ских моделей надежности программ. В настоящее время существуют десятки математических моделей, применяемых на практике.

В ходе работ на НПОА по разработке ПО системы управления космическим аппаратом (СУ КА) появился вопрос о необходимости оценки надежности ПО. Для этого был отобран ряд известных моделей оценки надежности ПО и проведен анализ их применимости

Первоначально были рассмотрены две наиболее известные модели – Шика-Уолвертона и Джелинского-Моранды. Модель Джелинского-Моранды является одной из простых моделей классического типа. В то же время модель использовалась в ракетно-космической технике при разработке ПО модулей программы Apollo. В данных моделях ПО представлено как «черный ящик», без учета его внутренней структуры. Общим для моделей является допущение о том, что при исправлении ошибок новые ошибки не вносятся.

Наиболее известной априорной моделью надежности ПО является модель Холстеда. Полагаясь на общие статистические физиологические характеристики человека при реализации программы, описанной данными характеристиками, получается ряд эмпирических моделей оценки показателей качества ПО.

Метрика Маккейба. На основе разработанных методов оценки сложности программ Маккейб предложил стратегию проверки корректности ПО, которая получила название основного маршрута тестирования Маккейба. Алгоритм, спецификация или ПО могут быть представлены в виде управляющего ориентированного графа с V вершинами и E дугами, где вершины соответствуют операторам, а дуги характеризуют переход управления от одного оператора к другому.

Классической моделью надежности ПО считается модель Нельсона. Модель базируется на учете структуры входных данных. В простейшем случае набор входных данных E_i , выбираемый из множества данных E для тестирования программы, случайным образом среди априори равновероятных приводит к получению оценок вероятности отказов.

Для анализа применимости моделей за основу была взята отработка СУ КА на каждой из задач: в проверочных режимах работы, в режиме предстартовой подготовки и основной полетной программы. Перед проведением комплексного тестирования ПО прошло автономную отработку с использованием штатной управляющей вычислительной си-

стемы, ее макета и математической модели в составе компилятора среды разработки ПО.

В соответствии с рассчитанными значениями метрик Холстеда получили существенное расхождение с данными автономной отработки. Такое расхождение связано, в первую очередь, с тем, что метрики Холстеда были разработаны в качестве универсального инструмента для оценки сложности относительно объема ПО без учета специфики самого ПО. Для ПО СУ КА алгоритмическая сложность является преобладающей по сравнению с объемом самого ПО.

Рассмотренные модели надежности Шика-Уолвертона и Джелинского-Моранды обладают большой погрешностью получаемого результата. Процесс отработки ориентирован на преднамеренное выявление ошибок, особое внимание уделяется наиболее сложным в реализации частям ПО, поэтому появление ошибок не является равновероятным и независимым. Требование того, что ошибки в ПО постоянно корректируются, при этом новые ошибки не вносятся является спорным и не всегда выполняется в процессе реальной отработки.

Для модели надежности Нельсона, столкнулись с необходимостью реализации значительного числа прогонов для получения приемлемой точности оценки для одной конкретной версии ПО без внесения доработок ПО в процессе тестирования.

Рассмотренная метрика Маккейба обладает большим преимуществом по сравнению с другими рассмотренными моделями: метрика дает точное число тестов ПО для обеспечения полного покрытия операторов и решений. Данное значение должно учитываться в процессе отработки ПО. Однако метрика не позволяет оценить покрытие входных данных.

Таким образом, проведенный анализ существующих моделей и метрик показал, что для оценки надежности ПО СУ КА применение какой-либо модели или метрики (без существенной доработки и уточнения) является нецелесообразным по причинам низкой точности получаемых результатов, необходимость проведения неопределенного числа тестов для подтверждения надежности ПО, отсутствием учета влияния внесения или частичного устранения ошибок при отработке ПО, отсутствие или невозможность адекватного учета покрытия входных данных.

С учетом структуры ПО, характерной для типовых цифровых вычислительных систем (ЦВС) НПОА, была предложена графовая модель оценки надежности ПО, позволяющая учесть при оценке надежности взаимодействие компонентов ПО, а так же результат этого взаимодействия. Проведенный расчет надежности типовой задачи СУ показал, что предложенная модель позволяет оценить все необходимые характеристики ПО, такие как вероятность бесспорного исполнения, объем тестирования и полнота покрытия входных данных.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ КОСМИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ПО КРИТЕРИЮ УПРАВЛЯЕМОСТИ

*М.М. Матюшин, Ю.С. Луценко,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,
г. Королев*

Задачи оптимизации построения структуры космических группировок с учетом имеющихся в настоящее время командно-измерительных средств и оптимизации развития структуры командно-измерительных средств с учетом перспектив развития космических группировок являются одними из самых важных при рассмотрении и обосновании перспектив развития ракетно-космической техники. Вместе с тем, в общем виде постановки такого рода задач в литературе не рассматривались. Представляет научный и практический интерес рассмотреть эти задачи в рамках кеплеровой теории, позволяющей получить оптимальное решение для центрального поля притяжения, что практически соответствует условиям функционирования космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ).

Под космической группировкой (K_r) КА ДЗЗ понимается объединение орбитальных группировок (O_{r_i}), выполняющих однотипные задачи ДЗЗ в разных спектрах отраженного и собственного электромагнитного излучения изучаемых объектов:

$$K_r = \bigcup_{i=1}^m (O_{r_i}).$$

Каждая орбитальная группировка $O_{Г_i}$ включает в свою очередь ряд КА, имеющих параметры траекторий, определяемые ее целевой задачей

$$O_{Г_i} = \bigcup_{j=1}^{N_i} (КА_{ij}) \quad j = \overline{1, N_i}.$$

где – N_i суммарное количество КА ДЗЗ в i -орбитальной группировке.

В соответствии с общими положениями теории систем структура S системы – суть обобщенные соответствия между ее элементами, позволяющие однозначно определять ее состояние в произвольный момент времени. В рамках теории кеплеровых движений пространственно-временная структура (ПВС) системы «Земля-К_г» (либо ПВС космической группировки) однозначно может быть задана (определена), например, типовыми кеплеровыми параметрами:

$$S_{кз} = \bigcup_{i=1}^m (S_i) = \bigcup_{i=1}^m \left(\bigcup_{j=1}^{N_i} (a_{ij}, e_{ij}, i_{ij}, \omega_{ij}, \tau_{ij}, \Omega_{ij}) \right).$$

Каждый КА потенциально может быть управляем в течение интервала времени, когда он находится в зоне радиовидимости ℓ -го командно-измерительного средства (КИС), имеющего координаты φ_l, λ_l . При этом:

$$\begin{aligned} \tau_{ijl}^y &= \tau(a_{ij}, e_{ij}, i_{ij}, \omega_{ij}, \tau_{ij}, \Omega_{ij}, \varphi_l, \lambda_l), \quad \text{если } \tau_{ijl}^y \geq \tau_{min}, \\ \ell &= \tau_{ijl}^y = 0, \quad \text{если } \tau_{ijl}^y < \tau_{min}, \\ &= \overline{1, M}, \end{aligned}$$

где – M – количество имеющихся командно-измерительных станций, $-\tau_{min}$ – минимальное время, необходимое для реализации цикла управления КА.

Суммарное время управления одним КА в этом случае в течение определенного промежутка времени управления $\tau_{ij}^y = \sum \tau_{ijl}^y$.

Задача построения оптимальной по критерию управляемости в течение определенного (заданного) интервала управления пространственно-временной структурой космической группировки при заданных командно-измерительных средствах может быть представлена в следующем виде:

$$S^{\text{опт}}(K_r) = \bigcup_{i=1}^m (S_i) = \bigcup_{i=1}^m (U_{j=1}^{N_i} (a_{ij}, e_{ij}, i_{ij}, \omega_{ij}, \tau_{ij}, \Omega_{ij})) : \max \sum \tau_{ij}^y.$$

Решение этой задачи одновременно позволяет найти и требуемые времена вывода всех КА на соответствующие орбиты t_{ij}^{TP} .

Следует заметить, что задача получения максимальной информации системой приема и обработки целевой информации формулируется совершенно аналогично. В этом случае заданными параметрами являются кеплеровы параметры траекторий всех КА космической группировки (т. е. ее пространственно-временная структура).

В том случае, если координаты пунктов управления (приема целевой информации) не заданы в виде ограничений, то их (координаты) можно получить из решения этой же задачи, т. е. задачи синтеза оптимальной структуры наземных командно-измерительных средств, ПВС КГ и оптимального расположения средств управления идентичны.

Решение такого рода задач может проводиться методами линейного и нелинейного программирования. Однако в рассматриваемом случае все промежуточные и конечные соотношения могут быть представлены в аналитическом виде и, несомненно, интерес представляет поиск аналитического решения как структуры КГ, позволяющей при заданных координатах КИС обеспечить суммарно максимальное время управления КГ, так и при заданной (требуемой) ПВС КГ определить оптимальные координаты установки КИС, т. е. определить оптимальную структуру наземного комплекса управления.

В общем случае вследствие нецентральности поля притяжения Земли, наличия ошибок выведения КА на расчетные орбиты, воздействия на КА атмосферы и светового давления траектории КА будут отличаться от кеплеровых. В этом случае рассматривается другая задача – задача оценки устойчивости полученного оптимального решения ПВС КГ.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА БОРТУ АППАРАТОВ ДЗЗ

*С.А. Воронов, А.М. Гальпер, В.В. Михайлов,
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва*

Космические аппараты, предназначенные для решения задач ДЗЗ, имеют полярные солнечно синхронные орбиты высотой 200 – 800 км точную ориентацию большой запас энергоемкости, хорошую информационную обеспеченность и времена активного существования несколько лет. Благодаря своим характеристикам эти аппараты служат хорошей платформой для установки научной аппаратуры и проведения фундаментальных космических исследований, как геофизических, так и астрофизических. Выведение научных приборов на орбиту в качестве попутной нагрузки позволяет резко удешевить научные исследования, не снижая при этом характеристик аппаратуры. В последнее десятилетие аппараты ДЗЗ позволили получить ряд научных результатов мирового уровня

В 1998 – 1999 гг. на спутнике Ресурс-О1 № 4 в качестве попутной нагрузки был проведен российско-итальянский эксперимент «НИНА». Цель исследований измерение спектров протонов и ядер космических лучей в околоземном космическом пространстве, включая радиационный пояс. Высота орбиты спутника 835 км, наклонение 98° , период обращения 101 минута. Научный прибор состоял из стопки полупроводниковых стриповых детекторов, впервые использовавшихся при измерениях на орбите. Масса прибора – 40 кг, энергопотребление 40 Вт. За 5 месяцев измерений на Землю было передано 500 Мбайт информации. В результате за период 1998 – 1999 гг. были исследованы потоки ядер и изотопов от водорода до кислорода в диапазоне энергий 10 – 100 МэВ/н аномальной компоненты и солнечных космических лучей.

С июня 2006 г. на борту космического аппарата Ресурс-ДК1 в качестве попутной нагрузки был установлен магнитный спектрометр ПАМЕЛА. Масса 470 кг, энергопотребление 380 Вт. Уникальный прибор был создан усилиями российских и итальянских ученых. Он представляет собой магнитный спектрометр с практически полем величиной 0,48 Тл, изготовленный из сплава Ne-Fe-V с шестью плоскостями полупроводниковых микростриповых детекторов в области поля. Совокупность этих детекторов позволяет измерить кривизну траектории заряженных частиц, а по ней определить импульс и энергию. Пространственное разрешение детекторов рекордное – 3 мкм /то позволяет измерять энергию частиц вплоть до – 1 ТэВ. Под магнитным спектрометром был установлен калориметр – прибор, состоящий из вольфрамовых

плоскостей, прослоенных полупроводниковыми детекторами, прототипы которых были испытаны ранее. Прибор включал также времяпролетную систему для измерения скорости частиц и другие детекторы, дополняющие и дублирующие в необходимой мере основные детекторы.

Диапазон измерения заряженных частиц до нескольких сотен ГэВ и выше, недоступный ранее при измерениях а орбите, временное разрешение – 250 пс.

За 9,5 лет проведения эксперимента объем переданной на Землю информации составил величину более 50 Терабайт. Полученные результаты уникальны. Впервые измерены спектры антипротонов космических лучей до энергий 150 ГэВ, спектры космических позитронов вплоть до энергии 120 ГэВ. Результат роста доли позитронов с энергией выше 10 Гэв явился неожиданным и выдающимся эффектом, который впервые позволил говорить о существовании так называемой «темной» материи. Исследованы и получены впервые спектры ядер и соотношения из потоков бора и углерода, изотопов гелия и водорода. Помимо астрофизических результатов были получены данные в области солнечно-земной физики, спектры частиц радиационного пояса, их динамику. Была и продолжает исследоваться солнечная модуляция, солнечные космические лучи

Полученные данные настолько ценны и объемны, что их обработка принесет абсолютно новые результаты в течение еще десяти лет после завершения эксперимента.

В настоящее время разрабатывается для использования в качестве попутной нагрузки эксперимент «МОНИКА». Его целью является изучение механизмов генерации космических лучей в активных процессах на Солнце и в гелиосфере, мониторинг ядерного, изотопного и ионного состава космических лучей в околоземном пространстве в диапазоне энергий 10-300 МэВ/н. Для измерения ионного состава предполагается в качестве сепаратора использовать магнитное поле Земли.

«МОНИКА» состоит из четырех отдельных полупроводниковых спектрометров-телескопов, сцинтилляционного калориметра и системы антисовпадений. Угловое разрешение – около 1 градуса, энергетическое разрешение – 1 %. светосила – 100 см²ср., точность временной привязки – порядка 10⁻³с., апертура – 90 градусов (±45 градусов), мас-

са – 65 кг, габариты – 650×650×300 мм, энергопотребление – около 80 Вт. Собственное ЗУ, объемом 1 Гбайт, обеспечивающее накопление информации в течение суток.

Моника может быть установлена на КА типа «МЕТЕОР» или «КАНОПУС», имеющих полярные орбиты, достаточное количество ресурсов для проведения эксперимента на орбите.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Л.А. Белозерский, Н.И. Мурашко, Л.В. Орешкина,
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
г. Минск*

Успешный запуск Белорусского космического аппарата (БКА) и российского спутника «Канопус-В» в июле 2012 г. позволили в рамках научно-технической программы Союзного государства «Мониторинг – СГ» начать разработку системы обнаружения чрезвычайных ситуаций на территории Республики Беларусь. Система мониторинга предназначена для обнаружения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и их последствий на местности (пожары, буреломы, паводки и наводнения, разлив нефти и нефтепродуктов, болезни сельскохозяйственных культур и т. д.).

Результаты опытной эксплуатации экспериментального образца системы спутникового мониторинга показали необходимость создания многоуровневой системы, включающей данные спутникового и авиационного наблюдения. Это связано с особенностью погодных условий: не более 60 дней в году возможна спутниковая съемка территории республики Беларусь.

В ОИПИ НАН Беларуси разрабатывается экспериментальная аэрокосмическая система мониторинга, источниками информации для которой являются данные ДЗЗ, полученные от космических аппаратов БКА и «Канопус-В», а так же от авиационного многоканального спектрозонального аппаратно-программного комплекса (АПК) «Спектр».

Экспериментальная система мониторинга чрезвычайных ситуаций включает:

- АПК «Спектр»;
- программный комплекс обработки спутниковых данных (ПКСМ);
- программный комплекс тематической обработки данных авиационного наблюдения (ПКАМ);

АПК «Спектр» включает комплекс датчиков:

- 3 спектрзональные цифровые камеры сверхвысокого разрешения (0,1 м/пиксель с высоты 1000 м);
- тепловизионная камера (7,5 – 12,0 мкм);
- курсовая цветная камера высокого разрешения;
- лазерный высотомер;
- GPS/ГЛОНАСС приемники.

Для получения спектрзональных снимков применяются сменные оптические фильтры, включая ближний инфракрасный диапазон. Выбор характеристик оптических фильтров зависит от решаемой задачи.

Отличительной особенностью ПКСМ является высокая степень автоматизации (не менее 95%) обнаружения изменений на последовательности разновременных спутниковых изображениях. При этом сводится к минимуму человеческий фактор: расстановка реперных точек, формирование изображения района мониторинга в заданной картографической проекции, выделение параметров изменений на объектах мониторинга выполняются в автоматическом режиме.

Особенностью ПКАМ является возможность совместной обработки данных спутникового и авиационного наблюдения, что позволяет использовать космические снимки в качестве эталонных изображений, покрывающих территорию 20× 20 км, и авиационные снимки (спектрзональные, цветные и инфракрасные) – в качестве текущих изображений. ПКАМ обеспечивает 4 уровня обработки данных, получаемых АПК «Спектр»:

- 1) переформатирование исходных данных;
- 2) внесение поправок на характеристики датчиков: геометрическая коррекция, радиометрическая коррекция;
- 3) внесение поправок на характеристики наблюдаемой сцены: геометрическая коррекция, радиометрическая коррекция;
- 4) преобразование авиационных снимков в заданную картографическую проекцию.

Таким образом, разрабатываемая аэрокосмическая система позволит выполнять оперативный мониторинг чрезвычайных ситуаций и их

последствий на местности в условиях наличия облачности, исключающей получение космических снимков требуемого качества.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

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

Создание изделий ракетно-космической техники (РКТ) в современных условиях связано с необходимостью планирования мероприятий жизненного цикла РКТ с учетом временных и ресурсных ограничений, а также различного рода дестабилизирующих факторов технологического, технического и производственного характера.

Одним из направлений обоснования рационального комплекса мероприятий по разработке и производству РКТ, позволяющим учесть влияние разнородных факторов внешней среды, техническую сложность решаемой задачи и требования к результатам ее решения, является системное проектирование. При этом под системным проектом понимается перспективный взаимоувязанный по целям, задачам и ресурсам, взаимосогласованный по срокам и технико-экономическим параметрам план создания изделий ракетно-космической техники, предназначенных для решения задач хозяйственной деятельности государства либо частных организаций.

Как правило, разработка системных проектов в космической отрасли осуществляется в рамках организации космической деятельности государства согласно текущей или перспективной Федеральной космической программы (ФКП). В соответствии с нормативными требованиями реализация ФКП предусматривает оценку эффективности и рисков, показатели и индикаторы которых определяются результатами выполнения системных проектов. Это обуславливает необходимость использования соответствующих показателей и критериев эффективности и рисков при формировании системных проектов создания РКТ. Также должна быть решена задача оценки реализуемости системного проекта, то есть проведено установление расчетно-аналитическим и (или) экспертным методом степени соответствия потребностей про-

ектных работ во всех видах ресурсов с возможностями удовлетворения этих потребностей в ходе выполнения проекта.

Результатом формирования системного проекта является состав исходных технических данных, необходимых для проведения технико-экономического обоснования (ТЭО) создания РКТ.

Таким образом, задача формирования системных проектов в космической отрасли связана с необходимостью использования информационного и методического обеспечения, позволяющего проводить оценивание вклада системного проекта в эффективность космической деятельности, идентификацию факторов риска по источникам возникновения и характеру влияния на ход и результаты создания изделия РКТ, качественную и, по возможности, количественную оценку факторов рисков, оценивание реализуемости процессов разработки и производства изделий РКТ, оптимизацию структуры мероприятий в рамках системного проекта по стоимости и срокам, формирование исходных данных для ТЭО.

Частично указанные задачи могут быть автоматизированы и решены с применением программных средств, относящихся к классу «систем управления проектами», таких как Microsoft Office Project, Spider Project Professional и Primavera Project Planner Professional. Применение этих технологий способствует своевременной реализации проектов в рамках выделенных бюджетов и с требуемым качеством. Однако анализ возможностей данных программных систем показывает, что их функциональная направленность связана с поддержкой уже сформированных проектов, с определенной иерархической структурой работ, проведенной оценкой требуемых ресурсов и сроков их выполнения, что делает их применение для решения указанных задач системного проектирования в космической отрасли затруднительным и обуславливает необходимость разработки специальных средств информационного обеспечения системного проектирования.

**НИЗКООРБИТАЛЬНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ
ПЕРСПЕКТИВНОГО МКА АО «ИСС»**

*О.Б. Грицан, И.И. Зимин, М.В. Валов, А.В. Яковлев,
АО «Информационные спутниковые системы»
имени академика М.Ф. Решетнёва»,
г. Железногорск*

Космические средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получили в настоящее время широкое применение во всём мире. Неуклонно растёт разнообразие создаваемых типов космических аппаратов ДЗЗ и общее их количество. Получаемая ими космическая информация используется для решения многих государственных, хозяйственных и научных задач.

Последние годы характеризуются резким ростом числа космических программ ДЗЗ, а также существенным изменением их технического, организационного, маркетингового характера. Заметен разрыв программ, связанных с запуском тяжёлых космических платформ и эксплуатацией затратноёмких приёмных центров, от стремительно растущих программ запуска малых космических аппаратов, а также развивающейся распределённой инфраструктуры приёма, хранения, распространения информации ДЗЗ.

Одним из вариантов создания современной космической системы ДЗЗ является применение малых космических аппаратов (МКА) в её орбитальной группировке, что позволяет обслужить большое число потребителей со своими требованиями к получаемой информации. Поэтому разработка принципов и методов создания систем ДЗЗ на базе МКА является научно-технической задачей, имеющей актуальное прикладное значение.

Особое значение для успешного решения задач наблюдения за перемещением важных и опасных грузов, включая их обнаружение и идентификацию, приобретает способность космической системы обеспечить оперативное получение высокодетальной информации с возможностью обновления данных в масштабе времени, близком к реальному.

Основные технические характеристики предлагаемой низкоорбитальной космической системы оперативного мониторинга на базе перспективной платформы разработки АО «ИСС»: периодичность обновления информации до 1,5 часа; линейное разрешение на местности в панхроматическом режиме (0,45 – 0,9 мкм) – 0,5 м в надир; полоса захвата – не менее 5 км; точность геопозиционирования – не более 100 м в плане и 15 м по высоте; высота рабочей орбиты – 450 км, наклонение – 97°.

Структура орбитальной группировки – семь орбитальных плоскостей по три МКА в каждой плоскости. МКА в орбитальной плоскости размещаются через 120°. Орбитальная группировка из 21 МКА позволяет оптимально решить задачу съёмки в глобальном масштабе. Орбитальная группировка позволяет возобновлять съёмку заданной территории с периодичностью 1,5 часа (т. е. с временем равном периоду обращения).

В состав низкоорбитальной космической системы оперативного мониторинга входят: космический комплекс (КК); наземный комплекс целевого планирования, приёма и обработки информации.

Основным звеном космического комплекса системы является перспективный МКА ДЗЗ. МКА создается на базе унифицированной платформы «НТ-500». 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 техническое решение позволяет использовать космические аппараты на базе платформы «НТ-500» для решения задач высокоточной съёмки поверхности Земли в различных оптических и радиодиапазонах. Основные технические характеристики платформы показаны в таблице.

Технические характеристики платформы «НТ-500»

Характеристика	Значение
Масса платформы, кг	220
Масса, выделяемая для ПН, кг	До 250
Точность ориентации по трем осям, град	±0,03
Бортовые радиолинии: Командная	32 Кбит/с
Целевая	600 Мбит/с
САС КА на базе платформы, лет	5 – 10

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ОРБИТ НИЗКОВЫСОТНЫХ КА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.Е. Евграфов, В.Г. Поль,
ФГУП «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина»,
г. Химки*

В традиционной прикладной баллистике траекторию полета околоземных низковысотных космических аппаратов обычно принято представлять кеплеровой орбитой. Однако в некоторых случаях применения околоземных КА описание реальной траектории КА кеплеровыми элементами не адекватно прикладным задачам. В частности, таким примером служат высокие требования, предъявляемые к точности и стабильности текущих характеристик согласованного движения пары околоземных КА в космических комплексах подробного радиолокационного мониторинга местности и получения ее цифровых карт. Как следствие, появляется целесообразность замены традиционного описания иным и притом таким, которое непосредственно и точно отражает специфический характер пространственного движения КА-носителя РСА.

В докладе рассматривается альтернативное кинематическое описание траектории околоземного КА. Оно основывается на решениях линейаризованных дифференциальных уравнений движения околокругового ИСЗ. Последовательное использование спектрального представления возмущающих воздействий в правых частях указанных уравнений позволяет получить аналогичное представление компонент вектора состояния КА. На основе данных представлений проведено определение полного состава возмущений элементов движения КА и показана возможность анализировать и управлять формой траектории в конкретных случаях использования КА. Рассматривается возможность оптимизации формы некеплеровой низковысотной орбиты, обладающей минимальными изменениями геоцентрической высоты КА. Показано применение такой орбиты в космических системах радиолокационного зондирования Земли.

ДВУХРЕЖИМНЫЙ СПОСОБ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В.И. Ермолаев, Д.Г. Цируль,
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ФГУП «КБ «Арсенал»,
г. Санкт-Петербург*

Одной из наиболее важных областей практического использования космических аппаратов (КА) является дистанционное зондирование Земли. Космические аппараты дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) остаются основным средством глобального мониторинга при решении различных социально-экономических задач.

Существенным недостатком современных КА ДЗЗ является низкая оперативность получения информации. Периодичность обзора необходимых регионов земной поверхности с высоким разрешением существующими КА ДЗЗ составляет в среднем 6 – 7 суток. Уменьшение периодичности обзора в ближайшей перспективе предполагается за счет наращивания количества КА, входящих в состав орбитальной группировки. Однако такой подход требует значительных экономических затрат. В связи с этим возникает необходимость разработки новых способов повышения оперативности получения информации КА ДЗЗ при ограниченных экономических затратах.

В результате проведенных исследований установлено, что КА ДЗЗ решают два типа задач: плановые задачи глобальной съемки земной поверхности и оперативные задачи съемки отдельных регионов. В связи с этим предложено использовать два режима наблюдения: режим глобального наблюдения и режим регионального наблюдения.

Под режимом глобального наблюдения (РГН) понимается плановая периодическая съемка всей или значительной части поверхности Земли. Для глобального обзора земной поверхности КА должен находиться на орбите, обеспечивающей суточное смещение трассы КА в восточном или западном направлении, которое имеет место в случае, когда отношение звездных суток к периоду обращения по орбите не является целым числом. Данный режим обеспечивает решение большей части социально-экономических задач и широко используется существующими КА ДЗЗ.

Под режимом регионального наблюдения (РРН) понимается оперативная съемка заданного региона на поверхности Земли. Наиболее ча-

стое прохождение трассы аппарата через заданный регион может быть обеспечено за счет использования суточно-синхронных орбит, для которых цикличность трассы КА составляет сутки. Для таких орбит число витков, совершаемых КА в течение звездных суток, является целым числом. Данный режим целесообразно использовать при возникновении чрезвычайных ситуаций или при решении социально-экономических задач в регионах со слабо развитой наземной инфраструктурой.

Переход из одного режима наблюдения в другой может осуществляться за счет изменения параметров рабочих орбит с помощью маршевой двигательной установки КА.

Предполагается, что базовым режимом функционирования КА ДЗЗ должен быть РГН. Переход КА в РРН осуществляется при возникновении практической потребности. После решения требуемых задач регионального наблюдения КА ДЗЗ возвращается в базовый режим глобального наблюдения для решения плановых задач. Такой подход позволяет существенно повысить оперативность получения информации при ограниченном количестве КА в составе орбитальной группировки.

Для рассмотрения возможности практической реализации данного подхода были установлены оптимальные параметры рабочих орбит для указанных режимов наблюдения и проведено оценивание энергозатрат на маневры перехода между этими орбитами.

В связи с тем, что более жесткие требования к оперативности предъявляются при переходе из РГН в РРН, во время проведения исследований рассматривался именно этот случай. Так как переход в РРН обусловлен необходимостью оперативной съемки заданного региона земной поверхности, КА должен попасть в соответствующую рабочую точку на орбите регионального наблюдения (ОРН), обеспечивающую прохождение трассы через заданный регион. Возможные способы изменения режима наблюдения можно разделить на два вида: изменение режима наблюдения без использования орбиты фазирования; изменение режима наблюдения с использованием орбиты фазирования.

В первом случае время изменения режима наблюдения существенно зависит от начального углового смещения между КА и РТ на ОРН. Это обусловлено близостью высот орбит глобального и регионального наблюдения. Использование орбиты фазирования позволяет суще-

ственно снизить время изменения режима наблюдения, но предполагает увеличение энергетических затрат.

На основании полученных результатов сделаны следующие выводы:

1. Представляется возможным создание группировки КА ДЗЗ, периодичность обзора заданных регионов которой можно уменьшить не только наращиванием количества аппаратов, но и переходами между режимами наблюдения за счёт применения манёвров.

2. Энергозатраты на переход между близкими орбитами глобального и регионального наблюдения относительно невелики и соизмеримы с затратами на коррекцию орбиты КА, связанную с компенсацией аэродинамического сопротивления. Средняя разность высот между соседними орбитами глобального и регионального наблюдения составляет 70 км.

3. Реализация данного подхода целесообразна прежде всего для малых КА, для которых увеличение маневренных возможностей не ограничено жесткими требованиями к их массовым характеристикам, обусловленным возможностями средств выведения.

4. Использование двухрежимного способа наблюдения обеспечивает существенное повышение оперативности ДЗЗ при ограниченных экономических и приемлемых энергетических затратах.

ТОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИЙ КА «АРКТИКА-М» НА ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТАХ

*О.А. Андропова, Р.А. Дзесов, В.Н. Жуков, В.П. Павлов,
ФГУП «Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения» (ЦНИИмаш),
г. Москва*

В настоящее время разработан проект построения орбитальной группировки из 2-х КА «Арктика-М» на высокоэллиптических орбитах (высота перигея /апогея ~ 1500км/40000км, наклонение ~ 63°, аргумент перигея ~ 270° и период обращения ~12 часов), назначение которых – обеспечение функционирования бортового комплекса целевой аппаратуры для мониторинга арктического региона. Рабочие участки 2-х КА должны составлять ± 3 часа от момента прохождения апогея

орбиты и следуют друг за другом непрерывно по времени в течение каждых суток.

Проведены оценки точности определения и прогнозирования параметров траекторий 2-х КА средствами наземного комплекса управления (НКУ) и бортовой аппаратуры спутниковой навигации АСН-ВЭ разработки ОАО «РИРВ».

В качестве командно-измерительных пунктов рассмотрены пять пунктов, оснащённых техническими комплексами КИС «Клён» и расположенных в Калининградской области, в Медвежьих озёрах (ОКБ МЭИ), Красноярске (Железногорск), в районе космодрома «Восточный» (Углегорск) и в Усурийске.

НКУ КА «Арктика-М» или аппаратура АСН-ВЭ должны обеспечивать определение параметров орбиты КА на рабочем участке функционирования комплекса целевой аппаратуры с погрешностями (3σ) не хуже 1 км вдоль орбиты и в боковом направлении.

Исходной информацией для проведения оценок точности определения параметров траектории КА «Арктика-М» являлись: для КИС «Клён» наклонная дальность (D) и радиальная скорость (\dot{D}); для аппаратуры АСН-ВЭ фазовые вектора (координаты КА и компоненты вектора скорости КА) в фундаментальной инерциальной системе координат эпохи J2000.0.

Каждый сеанс радиоконтроля орбиты (РКО) средствами КИС «Клён» состоит из 10-минутного интервала измерений D , \dot{D} с шагом 10 сек от одной КИС «Клён», а сеанс АСН-ВЭ состоит из 10-минутного интервала измерений фазовых векторов ($t_j, \bar{r}_j, \bar{v}_j$) с шагом 5 секунд.

В расчётах ошибки измерений КИС «Клён» приняты: по дальности $\sigma_D = \delta_D = 10\text{м}$, по радиальной скорости $\sigma_{\dot{D}} = \delta_{\dot{D}} = 1\text{см/с}$, где σ , δ – соответственно случайная и систематическая ошибки.

Для АСН-ВЭ (с учётом ошибок ионосферы и приведения фазовых векторов к центру масс КА) ошибки приняты: $\sigma_r = \delta_r = 10\text{м}$, $\sigma_{\bar{v}} = \delta_{\bar{v}} = 2\text{см/с}$.

Расчёты показывают, что два пункта, оснащённых КИС «Клён» и разнесённых на расстояние более 3000 км, обеспечивают на рабочем участке по информации D , \dot{D} с двух витков точность $3\sigma < 1\text{км}$ (вдоль

орбиты и в боковом направлении). На каждом витке смоделировано по два сеанса РКО в начале и в конце зон видимости. При этом каждый КА виден с НИП-ов в течение суток в двух временных интервалах: первый составляет ~10,5 часов, второй колеблется от четырёх до девяти часов.,

При проведении средствами АСН-ВЭ двух сеансов в районе перигея (π) и восходящего узла (Ω) максимальные ошибки определения траектории КА «Арктика-М» на рабочем участке высокоэллиптической орбиты не превысят 500 м.

Совместная обработка информации от двух измерительных систем на 2-х витковом интервале существенно повышает точность прогноза орбиты КА в рабочих зонах, но после 8 суток полёта выходит за пределы 1 км. Поэтому при работе аппаратуры АСН-ВЭ на борту КА «Арктика-М» для автономного функционирования КА предлагается включать её в зоне $t_{\pi} \rightarrow t_{\Omega}$ один раз через 3 – 4 суток полёта КА.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАДИОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРОЙ НАБЛЮДЕНИЯ

*С.В. Круковский,
ОАО «Корпорация космических систем специального назначения
«Комета», г. Москва*

Одним из направлений развития космических систем дистанционного зондирования земли, наряду с повышением надёжности, увеличением срока активного существования космических аппаратов (КА), улучшением разрешающей способности бортовой аппаратуры наблюдения, является оптимизация структуры орбитальной группировки. Орбитальные группировки космических систем, предназначенных для наблюдения поверхности Земли с использованием радиолокационной аппаратуры наблюдения, создаются на низких околокруговых орбитах. В качестве бортовой аппаратуры наблюдения в таких системах обычно используется радиолокатор с синтезированной апертурой, который может выполнять съёмку подстилающей поверхности в нескольких режимах, отличающихся пространственным разрешением, размерами кадра, радиометрическим разрешением и другими параметрами. Среди

используемых режимов чаще всего встречаются три основных режима, реализованных в составе сценариев функционирования германского спутника радиолокационной съемки поверхности Земли типа TerraSAR-X: маршрутный режим (StripMap), обзорный режим (ScanSAR), прожекторный режим (Spotlight). Выбор высоты орбиты КА осуществляется с учетом требования к получаемой информации по разрешению на местности и предполагаемых возможностей бортовой аппаратуры наблюдения. Например, для спутника TerraSAR-X высота орбиты, определенная на основе компромисса между эффективностью решения целевых задач и характеристиками бортовой аппаратуры, составила 514 км. Диапазон углов падения луча радара от 20° до 50° обеспечивает полосу обзора на поверхности Земли, расположенную в диапазоне расстояний от ~ 170 км до ~ 640 км по отношению к подспутниковой точке. Бортовая аппаратура наблюдения позволяет осуществлять съемку по обе стороны от трассы полета, что обеспечивает разворотом КА относительно вертикали.

Для решения ряда задач оперативность получения информации, обеспечиваемая одним КА, может быть неудовлетворительной. Создание орбитальной группировки КА, оснащенных радиолокационной аппаратурой наблюдения, позволит повысить оперативность получения необходимой информации. Наклонения орбит КА группировки определяются исходя из условия обеспечения наиболее полного покрытия заданного диапазона широт расположения районов наблюдения с учетом ширины полосы обзора бортовой аппаратуры.

Особенностью решения функциональных задач такой системой является наличие неконтролируемой полосы вдоль трассы полета КА, ширина которой для рассматриваемых условий составляет ~ 340 км. Для обеспечения максимального перекрытия полос обзора в заданном диапазоне широт КА в орбитальной группировке целесообразно размещать на околокруговых орбитах с одинаковой высотой, но с разными наклонениями. Для системы с КА типа TerraSAR-X разница наклонений должна составлять примерно 4° . Использование такой орбитальной группировки позволяет улучшить показатели покрытия районов наблюдения в заданном диапазоне широт.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МАЛЫХ КА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ И ЧС

*А.В. Горбунов, И.Ю. Ильина, С.А. Молодяков В.К. Саульский,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва
С.В. Черкас,
АО «Российские космические системы»,
г. Москва*

В настоящее время во всем мире, включая Россию, наблюдается увеличение частоты возникновения стихийных бедствий в виде землетрясений, извержений вулканов, наводнений, лесных пожаров, цунами и других природных катастроф. Одновременно растет количество техногенных аварий: промышленных, транспортных, экологических (разливы нефтепродуктов и прочие загрязнения окружающей среды). В связи с этим становится все более актуальной проблема обнаружения, оперативной оценки характера и масштабов, а также последующего слежения за динамикой разнообразных чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного происхождения. Априорно ясно, что важнейшую роль в решении данной проблемы могут сыграть космические средства.

В 2014 – 2015 годах специалисты АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и АО «Российские космические системы» провели по заказу Роскосмоса НИР, позволившую оценить возможности создания комплексной космической системы, реализующей широкий состав конкретных задач мониторинга стихийных бедствий и ЧС техногенного и природного характера. Полный набор таких задач можно распределить на следующие группы в зависимости от того, какая космическая информация требуется для их решения:

1. Заблаговременное выявление признаков надвигающихся природных ЧС типа наводнений и лесных пожаров.
 2. Обнаружение фактов, оперативная оценка характера и масштабов, дальнейшее наблюдение за динамикой техногенных и природных ЧС.
 3. Раннее обнаружение малоразмерных очагов лесных пожаров.
 4. Выявление краткосрочных предвестников сильных землетрясений.
- 1-я группа задач практически уже приемлемо решается современными и тем более перспективными российскими и зарубежными КА

гидрометеорологического назначения и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

2-я группа требует космических данных ДЗЗ с высоким разрешением на местности: до 1 м и лучше. Поэтому для ее полноценной реализации нужны КА типа «Канопус-В», но со съемочной аппаратурой повышенного пространственного разрешения. Еще более существенно, что для обеспечения периодичности обзора, необходимой для реализации данной группы задач, должен быть количественно расширен состав постоянно действующей группировки малых космических аппаратов (МКА) с доведением его до 8 МКА и более.

3-я группа фактически состоит из единственной, однако весьма специфической задачи, для решения которой на борту МКА нужно использовать высокочувствительные и при этом широкозахватные инфракрасные (ИК) радиометры. Число МКА в системе также должно быть достаточно большим: не менее 8 в среднесрочной перспективе и еще в 2 – 4 раза больше в долгосрочной.

4-я группа задач, включающая наблюдения и измерения многочисленных геофизических параметров магнитосферы, ионосферы, верхней и нижней атмосферы и поверхности Земли, служащих предвестниками сильных землетрясений, нуждается в размещении на борту МКА обширного комплекса геофизических приборов. Часть таких приборов запланирована для установки на разрабатываемых МКА «Ионосфера» и «Зонд». Однако с их помощью уровень обнаружения предвестников сильных землетрясений будет невысок и не сможет удовлетворить насущные потребности в организации мониторинга, изучения и практического применения космических данных в интересах достижения в перспективе краткосрочного прогнозирования сильных землетрясений. Необходимо кардинальное расширение состава геофизических приборов, для выведения которых в космос потребуются специализированные МКА сейсмопрогнозного мониторинга.

Выполненный в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» анализ показал, что для полноценной реализации состава задач мониторинга стихийных бедствий и ЧС требуется создание следующей комплексной космической системы из МКА, которые могут быть спроектированы на базе унифицированных космических платформ (УКП) разработки АО «Корпорация «ВНИИЭМ»:

1. Группировка из 8 «МКА-ОЭ» на околополярных орбитах с высотой 450-500 км в равномерно распределённых через 45° (по долготе восходящего узла) орбитальных плоскостях. Группировка обеспечит высокочастотное наблюдение Земли с помощью оптико-электронной (ОЭ) аппаратуры видимого диапазона высокого разрешения в интересах оперативного мониторинга ЧС и (в меньшей степени) выявления признаков надвигающихся природных наводнений и лесных пожаров. Масса каждого МКА ~ 400 кг. Они могут проектироваться на базе УКП, созданной для малого спутника «Канопус-В».

2. Группировка из 8 «МКА-ИК» на околополярных орбитах высотой 500 – 600 км. МКА оснащаются инфракрасными (ИК)-радиометрами, разработанными в АО «РКС», и предназначены для оперативного – за время не более 1 часа – обнаружения очагов лесных пожаров с площадью от 25 кв. м. Масса МКА ~ 200 кг. Могут быть созданы на базе платформы спутника «Университетский Татьяна – 2».

3. Группировка из 4-х «МКА-СПМ» с бортовой геофизической аппаратурой на солнечно-синхронных орбитах с высотой ~ 820 км для сейсмопрогнозного мониторинга (СПМ). МКА могут проектироваться на базе УКП, разработанной для спутников «ИОНОСФЕРА» и «ЗОНД». Масса МКА не более 300 кг.

Данные группировки перечислены в порядке их приоритетности. Она определяется степенью готовности потенциальных потребителей к использованию конкретных космических данных, предназначенных для: 1) мониторинга природных и техногенных ЧС, 2) обнаружения очагов лесных пожаров, 3) выявления краткосрочных предвестников землетрясений. Целесообразно создавать рассматриваемые космические группировки в отдельные сроки с учетом их приоритетности. Вместе с тем после завершения формирования полного состава всех группировок будет достигнут синергетический эффект. Он объясняется тем, что каждая группировка вносит вклад в реализацию всех задач мониторинга стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

*Л.А. Макриденко¹, В.Я. Геча¹,
Н.И. Сидняев², В.В. Онуфриев², С.А. Говор,
¹ АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,*

г. Москва,

*²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва*

Высотно-скоростные характеристики играют важную роль при полетах КЛА по орбитам спутников небесных тел или по межпланетным траекториям, а также для создания необходимых управляющих сил и моментов с целью сохранения параметров орбит (траекторий) и заданного положения спутника в космическом пространстве. При околопланетных полетах изменение скорости КЛА проводится с целью перевода их с одной орбиты на другую, коррекции орбит, сближения и стыковки аппаратов, обеспечения посадки КЛА на небесные тела, взлета с них и т. п. Возможные значения эффективной скорости истечения в химических двигателях ограничены как сравнительно малой энергией химических связей, так и высокой молекулярной массой продуктов сгорания. К настоящему времени электроракетные двигатели нашли применение в системах ориентации и коррекции различных космических летательных аппаратов. Проведенные разработки и летно-космические испытания выявили ряд преимуществ ЭРД по сравнению с двигателями других классов, применяемыми для решения сходных задач, например, по сравнению с газовыми реактивными системами и микро-ЖРД. Для ряда практически важных задач ЭРД по существу не имеют конкурентов. Их основные преимущества, подтвержденные в процессе исследований и разработок, состоят в следующем: высокий удельный импульс, большой ресурс, возможность большого числа включений, предельно малый единичный импульс. Достигнутый к настоящему времени уровень характеристик ЭРД не является пределом возможного, работы по дальнейшему более углубленному исследованию ускорителей и двигателей продолжаются. На новом этапе

исследований можно ожидать дальнейших успехов: расширения диапазона стабильной работы ускорителей с высокой эффективностью и низким уровнем колебаний, появления новых разновидностей ускорителей, обладающих принципиально важными преимуществами. Результаты такого эксперимента необходимы для анализа летно-технических данных спутников, поскольку расчетные орбитальные характеристики двигателя, используемые на первых этапах создания спутника, не всегда в полной мере отражают действительное влияние условий полета. Такие, часто весьма существенные, полетные факторы как изменение плотности во всех участках траектории, нарушение геометрического подобия из-за термических и внешних деформаций, изменение действительных характеристик системы регулирования и ограничения режимов и ряд других, учитываются в расчетах недостаточно полно, даже если используемая математическая модель идентифицирована по результатам земных стендовых испытаний двигателя. Традиционная методика проведения испытаний сводится к следующему. Выбирается одно из требуемых сочетаний высоты и скорости полета, устанавливаются соответствующие значения параметров ионосферы перед спутником и в вакуумной камере и в этих условиях снимается дроссельная характеристика двигателя – зависимость его параметров от тяги. После этого меняется высота (или скорость) полета, соответственно корректируются параметры ионосферы на траектории спутника и в барокамере вновь снимается дроссельная характеристика и т. д. Другими словами, испытания сводятся к серии многофакторных экспериментов, в каждом из которых изучается влияние удельного расхода двигателя при постоянстве остальных определяющих параметров. При таком подходе для получения сетки характеристик двигателя на различных режимах требуется определить (в зависимости от заданного диапазона условий полета) не менее 8 – 10 дроссельных характеристик, на каждой из которых обычно снимается 5 – 6 точек при разных удельных тягах; объем эксперимента получается достаточно большим. Между тем, испытания по определению высотно-скоростных характеристик по своему существу представляют задачу, при решении которой возможно эффективное использование методов теории планирования эксперимента (ТПЭ), позволяющих получить требуемые результаты при существенном сокращении необходимого числа опытов. Основной особенностью всех методов ТПЭ, как извест-

но, является многофакторный подход к проведению эксперимента, предусматривающий не поочередное, а одновременное изменение от точки к точке всех действующих факторов. Разработанные в теории метода составления оптимальных планов многофакторного эксперимента позволяют выбрать для проведения опытов наиболее информативные сочетания значений определяющих факторов и обоснованно назначить число опытов, необходимое и достаточное для получения результата с требуемой полнотой и точностью.

Результаты опытов, проведенных в соответствии с многофакторным планом, обрабатываются так, чтобы по измеренным величинам определить коэффициенты уравнения регрессии заранее выбранного вида (обычно полинома) и получить, таким образом, математическое описание зависимости изучаемых параметров или характеристик объекта (функций отклика) от определявших факторов и их взаимодействий.

Полученные результаты послужили научным фундаментом, на базе которого предполагается создание принципиально новые высокоэффективных перспективных космических систем.

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

ПОДСЕКЦИЯ 2.1. КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА УНИФИЦИРОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ КА ДЗЗ

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

В настоящее время и в обозримом будущем в основе космического аппаратостроения лежит, главным образом, использование унифицированных космических платформ, обеспечивающих целевое функционирование полезной нагрузки КА.

В отечественной космической отрасли и за рубежом существует множество разработанных образцов космических платформ от микро-спутниковых (массой не более 100 кг) до тяжёлых (массой в несколько тонн). В целях систематизации проводимых работ, исключения параллелизма возникает необходимость обобщения накопленного опыта проектирования космических платформ, оценки технического уровня отечественных разработок космических платформ и сравнение его с техническим уровнем зарубежных разработок, определения перспективных направлений их технического совершенствования.

Задача оценки технического уровня отечественных разработок космических платформ и сравнение его с техническим уровнем зарубежных разработок, в общем виде может иметь следующий вид:

$$Z = \langle p_{уп}, \Psi, F^1, F^2 \rangle,$$

где $p_{уп} = (p_1, p_2, \dots, p_k)^T$ – вектор проектных параметров размерности k , определяемый множеством альтернатив космических платформ,

$\Psi = \{\psi_i(p_{уп})\}$ – множество оценок альтернатив,

F^1 – решающее правило, определяющее процедуру сравнения альтернатив,

F^2 – решающее правило, определяющее процедуру выбора альтернатив.

Проведение детального сравнительного анализа космических платформ отечественных и зарубежных разработчиков возможно лишь на базе полной и достоверной информации об их конструктивном исполнении и тактико-технических характеристиках. На практике реализация данного подхода в условиях отсутствия достоверных сведений обо всей совокупности параметров сравниваемых космических платформ является весьма проблематичной. В связи с этим, представляется целесообразным сравнительный анализ космических платформ отечественного и зарубежного производства проводить по их основным характеристикам. Выбор основных характеристик (показателей) для сравнения является весьма важной задачей, решаемой с использованием методов факторного анализа, экспертных оценок и др.

Анализ влияния требований к показателям эффективности космического аппарата (системы) ДЗЗ при решении целевых задач (периодичности наблюдения, оперативности доставки информации, детальности наблюдения, производительности КА при съемке целей, срока активного существования КА и др.) на проектные характеристики и конструктивно-компоновочную схему унифицированной космической платформы показывает, что при проведении оценки технического совершенства и сравнительного анализа многоцелевых унифицированных космических платформ могут быть использованы различные технические параметры УКП ($p_{УКП}$), характеризующие их возможности, в том числе: несущая способность платформы, оцениваемая отношением предельно возможной массы полезной нагрузки, которая может быть установлена на неё, к массе самой платформы ($M_{ПН}/M_{УКП}$); энерговооруженность платформы, оцениваемая отношением мощности системы энергоснабжения к массе самой платформы ($N_{СЭП}/M_{УКП}$); обеспечиваемая точность ориентации КА ($\delta_{ОР}$); обеспечиваемая точность стабилизации КА ($\delta_{СТ}$); обеспечиваемые угловые скорости ($\omega_{УКП}$) и ускорения ($\varphi_{УКП}$) разворотов КА; срок активного существования КА, созданного на базе платформы ($T_{АС}$).

Параметры, выбранные для оценки технического совершенства УКП при сравнительном анализе, строго говоря, не являются равнозначными, но, если УКП занимает первое место по всем показателям, то, только в этом случае, можно считать задачу выбора решённой корректно. Однако такой вариант маловероятен, поэтому для проведения сравнительной оценки не по отдельным частным показателям, а по платформе в целом необходимо многокритериальную задачу привести к однокритериальной. Многокритериальная задача оценивания технического уровня УКП сводится к однокритериальной задаче, вводя некий комплексный показатель эффективности, зависящий от частных показателей, то есть, осуществив, так называемую, свертку критериев.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «МЕТЕОР-М» №2 И
ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕЛЕВОЙ
АППАРАТУРЫ ПО ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ КОМПЛЕКСА
МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ (КМСС-М)**

*Е.А. Зеленин,
Акционерное общество «СТТгруп», г. Москва*

Для обеспечения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) необходимо осуществлять координатную привязку видеоданных, получаемых целевой аппаратурой (ЦА), и поддерживать заданную пространственную ориентацию ЦА ДЗЗ, установленной на космический аппарат (КА). Информацию об ориентации КА «Метеор-М» № 2 формирует бортовое синхронизирующее координатно-временное устройство (БСКВУ), переход от ориентации КА к ориентации ЦА осуществляется по наземным измерениям установочных углов ЦА. Температурные и вибрационные деформации конструкции КМСС-М и прибора звездной ориентации БСКВУ могут приводить к изменению установочных углов ЦА. В то же время, видеоданные КМСС-М могут быть использованы для определения установочных углов ЦА и контроля данных БСКВУ.

Помимо ориентации ЦА для координатной привязки видеоданных необходима оценка фотограмметрических параметров приборов КМСС-М, важнейшими из которых является фокусное расстояние отдельных каналов и углов ориентации линеек ПЗС относительно системы координат (СК) прибора.

Таким образом, возникает задача определения по известным опорным точкам фокусного расстояния и углов ориентации для каждого из каналов приборов КМСС-М. Подход к определению элементов внешнего ориентирования снимков по опорным точкам разработан для кадровых снимков – обратная фотограмметрическая засечка – и заключается в решении уравнений коллинеарности, описывающих переход из двумерных декартовых координат СК объекта в СК снимка. Спецификой сканерной съемки, которую производит КМСС-М, является то, что последовательные строки изображения формируются не одновременно, а через некоторый

период времени (период сканирования). При этом одновременно со съемкой происходит поворот КА и перемещение по орбите.

Автором предлагается методика определения ориентации КА и установочных углов ЦА по видеоданным, которая заключается в представлении координат опорных точек и их изображений в орбитальной и приборной системах координат (которые совпадают с точностью до поворота), и вычислении поворота, наилучшим образом совмещающего опорные точки с их изображениями. Поскольку изображение само по себе не несет информации о расстоянии до объекта, совмещаются лишь направления на точки, записанные в направляющих косинусах.

Углы ориентации изменяются с течением времени, в том числе в течение одного сеанса приема. В то же время, номер строки не несет в себе никакой информации о положении объекта, кроме времени его съемки (однозначно рассчитываемого по строчной частоте сканирования), а данных, полученных с одной строки изображения, практически всегда недостаточно для однозначного определения углов ориентации. Поэтому методика предполагает получение среднего значения углов ориентации за некоторый период времени, достаточный для съемки необходимого количества ГСР. Также, этот подход позволяет осуществлять расчет углов скользящим окном.

Алгоритм вычисления углов ориентации для каждого из каналов КМСС-М состоит из следующих этапов:

1. Определение географических координат опорных точек и координат их изображений в СК снимка;
2. Определение времени съемки каждой опорной точки по метаданным снимка и известной частоте чтения строк съемочной системы;
3. Определение положения и скорости КА при съемке каждой опорной точки в инерциальной декартовой системе координат;
4. Преобразование координат опорных точек в орбитальную СК;
5. Представление пиксельных координат изображения ГСР в приборной СК;
6. Представление направлений векторов точек в орбитальной и приборной СК в направляющих косинусах;
7. Вычисление матрицы поворота, наилучшим образом совмещающего направления из п.6, пересчет матрицы в эйлеровы углы.

Точность предложенного метода определяется точностью определения координат опорных точек, то есть пространственным разреше-

нием приборов КМСС-М. Для МСУ-100М ожидаемая точность метода имеет величину порядка $1'$. Фактическую точность определения углов ориентации можно оценить путем вычисления отстояния опорных точек от их расчетного положения. По величине отстояния возможна отбраковка ошибочно определенных точек (с последующим повторным применением алгоритма). Поскольку в алгоритме (на этапе 5) используется величина фокусного расстояния, она может быть уточнена методом градиентного спуска, где целевой функцией является среднее отстояние опорных точек от их расчетного положения.

Апробация метода проводилась для обоих приборов МСУ-100М по 20 опорным точкам (время съемки 2 – 6 с) с отбраковкой точек хуже $0,7'$. Установочные углы линеек ПЗС внутри одного прибора были рассчитаны с точностью $0,2'$ по крену и тангажу, $1,4'$ по рысканию, фокусные расстояния – с точностью 0,01 мм. Точность расчета углов ориентации КА составила $0,5 - 3'$ при времени съемки 40 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КА «КАНОПУС-В»

*В.Я. Геча, Е.А. Канунникова,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,
И.В. Васильев, Н.Г. Зайцев, А.В. Мовчан, В.С. Рябиков,
Р.С. Салихов, Н.А. Сенник, А.В. Чобитько,
АО «НИИЭМ», г. Истра*

Космический аппарат «Канопус-В», разработанный АО «Корпорация «ВНИИЭМ» совместно с АО «НИИЭМ» и другими организациями-соисполнителями, в настоящее время успешно эксплуатируется на орбите и поставляет необходимую для потребителей информацию, получаемую с панхроматической и многоспектральной съёмочных систем. Одним из важных параметров КА является его возможность оперативного перенацеливания в диапазоне $\pm 40^\circ$ от надира по крену для съёмки заданных районов поверхности Земли. Потенциальными Заказчиками требования к оперативности перенацеливания КА (т. е. времени совершения манёвра) на заданные районы съёмки поверхности Земли постоянно повышаются. Так, для КА «Канопус-В» и аппаратам на его основе время готовности к съёмке (с учётом затухания колебаний после разворота по крену на угол 40° от надира, составляет не более 120с с тенден-

цией значительного (практически двойного) сокращения. Этому требованию разработчик КА может удовлетворить, используя более мощные двигатели-маховики (это приведёт к увеличению габаритов и энергопотребления и, как следствие, к перекомпоновке служебной платформы КА) и уменьшением моментов инерции КА путём перекомпоновки солнечных батарей в лётной конфигурации. Отметим, что особенностью КА типа «Канопус-В» является использование внешней поверхности секции «+Y» служебной платформы КА в качестве радиационной поверхности, предназначенной для излучения тепла в космос. Для компоновки БС КА «Канопус-В-М» проведены предварительные расчёты по оценке излучательной способности указанной секции, которые показали, что этот параметр уменьшается примерно на (5 – 8)% и несущественно влияет на тепловой режим работы литий-ионной аккумуляторной батареи (с учётом дополнительной установки на неё матов экранно-вакуумной термоизоляции).

Предварительные оценки показывают, что динамические характеристики КА «Канопус-В-М» приводят к снижению времени совершения поворота КА по крену и времени готовности к съёмке после разворота. Для реализации улучшенных характеристик КА потребуются доработки стендов раскрытия БС, специального программного обеспечения, батареи солнечной (при сохранении габаритов и электрических схем активных створок БФ) с учётом установки виброгасителей, схем раскрытия БС, анализа полей обзора датчиков и диаграмм направленности антенн, работы КДУ в части истечения рабочего тела и возможного его влияния на БС.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННО- БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В. Б. Дубовской
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта
Российской академии наук, г. Москва,
К. В. Кисленко,
Научно-исследовательский центр космических систем*

*Центрального научно-исследовательского института
войск воздушно-космической обороны, г. Королев,
В. Г. Пшеняник,
Научно-исследовательский институт космических систем
имени А.А. Максимова – филиал Федерального
государственного унитарного предприятия
«Государственный космический научно-производственный
центр имени М.В. Хруничева», г. Королев*

В докладе рассматриваются вопросы использования измерительной информации бортовых высокочувствительных акселерометров при решении задач навигационно-баллистического обеспечения (НБО) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Существующая технология решения задач НБО в бортовых комплексах управления (БКУ) низкоорбитальных КА ДЗЗ основывается на использовании аппаратуры спутниковой навигации (АСН), функционирующей по сигналам космических навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. В настоящее время технический уровень АСН позволяет достаточно точно осуществлять определение параметров движения центра масс КА ДЗЗ в интересах решения задач НБО и обработки целевой информации. Однако в ряде случаев для выполнения требований для перспективных КА этого оказывается недостаточно.

Проводится анализ возможности повышения точности навигации при использовании измерений бортовых акселерометров на различных этапах решения задач НБО, определяемых наличием измерительной информации различной физической природы. В частности рассматривается возможность комплексного использования измерений высокочувствительных акселерометров и бортовой АСН.

Использование при определении параметров движения измеренных высокочувствительными акселерометрами значений ускорений от действия поверхностных сил, обусловленных наличием атмосферного торможения, солнечного давления и т. д., может обеспечить существенное повышение точности расчета параметров движения КА, а также согласующих параметров бортовых моделей движения на мерных интервалах (интервалах определения) и на интервалах прогнозирования.

В НИИ КС имени А.А. Максимова совместно с Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) разработан экспериментальный образец бортового комплекса высокочувствительных акселерометров с торсионным подвесом пробной массы и порогом чувствительности порядка $10^{-9} - 10^{-10} g$ (g – ускорение силы тяжести) в частотном диапазоне 0,001 – 0,1 Гц, которые не имеют отечественных аналогов.

Высокочувствительные акселерометры разработанной конструкции, в отличие от зарубежных емкостных акселерометров, незначительно проигрывая им в чувствительности, могут быть изготовлены по технологиям, освоенным нашей промышленностью (что особенно актуально в условиях импортозамещения), работоспособны на Земле, сохраняют работоспособность в условиях больших перегрузок при выведении КА на орбиту и имеют достаточно широкую область возможных применений.

Целесообразность создания этих приборов подтверждается эффективностью их применения для решения важных задач с использованием перспективной космической техники, таких как: повышение точности прогнозирования движения низкоорбитальных КА ДЗЗ; повышение эффективности управления и оптимизация расхода рабочего тела двигательной установки малой тяги для КА различного назначения; уточнение параметров глобальной модели гравитационного поля Земли с использованием методов спутниковой градиентометрии; компенсация атмосферного торможения для КА на сверхнизких орбитах; уточнение модели верхней атмосферы; создание прецизионных бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), способных работать как на активных, так и на пассивных участках орбиты КА.

В соответствии со «штатными» технологиями НБО, используемыми при управлении полетом современных низкоорбитальных КА ДЗЗ, определение параметров движения КА по данным АСН осуществляется с использованием выборки измерений на определенном интервале времени. Одновременно с определением вектора орбитальных параметров проводится согласование баллистического коэффициента КА для компенсации погрешностей из-за отличия модельных и фактических значений плотности атмосферы.

Использование при интегрировании системы дифференциальных уравнений движения КА измеренных высокочувствительными акселе-

рометрами ускорений поверхностных сил позволяет исключить погрешности модели движения КА за счет неточного знания параметров атмосферы.

В докладе предлагаются методики использования измерений высокочувствительных акселерометров при решении задач определения и прогнозирования орбитальных параметров в бортовых комплексах управления КА ДЗЗ. Приводятся результаты математического моделирования и оценки эффективности использования данных высокочувствительных акселерометров в БКУ КА на основе реальных данных функционирующих КА ДЗЗ и модельной измерительной информации высокочувствительных акселерометров с характеристиками, соответствующими экспериментальным образцам, разработанным в НИИ КС имени А.А. Максимова и ИФЗ РАН.

Предлагаемая технология определения параметров движения КА с использованием измеренных значений ускорений поверхностных сил предусматривает два этапа.

На первом этапе проводится определение вектора орбитальных параметров по данным бортовой АСН с использованием в модели движения КА измеренных значений ускорений поверхностных сил, которые обеспечивают наилучшую компенсацию погрешностей знания атмосферы. Определение параметров движения может осуществляться как на интервалах наличия измерений бортовой АСН с использованием алгоритмов интервальной обработки данных, так и на интервалах наличия только измерений акселерометра.

На втором этапе по измерениям акселерометров осуществляется уточнение величины баллистического коэффициента КА в интересах реализации дальнейшего прогнозирования орбитальных параметров с использованием бортовой модели плотности атмосферы.

Отмечается эффективность использования измерений бортовых высокочувствительных акселерометров в интересах повышения точности моделирования орбитального движения КА ДЗЗ.

Результаты сравнения погрешностей прогнозирования орбитальных параметров КА при использовании предлагаемой технологии НБО и «штатных» технологий показывают, что комплексное использование измерений высокочувствительных акселерометров и бортовой АСН позволяет уменьшить погрешность прогнозирования параметров движения КА вдоль орбиты по сравнению со «штатными» технологиями

решения задач НБО ~ на 40 – 90 % (диапазон уменьшения зависит от длительности мерного интервала «штатных» технологий, уровня солнечной активности и других условий полета).

Предлагаемая технология комплексного использования измерений высокочувствительных акселерометров и данных АСН может быть реализована в бортовых комплексах управления перспективных низкоорбитальных КА ДЗЗ в интересах повышения точности решения задач навигационно-баллистического обеспечения управления полетом КА и повышения качества обработки целевой информации.

РЕАЛИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ОТЛАДКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*И.И. Бурашкин, Е.Е. Чебанов, А.Б. Уманский,
АО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова»,
г. Екатеринбург*

Исходя из требований обеспечения надежности функционирования управляющих вычислительных систем, создание и отладка программного обеспечения в АО «НПО автоматики» проводится в несколько этапов: создание и автономная отладка программного обеспечения на рабочем месте с помощью имитационной модели процессора; отладка программного обеспечения на макете вычислительной системы с имитаторами внешнего окружения; отладка программного обеспечения на макете вычислительной системы с математической моделью объекта управления.

Автономная отладка программного обеспечения на рабочем месте производится в интегрированной среде разработки. Данная программа включает в себя средства отладки и имитационные модели системного и вычислительного модулей вычислительной системы.

Модели вычислительного и системного модулей позволяют проверить все программы системы управления, кроме программ обмена. Поэтому отладка программ обмена производится на макете вычислительной системы с имитаторами внешнего окружения.

Однако применение макета вычислительной системы затрудняет создание программ по следующим причинам: время доступа к макету

ограничено, в связи с необходимостью проверки программного обеспечения различными подразделениями предприятия; зависимость процесса отладки программного обеспечения от работоспособности макета; необходимость анализа большого объема информации для определения поведения программного обеспечения при отладке нештатных ситуаций (несовпадение контрольных сумм, нарушение длительности обмена, приход недостоверного количества слов и пр.).

Для улучшения процесса отработки, предлагается создание имитационной модели вычислительной системы, которая позволит перенести первичную отработку программ обмена с макета на автономное рабочее место.

Модель вычислительной системы разрешает проблему ограниченности ресурсов макета, так как создание и первичная отработка программ межмодульного обмена будет производиться на рабочем месте программиста.

Применение модели позволяет: получить диагностическую информацию при создании и отладке программ в модели без анализа большого объема информации; значительно уменьшить сроки разработки программного обеспечения; создать более качественное программное обеспечение, так как большинство ошибок программ обмена будет устранено при отладке на рабочем месте.

ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРОГРАММНО-КОНТРОЛИРУЮЩЕЙСЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

*А.В. Леонтьев, А.В. Есиновский,
АО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова»,
г. Екатеринбург*

В работе представлены особенности программного подхода к реализации резервированной малогабаритной бортовой вычислительной системы для систем автоматического управления малыми космическими аппаратами. Отмечается, что основные проблемы при проектировании таких систем связаны с обеспечением надежности функционирования при снижении массы, габаритов и энергопотребления. При

этом коэффициент резервирования аппаратуры должен быть уменьшен, а производительность увеличена.

Рассматривается задача по сохранению функционирования вычислительной системы при воздействии внешних дестабилизирующих факторов с помощью программных методов, поскольку большое количество аппаратно выделенных модулей контроля резерва, синхронизации и принятия решений увеличивает габаритно-массовые характеристики объекта управления.

Приводятся особенности архитектуры резервированных цифровых вычислительных систем, которые должны быть учтены при проектировании программно-контролирующей структуры. В частности, каждый узел системы этого типа по определению должен иметь в составе собственный источник тактирования. Поскольку в общем случае уходы тактовых генераторов узлов имеют стохастический характер, то для синхронизации хода выполнения программы в них и одновременности возникновения событий необходимо использовать корректирующие алгоритмы, выполняющиеся с наибольшим приоритетом. Рассматривается набор программно реализованных синхронизаций, необходимых для обеспечения детерминированного порядка выполнения программ в нескольких узлах вычислительной системы. Рассматриваемый набор синхронизаций применим, в формализме теории графов, только к полным орграфам, где под вершиной графа понимается узел вычислительной системы. Набор состоит из синхронизаций тактовых генераторов, синхронизации хода выполнения программы и синхронизации векторов состояния подсистем и органов управления.

Приводятся особенности операционной системы реального времени, являющейся центральным компонентом программного обеспечения каждого узла вычислительной системы. Операционная система в каждом узле обеспечивает одновременное решение целевых функциональных задач, задач контроля правильности работы аппаратуры системы и задач нейтрализации отказов, возникающих в случайные моменты времени.

Делается вывод о применимости малогабаритной архитектуры вычислительной системы в контуре управления малыми космическими аппаратами. Особенностью такой аппаратно-программной архитектуры является совокупность операционных систем, распределенных и

программно синхронизированных между физически выделенными узлами вычислительной системы.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ МАЛОГАБАРИТНОЙ ЦВС ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.В. Сарпулов, Д.И. Зелизко, А.Б. Уманский,
АО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург*

В настоящее время существует тенденция к увеличению масштабов эксплуатации малогабаритных аппаратов, что относится и к спутникам дистанционного зондирования Земли.

Небольшие по размерам спутники не имеют способности нести на борту полноценную резервированную бортовую цифровую вычислительную систему (БЦВС), ввиду ограничений по габаритно-массовым характеристикам. Вследствие этого приходится применять нерезервированную или частично резервированную управляющую ЦВС с распределенными вычислительными мощностями. При этом возникает проблема того, что надежность и работоспособность системы управления должна обеспечиваться программно-алгоритмическими средствами самоконтроля с минимальной аппаратной поддержкой.

С учетом требований по стойкости для БЦВС при работе в условиях космоса и возможностей отечественной элементной базы зачастую возникает проблема недостаточности производительности одного вычислителя для решения всего спектра задач системы управления в установленные временные периоды. Исходя из этого, для обеспечения решения необходимого перечня задач в БЦВС прибегают к использованию нескольких вычислителей, составляющих распределенную вычислительную систему.

В работе рассматривается вычислительная система на базе резервированного системного модуля (СМ) для решения задач контроля и функциональной защиты нерезервированной вычислительной части ЦВС.

СМ один раз в цикл синхронизирует работу вычислительных модулей (ВМ) с помощью одновременной посылки прерываний.

На основании получения прерывания и достоверного выполнения своих алгоритмов ВМ каждый цикл должен формировать признак работоспособности. СМ считывает для анализа ячейку с данным признаком и обнуляет ее, чтобы при зацикливании ВМ не было подтверждения об исправности.

Вся передаваемая между модулями информация защищается контрольной суммой (КС). При ошибках сравнения КС производится повтор. Каждый ВМ, выполняя расчеты, проверяет вхождение результатов в допустимые зоны. Выход за границы допусков (например, отрицательное число при ожидании положительного результата) формирует соответствующий признак для СМ, обозначая возникновение ошибки в полетной программе.

В части случаев используется контроль по времени. Если СМ не получает ответную информацию от ВМ в течение заданного максимального времени, взаимодействие прекращается.

В случае возникновения не парируемых сбоев и отказов ЦВС переходит в режим работы по аварийной логике. СМ выключает питание всех вычислителей и переходит в состояние ожидания. По сигналу с Земли СМ перезапускает вычислители и запускает тестовые проверки (ТП) ЦВС. По результатам ТП СМ принимает решение о выводе ВМ на работу по штатной программе или запускает программу ухода на орбиту захоронения.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СХЕМНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ НЕЙРОГРАФОСЕМАНТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

*А.П. Григорьев,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Конструкторское бюро «Арсенал» им. М. В. Фрунзе»,
г. Санкт-Петербург.*

Рассматривается задача построения системы автоматизированной оценки схемной телеметрической информации (СТМИ) на базе контрольно-проверочной аппаратуры автоматического сбора сообщений (КПА АСС) с использованием нейросетевого и графосемантического

подходов, для непосредственного использования при электрорadiотехнических испытаниях (ЭРТИ) механически разобранного (расстыкованного) изделия ракетно-космической техники. Данный комбинированный подход позволяет обеспечить высокую точность и достоверность оценки в реальном масштабе времени, частично разгрузить оператора от необходимости анализа результатов проверки СТМИ по протоколам КПА АСС. При решении задачи используются классические многослойные искусственные нейронные сети (ИНС) совместно с семантическими графами. Основная идея заключается в том, что любой модуль (аналоговый, температурный, дискретный), входящий в состав телеметрической системы можно представить в виде ИНС, которую в свою очередь для решения задачи диагностики целесообразно выразить в виде ориентированного графа. Графовые модели в данном конкретном случае используются для визуализации процесса контроля и поиска неисправностей (локализация ненорм).

Рассмотрим предложенный подход на примере одного из цифровых коммутаторов системы, состоящего из 8 позиций (№) – 0...7, в каждую позицию входят 8 параметров (Имя). Таким образом, каждый КЦ позволяет получить 64 параметра, характеризующих функционирование датчиков. Работоспособное состояние датчика определяется понятием «норма», неисправное состояние – «не норма». Значения на выходе датчика соответствующие понятию «норма» определяются на основании руководящих документов и заносятся в базу данных КПА АСС. На основании этих данных предлагается построить простейшую ИНС прямого распространения сигнала на базе перцептронных нейронов (ПН). Каждый из нейронов в данном случае будет моделировать работу одной из позиций КЦ. Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо спроектировать однослойную перцептронную ИНС из 9 нейронов, 8 нейронов при этом предназначены для отображения (реализации) каждой из позиций коммутатора и девятый нейрон-классификатор – для указания текущего состояния КЦ – «норма/не норма».

Текущее состояние нейрона – это функция от взвешенной суммы произведения сигнала на входе и веса связи. Очевидно что, ПН полностью описывается своими весами и активационной функцией. Получив набор чисел (вектор или матрицу), в качестве входов, нейрон выдает некоторое число на выходе. Задавшись определенной структурой

ИНС, отвечающей задаче, разработчик должен найти оптимальные значения всех переменных весовых коэффициентов. Этот этап называется обучением сети, и от того, насколько качественно он будет выполнен, зависит способность сети решать поставленные перед ней задачи во время функционирования.

Контроль и диагностика посредством нейрографосемантического подхода осуществляется следующим образом. По результатам тестового контроля КЦ, КПА АСС формирует фактическую матрицу, состоящую из бинарных элементов. Фактическая матрица, подается на вход обученной ИНС. Сеть осуществляет автоматизированный контроль. Диагностика нейросетью осуществляется за счёт возможности получать матрицу связности (МС) ИНС, характеризующей связь и передачу сигналов от нейрона к нейрону. По МС можно судить о том, какие нейроны в сети были в состоянии возбуждения (задействованы). Все весовые коэффициенты ПН принимают значения -1 и 1, единице соответствует возбужденное состояние (осуществляется передача сигнала), минус единице – состояние покоя (сигнала нет). Так как каждый ПН сети соотнесён с вершиной эталонного СГ, и каждый синапс нейрона соотнесён с ребрами графа, то по весу того или иного нейрона или его синапса в МС можно установить в какой позиции КЦ и по какому параметру в позиции получена «не норма», соотнести эту информацию с руководящими документами, дать дополнительные рекомендации и вывести разъяснения, связав тот или иной параметр СГ с соответствующей инструкцией, и отослать оператора КПА АСС к тому или иному разделу эксплуатационного документа.

По разности эталонной матрицы (столбец «Норма») и МС сети, можно построить разностную матрицу, реализующую разностный СГ. Данные матрица и граф характеризуют отклонение от состояния «норма», что может быть использовано при решении задачи диагностики (поиск отказов и «не норма»).

Для реализации программной модели ИНС целесообразно воспользоваться средствами традиционных объектно-ориентированных языков программирования, таких как Java, что позволяет использовать современные средства и технологии для интеграции этих моделей в разнообразные прикладные системы, а также подключать к ним такие ресурсы как базы данных, электронные документы и т. п.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛАТФОРМЫ «НТ-500»

*Д.М. Доронин, И.И. Зимин, М.В. Валов, А.В. Яковлев,
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика
М.Ф. Решетнёва», г. Железногорск*

В последнее десятилетие существенно возрос спрос на создание космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. КА ДЗЗ могут применяться для решения целого ряда научных и прикладных задач, таких как: мониторинг чрезвычайных ситуаций, сельское хозяйство, землепользование, картографирование, лесное хозяйство и многих других. Особенно актуальным является создание малых космических аппаратов ДЗЗ.

Для снижения стоимости и времени разработки целесообразно создавать КА на базе унифицированной платформы.

Перспективная платформа «НТ-500» разрабатывается с целью создания на ее базе малых космических аппаратов различного целевого назначения массой до 500 кг. Бортовые системы платформы построены на приборах и оборудовании, произведенных в Российской Федерации.

Особое внимание уделяется системе ориентации и стабилизации платформы, в связи с предъявлением к ней высоких технических требований (для возможности использования платформы «НТ-500» для создания КА ДЗЗ), а именно: по точности ориентации; по точности стабилизации по скорости; по минимизации уровня вибраций на посадочном месте целевой аппаратуры; по обеспечению необходимых поворотных манёвров с целью обеспечения требуемых режимов работы целевой аппаратуры.

В обеспечение выполнения данных требований при создании СОС перспективной платформы «НТ-500» будут применены следующие принципы построения:

Основной контур управления предполагается построить на базе звёздных датчиков, волоконно-оптического гироскопа и управляющих двигателей-маховиков;

Одновременно будут работать два звёздных датчика, угол между визирными осями которых составляет около 90°. Показания звёздных

датчиков подвергаются алгоритмической фильтрации и объединяются для достижения максимальной точности определения ориентации; Звёздные датчики устанавливаются на жёсткую панель, связанную с посадочной плоскостью целевой аппаратуры, что минимизирует ошибки выведения и ошибки от температурных деформаций; Из состава СОС исключён привод вращения солнечных батарей для исключения вносимой им динамической ошибки; Разгрузка двигателей-маховиков и коррекция орбиты будут проводиться вне сеанса съёмки.

Основные технические характеристики СОС перспективной платформы «НТ-500» представлены в таблице.

Технические характеристики СОС платформы «НТ-500»

Наименование параметра	Значение параметра
Тип ориентации	Трехосная, активная
Точность СОС, град	
крен	0,03
тангаж	0,03
рыскание	0,03
Точность стабилизации с погрешностью по каждой из осей, град/с	0,0005

ПРОБЛЕМЫ АККОМОДАЦИИ НЕСУЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Л.А. Макриденко¹, В.Я. Геча¹, Н.И. Сидняев², В.В. Онуфриев²

*¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
г. Москва,*

*²Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва*

Экспериментальные исследования показывают, что реальные процессы взаимодействия молекул с поверхностью космических аппаратов отличаются от явлений диффузного отражения и характеризуются отражением более общего типа. Степень контакта сталкивающихся молекул недостаточна для того, чтобы они приобрели среднюю энергию, соответствующую температуре стенки $T_{ст}$. В основе рассматриваемой концепции отра-

жения лежит идея, что нормальная и тангенциальная компоненты силы, создаваемой отраженным потоком, определяются соответственно коэффициентом аккомодации нормальной компоненты импульса $f_n = (p_i - p_r)(p_i - p_{cm})$ и коэффициентом аккомодации тангенциальной компоненты импульса $f_\tau = (\tau_i - \tau_r) / \tau_i$. В соответствии с этой концепцией только часть падающих молекул f_n передает стенке нормальную компоненту импульса. Доля всех молекул, передающих касательную составляющую количества движения, определяется коэффициентом f_τ . Очевидно, для полностью зеркального отражения $f_n = f_\tau = 0$ при $(p_i = p_r; \tau_i = \tau_r)$, а для полностью диффузного отражения $f_n = f_\tau = 1$ при $(p_i = p_{cm}; \tau_r = 0)$. Строго говоря, коэффициенты f_n и f_τ неодинаковы, так как характеризуют различные процессы передачи импульса при отражении. Однако при приближенных вычислениях можно исходить из Максвелловской гипотезы, в соответствии с которой процесс отражения характеризуется одним коэффициентом аккомодации импульса $f_n = f_\tau = f$, указывающим на то, что диффузно отражается доля f всех молекул, а зеркально – часть $(1 - f)$. В работе показано влияние аккомодации на давление и трение. С увеличением f коэффициент давления \bar{p}_f снижается, а коэффициент трения $(c_f)_f$ возрастает. Физически такой эффект объясняется уменьшением числа молекул, которые отражаются зеркально. Это обуславливает уменьшение дополнительного импульса («реактивной силы»), что вызывает снижение давления. Одновременно становится меньше число тех молекул, которые не передают касательной составляющей количества движения, что влечет за собой увеличение коэффициента трения. Экспериментальные исследования взаимодействия водорода, гелия и кислорода с полированной поверхностью окиси серебра, а также изучение контакта воздуха с латунию

показали, что $f \approx 0,99$, что подтверждает наличие практически полного диффузного отражения. Вместе с тем аналогичные исследования позволили установить, что для некоторых комбинаций газа и поверхности коэффициент f может быть существенно меньше единицы.

Отсутствие полной «приспособляемости» (аккомодации) свойственно не только явлению переноса количества движения, но и в большей степени, как показывают экспериментальные исследования, процессу обмена энергией между падающими молекулами и стенкой E_{cm} . Рассматриваемый случай отражения является наиболее общим и характеризуется отсутствием полной аккомодации («приспособляемости») между твердой границей и молекулами при обмене энергией E . Таким образом, в этом общем случае отношение $\eta = (E_i - E_r) / (E_i - E_{ct})$, называемое термическим коэффициентом аккомодации, отличается от единицы. Здесь E_r энергия отраженных частиц, E_i – общее количество переносимой энергии. Возникающий разрыв энергии является причиной скачка температур, т. е. различия между T_r и T_{cm} . Коэффициент аккомодации η имеет важное значение в расчете теплопередачи. Поэтому необходимо уметь оценить его величину. В настоящее время это можно осуществить только экспериментально, хотя, к сожалению, достаточно надежных измерений мало. Наблюдения показывают, что характер изменения термического коэффициента аккомодации весьма сложен. Установлено, в частности, что с увеличением молекулярного веса и температуры поверхности значение η возрастает. Можно предположить, что коэффициент аккомодации будет зависеть от скорости полета космического аппарата, угла подхода молекул к поверхности, свойств материала, состояния поверхности. Как показали исследования, значения коэффициента аккомодации для воздуха, взаимодействующего с алюминием и сталью, имеющих различную форму обработанной поверхности, близки к единице и колеблются от 0,7 до 0,97.

Результаты исследований показывают, что для чистых поверхностей и легких молекул, в частности, таких газов, как водород и гелий, величина η может достигать примерно 10^{-2} . Сравнение термического η и «силового» f коэффициентов accommodation показывает, что $f \gg \eta$. Из этого следует, что, хотя падающие молекулы испытывают многократные столкновения со стенкой и процесс отражения близок к диффузному, время соприкосновения этих молекул со стенкой все же недостаточно для того, чтобы отраженные молекулы приобрели температуру стенки.

АЭРОМЕХАНИКА НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Л.А. Макриденко¹, В.Я. Геча¹, Н.И. Сидняев², В.В. Онуфриев²
¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,
²Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Изучены некоторые характеристики свободномолекулярного потока обтекающего космический аппарат. Предполагается, что молекулы отражаются диффузно, причем температура отраженных частиц равна некоторому значению, T_r отличному в общем случае от температуры стенки $T_{ст.}$ и первоначальной температуры газа T_i . Принято выражение для переноса массы. Составляющие скорости молекулы представлены в форме: $u = u' + U$, $v = v' + V$, $\omega = \omega' + W$.

Первые члены в этих выражениях – компоненты скорости \vec{V}_∞ массового (или упорядоченного) движения газа относительно стенки, определяемой из выражения $V_\infty^2 = u'^2 + v'^2 + \omega'^2$. Вторые члены – составляющие скорости c теплового движения (скорости молекулы относительно массового движения газа). Квадрат этой скорости:

$$c^2 = U^2 + V^2 + W^2$$

Полагается, что ось u , которой соответствует составляющая v , направлена по нормали к поверхности в данной точке. Исследовался перенос молекул к поверхности тела, который зависит от числа падающих молекул, содержащихся в единице объема. Если молекулы движутся со скоростью, компоненты которой по величине укладываются соответственно в интервалах $u, u+du; v, v+dv, \omega, \omega+d\omega$, то число этих молекул равно произведению $n_i f du dv d\omega$, в котором n_i – число падающих молекул в единице объема; f – функция распределения молекул по скоростям, есть функция распределения Максвелла. В кинетической теории функция распределения представлена экспоненциальной зависимостью:

$$f = (\pi c_m^2)^{-3/2} \cdot e^{-c^2/c_m^2}$$

в которой величина c_m связана со средней скоростью хаотического движения \bar{c} соотношением:

$$c_m = \bar{c} \sqrt{\pi / 4}$$

и принята наиболее вероятной скоростью молекулы. По данным кинетической теории газов, средняя скорость беспорядочного движения молекул

$$\bar{c} = 2\sqrt{2RT / \pi}.$$

Функция распределения f относится только к неупорядоченной части движения молекул. Она зависит от скорости теплового движения c , как видно из (3), от средней скорости \bar{c} , определяющей внутреннюю энергию единицы массы газа, равную $\bar{c}^2 / 2$. В общем случае \bar{c} и c зависят от координат и времени. Однако если рассмотреть имеющий большое практическое значение случай равновесного распределения скоростей, при котором в результате столкновений в каждом заданном элементе объема $\tau = dx dy dz$ не изменяется число молекул газа, принадлежащих элементу пространства скоростей $du dv d\omega$ в объеме τ , то этой функция распределения f не будет зависеть от времени t . Та-

кое состояние газа определяется как состояние местного максвелловского равновесия. Используется для аэромеханических расчетов средняя квадратичная скорость $\overline{c^2}$ беспорядочного движения, определяемой из условия

$$\overline{c^2} / 3 = \overline{U^2} = \overline{V^2} = \overline{W^2}$$

где $\overline{U}, \overline{V}, \overline{W}$ – средние значения составляющих скорости беспорядочного движения. Согласно кинетической теории газов, величина $\overline{c^2}$ находится из выражения $\overline{c^2} = 3RT$.

Отсюда с учетом формул(3), (4) определим

$$\sqrt{\overline{c^2}} = 0,5\overline{c}\sqrt{3\pi/2} = c_m\sqrt{3/2}.$$

Отметим также зависимость, которая существует между $\overline{c}, \sqrt{\overline{c^2}}$, и скоростью звука $a = \sqrt{kRT} = \overline{c}\sqrt{\pi k/8} = \sqrt{\overline{c^2}}\sqrt{k/3}$. Из числа падающих молекул, содержащихся в единице объема, та их часть, которая соударяется с единичной поверхностью за одну секунду, равна $n_i \int f d\mathbf{v} dv d\omega$. Если в этом параметре \overline{x} выразить c_{mi} через скорость звука, то $\overline{x} = (v' / a_i)\sqrt{k/2}$. Наряду с этим, учитывая, что β – угол между направлением вектора \vec{V}_∞ и касательной к поверхности спутника в данной точке, можно найти

$$\overline{x} = \sin \beta \frac{V_\infty}{a_i} \sqrt{\frac{k}{2}} = \overline{x}_\infty \sin \beta; \overline{x}_\infty = \frac{V_\infty}{a_i} \sqrt{\frac{k}{2}} = M_\infty \sqrt{\frac{k}{2}}.$$

Если рассматривается верхняя сторона поверхности, то уравнение переноса массы будет иным. Имея это в виду, напишем для верхней поверхности

$$N_i = -n_i (\pi c_m^2)^{-3/2} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}H_1^2} du \int_{-\infty}^0 ve^{-\frac{1}{2}H_2^2} dv \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}H_3^2} d\omega.$$

Интеграл в правой части этого выражения

$$\int_{-\infty}^{-\bar{x}} e^{-y^2} dy = \int_0^{-\bar{x}} e^{-y^2} dy + \int_{-\infty}^0 e^{-y^2} dy = \frac{\sqrt{\pi}}{2} (1 - \operatorname{erf} \bar{x}).$$

Таким образом,

$$\int_{-\infty}^0 ve^{-\frac{1}{2}H_2^2} dv = \frac{c_{mi}^2}{2} \left[e^{-\bar{x}^2} - \bar{x} \sqrt{\pi} (1 - \operatorname{erf} \bar{x}) \right].$$

Принимая во внимание полученные значения интегралов, найдем по аналогии с (9) следующую зависимость для определения числа падающих молекул на верхнюю площадку:

$$N_i = n_i \sqrt{\frac{RT_i}{2\pi}} \left[e^{-\bar{x}^2} - \bar{x} \sqrt{\pi} (1 - \operatorname{erf} \bar{x}) \right].$$

Если рассматривается свободномолекулярный поток около криволинейной поверхности, то формула (9) применима к расчету числа падающих молекул на переднюю сторону этой поверхности, а формула (10) – на заднюю. Формулы (9) и (10) можно упростить при больших скоростях, воспользовавшись тем, что уже для $\bar{x} \geq 2$ величина $e^{-\bar{x}^2}$ по крайней мере на два порядка меньше единицы, а интеграл вероятности $\operatorname{erf} \bar{x}$ мало отличается от единицы.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИЕМОСДАТОЧНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

*А.П. Григорьев,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Конструкторское бюро «Арсенал» им. М.В. Фрунзе»,
г. Санкт-Петербург*

Рассматривается задача формализации управления технологическим процессом (ТП) автоматизированных приемосдаточных испытаний (ПСИ) изделий ракетно-космической техники (РКТ) с целью улучшения показателей процесса испытаний (достоверности, точности, стоимости).

Сформулируем цель управления ТП при ПСИ как достижение максимальной достоверности и точности результатов испытаний при минимальной продолжительности и стоимости. Таким образом, задача управления ТП при ПСИ является многокритериальной оптимизационной задачей, так как связана с необходимостью оптимизации сразу нескольких критериев.

При построении модели испытаний помимо экспертных данных может быть использован вероятностный подход, основанный на эмпирической (опытной) статистической информации. Для решения данной задачи, помимо классических вероятностных подходов (Байесова оценка, метод максимального правдоподобия и т. д.), могут быть активно использованы эвристические методы (искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы и т. д.).

Наиболее перспективным является применение искусственных иммунных систем (ИИС, в англоязычной научной литературе AIS – Artificial Immune System), представляющих собой адаптивные системы на основе наблюдаемых свойств и принципов функционирования биологической иммунной системы человека. Данные модели способны эффективно обрабатывать значительные объемы данных, их вычислительные возможности вытекают из свойств естественной иммунной системы.

Рассмотрим возможность, разработки интеллектуальной системы испытаний (ИСИ), которая сможет распознавать различные ситуации и принимать основанные на предыдущем опыте, качественные (оптимальные или квазиоптимальные) решения, не имея информации о функциональных связях между отдельными переменными. Основная идея заключается в разработке ИИС, которая создает набор «антител» (оптимальных решений), способных охватить большое количество всевозможных, потенциальных ситуаций. Эта ИИС создает антитела (управляющие решения) для различных «антигенов» (всевозможных сценариев). Разработанные с помощью ИИС алгоритмы и решения, характеризуются способностью к обобщению, адаптации и обучению на основе апостериорной информации, а также, могут применяться для

динамического управления различными объектами.

Можно установить следующую аналогию между иммунной системой и ИСИ. Существует безграничное число потенциальных ситуаций в условиях испытаний изделия РКТ требующих правильных управленческих решений. Широкий диапазон различных параметров (режимов) испытаний характеризуются крайней неопределенностью. На языке искусственных иммунных систем: антигены – это потенциальные ситуации, которые могут произойти при испытаниях. Каждый антиген, входящий в наше тело, должен быть распознан. Специфический иммунный ответ зависит от результатов этого распознавания. Это значит, что каждая потенциальная ситуация должна быть распознана. Инициирование конкретного управленческого действия зависит от результата распознавания антигена; антитела – это правильные решения и действия для предотвращения «нежелательных» ситуаций. Антитела (решения) могут включать людей, принимающих решения (оператор, руководитель испытаний и т. д.), или автоматические механизмы контроля, управляемые компьютерными системами. Антитела уничтожают антигены и клетки, несущие антигены, что может быть истолковано как успешное применение определенной стратегии управления в конкретной ситуации.

Иммунная система человека способна бороться с антигенами, встреченными в прошлом, так же эффективно, как и с неизвестными. Таким же образом, при проведении испытаний, сталкиваясь с той или иной ситуацией необходимо вырабатывать адекватные решения. Очевидно что, необходимо создание в ИСИ базы данных антигенов с помощью снятия реальных показателей при испытании изделия. От того насколько «широко» и «полно» данная база будет отражать реальные ситуации возникающие при испытаниях, будет зависеть качество принимаемых ИСИ решений.

Стоит также обратить внимание на некоторые проблемы связанные с исследованиями в области ИИС. Первая заключается в том, что в настоящее время существует лишь небольшое число вычислительных моделей, основанных на принципах работы иммунной системы. Это связывают с тем, что сохраняется неопределенность в основных положениях, предложенных для описания теории ИИС. Следующей проблемой является сложность реализации механизмов иммунной системы, данная проблема существует во многих областях, где требуется моделирование сложных биологических процессов организма.

Масштабные исследования в области ИИС ведутся относительно недавно и преимущественно в среде зарубежных ученых. Тем не менее, не исключено, что довольно скоро их возможности начнут использоваться на практике. Реализация, как отдельных механизмов иммунной системы, так и попытки смоделировать всю систему в различных областях науки и производства могут дать существенно новые результаты.

ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ И НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ КА ДЗЗ НА ПРИМЕРЕ НКУ КА «КАНОПУС-В»

*С.Б. Усиков, В.Б. Лазарев,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,
г. Королев*

Статья посвящена модернизации бортовых и наземных комплексов управления КА ДЗЗ. В статье рассматриваются:

1. особенности управления космическими аппаратами ДЗЗ;
2. место ЦУПа в НКУ КА ДЗЗ на примере «Канопус» и особенности построения аппаратно-програмных средств ЦУП «Канопус»;
3. достоинства и недостатки существующей схемы управления;
4. перспективы развития ЦУП КА ДЗЗ и проблемы на пути оптимизации на примере КА «Канопус».

Одной из целей данной работы является поиск путей оптимизации, модернизации процесса управления малыми КА и рассмотрение проблем на пути оптимизации.

Авторами настоящей работы был проведен анализ организации процесса управления на настоящий момент и предложены способы повышения оперативности и эффективности управления малыми космическими аппаратами на примере КА «Канопус-В» № 1, способы получения ТМИ в любой момент времени, выдачи необходимых управляющих воздействий, когда это необходимо и т. д. Предложенные способы усовершенствования процесса управления всесторонне рассмотрены с достоинствами и недостатками.

Возможны следующие варианты на пути оптимизаций:

1. увеличение количества наземных командно-измерительных станций для сокращения длительности «глухой» зоны достоинствами является увеличение зон радиовидимости, возможность проведения дополнительных сеансов связи с КА; недостатками – существенные затраты на введение в контур управления дополнительных наземных станций;

2. подключение спутников-ретрансляторов.

достоинства: обеспечение двусторонней связи с КА в любой момент времени.

недостатки: на существующих КА, управляемых из ЦУП не установлено оборудование для связи со спутником-ретранслятором. На перспективных КА подобное оснащение потребует дополнительных затрат.

3. повышение автоматизации процессов управления для снижения ошибок оператора, т.е. минимизации человеческого фактора;

4. часть задач, решаемых на НКУ перенести на БКУ.

Управление КА тесно связано с анализом состояния бортовых систем. Поэтому организовать управление необходимо таким образом, чтобы на каждом этапе была возможность: проводить анализ состояния; прогнозировать поведение системы и определять возможность переходов в новые состояния; осуществлять планирование с учетом возможных нарушений плана; вырабатывать информацию для требуемых управляющих воздействий.

В статье рассматривается необходимость повышения автоматизации и эффективности не только процесса управления, но и анализа состояния бортовых систем космического аппарата, предложены пути повышения автоматизации. Представлены теоретические методы расчета некоторых важных показателей, оценивающих эффективность комплекса управления.

ТЕХНОЛОГИИ ANSYS SCADE&SIMPLORER ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ СЛОЖНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*А.Ю. Бурков, М.Б. Насыров,
ООО «АНСИС», г. Москва*

Традиционные методы разработки и валидации сложных встраиваемых систем (написание технического задания, описание требований, построение функциональных схем в различных графических редакторах, ручные кодирование и верификация и т. п.) являются трудоемкими, низкоэффективными и требуют значительных затрат, особенно с учетом необходимости выполнения всех требований стандартов и прохождения сертификации.

Основные промышленные стандарты по функциональной безопасности определяют все этапы разработки ответственных систем и их последовательность.

При «ручном подходе», согласно классической V-образной модели жизненного цикла, на основе требований создаются компоненты системы (физические и программные), после чего следуют этапы валидации и верификации. Это требует значительных затрат для выполнения прототипирования и подготовки испытательных образцов проектируемой системы.

Разработка программных компонентов (программного обеспечения) также связана с существенным расходом ресурсов компании-разработчика. Также как и для любой компоненты разрабатываемой системы, поздняя валидация и верификация (выявление несоответствия заявленным требованиям), приводят к резкому увеличению затрат и проблемам с заказчиками. В то же время, раннее выявление несоответствий позволяет сэкономить ресурсы и повысить имидж предприятия.

В современном мире одним из наиболее эффективных методов проектирования и разработки систем, признан модельно-ориентированный подход. Подобная технология позволяет повысить эффективность труда разработчиков, автоматизировать ряд этапов и сократить затраты на валидацию, верификацию и сертификацию всей системы.

Технологии ANSYS SCADE и ANSYS Simplorer являются ярким примером применения модельно-ориентированного подхода к разработке сложных систем.

Данные технологии ориентированы на построение эффективных процессов в соответствии с промышленными стандартами и обеспечение надежности разрабатываемых систем. Предлагаемый набор технологий охватывает весь жизненный цикл разрабатываемой системы: от

проектирования и разработки компонент, до моделирования всей системы.

Генераторы кода и документации, входящие в комплекс SCADe, являются сертифицированными/квалифицированными согласно основным международным промышленным стандартам, в частности DO-178C и ссылающемуся на него ECSS Q80. Это гарантирует полное соответствие генерируемых кода и документации разрабатываемым моделям и позволяет существенно сократить затраты (ресурсов и времени) на разработку ПО и на подтверждение его надежности.

ANSYS Simplorer позволяет выполнить совместное моделирование мульти-физических компонент и разработанных управляющих алгоритмов. Это является эффективным методом валидации системы.

Технологии ANSYS SCADe и Simplorer оптимально подходят для разработки таких систем, как: системы управления полетом, навигационные системы, бортовые системы жизнеобеспечения, системы наземных пунктов контроля, системы корректировки орбиты.

С помощью модельно-ориентированного подхода, реализованного в ANSYS SCADe при разработке бортового ПО удастся значительно снизить затраты на разработку и сопровождение за счет простоты функциональных спецификаций и архитектуры, удобства обмена информацией между разработчиками, сертифицированной генерации кода и отчетной документации. SCADe Simplorer позволяет разработать модели физических компонентов и выполнить моделирование всей системы в единой среде.

ОТДЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ СИЛОВЫХ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АПАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.Р. Мкртычян, Н.И. Башкеев, Д.И. Акашев,
Е.О. Андрюшин, А.В. Коноплев, В.В. Чудаков,
Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт командных приборов»,
г. Санкт-Петербург*

Силовой гироскопический комплекс (СГК) предназначен для создания управляющих моментов, обеспечивающих заданную ориентацию малоразмерных космических аппаратов (МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

В настоящее время в АО «НИИ командных приборов» проведены опытно-конструкторские работы по созданию СГК для МКА со значениями кинетических моментов (КМ) $1 \div 5 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ в рамках работ по Госконтракту с Роскосмосом и договору с головной организацией.

Основными проблемными вопросами создания такого класса СГК являются:

- 1) минимизация массы СГК при требуемом уровне КМ.
- 2) минимизация потребляемой мощности СГК.
- 3) обеспечение ресурса СГК (60000 ч), при частоте вращения ротора гиromотора (ГМ) – 20000 об/мин.

СГК состоит из силового гироскопического прибора (СГП) и электронного прибора (ЭП). При проектировании СГП СГК с целью поиска возможных решений проблемных вопросов были рассмотрены различные варианты построения СГП. В части опоры ротора ГМ: ГМ с шарикоподшипниковой опорой (ШПО); ГМ с газодинамической опорой (ГДО) и ГМ с электромагнитной опорой.

Вариант с электромагнитной опорой ротора ГМ был признан неконкурентоспособным в силу несоизмерно больших массовых и энергетических расчетных характеристик ГМ.

Вариант ГМ с ГДО ротора более сложен в реализации в силу необходимости проведения большого объема научно-экспериментальных работ, направленных на решение проблем потребляемой мощности, обеспечения характеристик при заданных разбросах температур, стабильности в течение заданного ресурса при большой массе ротора ГМ.

В качестве основы для СГП выбран вариант ГМ с ШПО ротора с числом оборотов 20000 об/мин, который базируется в значительной степени на более чем 30-летних испытаниях десятков ГМ с одноразовой закладкой смазки на фактический ресурс 20 и более лет в АО «НИИ командных приборов».

В части способа закрепления ГМ в СГП и оптимизации массы СГП были рассмотрены: вариант консольного закрепления ГМ и вариант с расположением ГМ между двух ШПО.

Разработанный вариант СГП с консольным закреплением ГМ существенного выигрыша в массе не имел. Ухудшенный съем тепла с высокооборотистого ГМ и значительное увеличение нагрузок на ШПО подвеса СГП (из-за одноопорного крепления ГМ) предопределили дальнейшее использование варианта с установкой ГМ между двух ШПО. С целью снижения массы и улучшения динамических характеристик СГК был выбран безредукторный вариант исполнительного электропривода (ИЭП), предназначенный для вращения подвеса ГМ.

При проектировании ЭП СГК с целью обеспечения габаритно-массовых и мощностных характеристик были приняты следующие основные не стандартные для разработок СГК АО «НИИ командных приборов» технические решения:

- 1) Совмещены в один блок блоки измерителя углового положения и управления двигателем ИЭП;
- 2) Совмещены в один блок оконечное устройство, отвечающее за обмен по МПИ с БВУ МКА, и блок управления двигателем ГМ;
- 3) Дублированный блок контроля (БК), предназначенный для приема и обработки релейных программ и преобразования напряжений питания, выполнен в виде одной платы, на которую установлены наиболее теплонагруженные ЭРИ блоков БУД, БУП, и приклеенной на основание ЭП, в обеспечение лучшего теплоотвода;
- 4) Связь блоков осуществляется с помощью разъемов (без использования жгутов).

Найденные технические решения были применены при разработке двух малых СГК с $KM = 3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ (изделие 402НП21) и $KM = 5 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ (изделие СГК-5).

В настоящее время, с целью обеспечения эксплуатации малого СГК на орбитах до 2000 км, запланированы работы по повышению стойкости СГК к воздействию ионизирующих излучений космического пространства.

СЕКЦИЯ 2.2.

СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**ASTRO APS STAR TRACKER PERFORMANCE ON SENTINEL-2A
(ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК ASTRO APS – РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ В
ШТАТНОМ РЕЖИМЕ НА КА «СЕНТИНЕЛ-2А»)**

*U. Schmidt, B. Pradarutti, J. Ehrich,
Jena-Optronik GmbH, Otto-Eppenstein Strasse 3, 07745 Jena, Germany*

The ASTRO APS star tracker is an autonomous 3-axis attitude measurement sensor and currently the state of the art ASTRO-series star tracker product of Jena-Optronik GmbH.

The first in-orbit introduction of ASTRO APS was in July 2013 with Alphasat. After 2.5 years of in-orbit operation no performance degradation can be identified based on the regularly received data packages. On board of the Sentinel-2A spacecraft, specifically designed by AirbusDS as prime contractor for the operational needs of the Copernicus program, 3 ASTRO APS star trackers have been launched on the 23rd of June 2015. Sentinel-2A is a 3-axis stabilized Earth observation spacecraft operating on a 716.42 km near polar frozen Sun-synchronous orbit with 98.62 deg inclination. Jena-Optronik received from that mission a comprehensive data package in order to characterize the star tracker performance under the typical environmental conditions of a low Earth orbit. In contrast to the geo-synchronous operations at 36,000 km height the star trackers will be faced to a permanent orbit angular rate of 0.06 deg/sec as well as to the typical dynamical conditions such like solar panel controls and steering maneuvers. For a full accuracy xyz-axis attitude control two star trackers in operation are necessary with a significant angular separation. A third star tracker is typically held in standby. Due to the close attachment of the star tracker platform to the Sentinel-2A main instrument the thermal contact between the trackers and their spacecraft mounting plane was reduced to a minimum. The majority of the star trackers thermal dissipation needs to be managed by radiation only. For that reason the thermal design of the Sentinel-2A star trackers was modified in terms of thermally conductive baffles and individual radiators per star tracker unit. The in-orbit data received contain the temperature telemetry, the attitude quaternions and angular rate measurements. These data are complete for nearly 3 orbits with 10 Hz update rate and are fully synchronous for the two operational star trackers. This allows reducing the superimposed spacecraft motion dynamic from the star tracker quaternion data, getting finally the isolated single star tracker total attitude random error

which contains the temporal error and the high-/low spatial frequency errors. Beside that unique data evaluation capability, having synchronous data from two units, the standard methods for star tracker in-orbit performance characterizations have been applied. With these on-orbit data evaluations it could be shown that the ASTRO APS star trackers on Sentinel-2A operate within the specification limits and that the challenging radiative thermal control works as expected. This paper summarizes the most interesting results of the data evaluation with the corresponding discussions and assessments.

Currently Jena-Optronik GmbH is also involved in a procurement of 10 flight models ASTRO APS for VNIIEМ Corporation. The spacecraft “Kanopus B-1K” will be the first Russian remote sensing satellite equipped with star sensors from Jena.

СИСТЕМНЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ СОЗДАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А.И. Груздев, Г.А. Жемчугов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

В последнее десятилетие малые космические аппараты (КА) дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) получили преимущественное развитие по сравнению с крупногабаритными космическими аппаратами. Срок их активного существования во многом определяется характеристиками системы электроснабжения (СЭС) и, прежде всего, энергоемкостью и надежностью работы аккумуляторной батареи (АБ). В настоящее время развитие СЭС КА связано с отказом от АБ с никель-кадмиевыми и никель-водородными аккумуляторами и использованием имеющих существенно большую удельную энергоемкость литий-ионных АБ.

Исторически сложилось, что ведущие зарубежные фирмы для использования в КА разрабатывают литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) относительно большой емкости: Qualion (США) 15 и 75 А·ч; Yardney (США) 7 – 55, 350 А·ч; SAFT (Франция) 39 – 50 А·ч, GS Yuasa (Япония) 50 – 175 А·ч. Номенклатура единственного российского производителя

ЛИА космического назначения также ограничена емкостями 25, 50 и 120 А·ч. Большинство указанных выше фирм строит свои АБ из одной или нескольких параллельных цепочек последовательно соединенных единичных аккумуляторов.

Однако для низковольтных батарей малых КА, емкость которых обычно не превышает нескольких десятков ампер·часов, применение ЛИА большой емкости приводит к частичной или полной потере их работоспособности при отказе хотя бы одного ЛИА. При этом использование для парирования отказа аккумуляторов байпасных устройств связано с определенными трудностями из-за значительного снижения напряжения АБ, необходимости использования работающих по относительно сложным алгоритмам электронных устройства контроля и управления работой и увеличением массы АБ.

Для малых КА фирма SAFT разработала цилиндрические ЛИА емкостью 4,5 А·ч. Соединяя эти аккумуляторы по последовательно-параллельной схеме она производит параметрический ряд АБ с напряжением от 25 до 40 В и емкостью от 13,5 до 35 А·ч. Защита от отказов ЛИА (потеря емкости, короткие замыкания или повышенный саморазряд, перегрев), в этих АБ построена на использовании встроенных в аккумулятор механических одноразовых размыкателей (брейкеров), которые при перезаряде срабатывают и размыкают силовую цепь цепочки из последовательных ЛИА, полностью исключая ее из работы. При этом работоспособность АБ сохраняется при пониженной емкости.

Аналогичную электрическую конфигурацию для построения АБ КА использует и фирма ABSL (Англия). Однако она использует индустриальные цилиндрические литий-ионные аккумуляторы 18650НС емкостью 1,5 А·ч. В этих аккумуляторах фирмы Sony также имеется брейкер, срабатывающий при соответствующем повышении его внутреннего давления. Работоспособность сконструированных для работы в наземных условиях аккумуляторов при воздействии факторов открытого космического пространства обеспечивается конструкцией АБ. Более чем 10-ти летний опыт эксплуатации АБ фирмы ABSL в космосе, в том числе и на наших КА серии «Канопус», показал возможность и целесообразность применения индустриальных аккумуляторов малой емкости для построения устойчивых к единичному отказу АБ КА. При этом удельная энергоемкость таких АБ достигает 110 Вт·ч/кг, тогда как

у современных литий-ионных АБ для малых КА большинства производителей она менее 100 Вт·ч/кг (например, АБ фирмы SAFT емкостью 25 А·ч в конфигурации 8S6P имеет 84 Вт·ч/кг).

Наши разработки также показали перспективность подхода к созданию высокоэнергоемких АБ с большим сроком службы при работе вне гермоотсека КА, заключающемся в использовании ЛИА габарита 18650 промышленного применения в сочетании с оптимальными конфигурациями АБ. Сегодня благодаря развитию литий-ионных технологий емкость таких аккумуляторов достигает 3 и более А·ч. Соответственно, на их базе можно создавать высоконадежные отказоустойчивые АБ с удельной энергоемкостью более 150 Вт·ч/кг со сроком службы 5 лет и более для низко- и среднеорбитальных КА.

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ*

¹ В.В. Ганченко, ¹ А.А. Дудкин, ¹ Е.Е. Марушко, ² С.Н. Чарин,

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

²НИРУП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси, г. Минск

В докладе рассматривается задача построения нейросетевой модели для прогнозирования значений датчиков корректирующей двигательной установки (КДУ), по поступившей телеметрической информации.

Вследствие тормозящего действия атмосферы космический аппарат постепенно теряет высоту и ускоряется, в результате чего уменьшается орбитальный период и нарушается солнечная синхронность орбиты. Для поддержания космического аппарата в рабочем состоянии необходима постоянная корректировка орбиты как по высоте, так и по наклонению. Данную задачу выполняет КДУ, которая предназначена для выдачи импульсов тяги по командам системы управления космического аппарата. Состояние КДУ описывается набором телеметрических данных: температурные параметры и уровни давления блока подачи ксенона, электрические параметры регулятора расхода, анода и катода двигателей, а также сигнальные параметры режима работы. Данный набор представляет собой многомерный временной ряд, а

* Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (Договор № Ф15М-059).

прогнозирование состояний КДУ сводится к решению задачи прогнозирования данного ряда.

Задача прогнозирования многомерного временного ряда в общем виде формулируется следующим образом: по известному текущему значению последовательности $y(k)$ и некоторой предыстории $y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-m)$ дать оценку следующего значения $\hat{y}(k+1)$. Каждый элемент последовательности $y(k)$ представляет собой набор значений в момент k . Длина предыстории m , которая используется для прогнозирования, называется временным окном. При этом для задачи обучения с учителем формирование пар обучающих примеров <входной вектор, желаемый выходной вектор> осуществляется по принципу скользящего окна: берется отрезок временного ряда (окно) длиной m и из него формируется входной вектор. Значением желаемого выхода в обучающем примере будет следующее по порядку наблюдение. Затем окно сдвигается на одну позицию в направлении возрастания времени, и процесс формирования следующей пары обучающей выборки повторяется.

Широкое распространение для решения задач прогнозирования находит нейросетевой подход, так как он позволяет моделировать зависимости между данными в результате обучения на примерах. При этом эффективность использования нейронных сетей (НС) зависит от архитектурных решений и методов обучения.

В данной работе представлена нейросетевая модель на основе ансамблей нейронных сетей (АНС) для кратковременного прогнозирования телеметрических параметров КДУ. АНС – это набор НС, принимающего решения путем оценки результатов работы отдельных НС.

В предлагаемой модели выходное значение АНС формируется как взвешенная сумма выходов отдельных НС, при этом взвешивание повторяется через определенный интервал обработанных пар обучающих примеров (временных отсчетов) с оценкой по этому набору (динамически взвешиваемый АНС).

В качестве базового элемента АНС используется многослойный перцептрон с одним скрытым слоем с нелинейной функцией активации *гиперболический тангенс*. Обучение одиночной НС осуществляется алгоритмом RPROP. Окно прогнозирования выбрано равным 20 отсчетам.

Эффективность нейросетевой модели прогнозирования может быть

повышена при помощи методов итерационного обучения АНС, которые подразумевают оценку точности всех моделей и их ранжирование по точности на каждой итерации анализа. При понижении суммарной точности АНС производится добавление в ансамбль нового элемента, обученного на релевантных данных, накопленных в процессе функционирования.

Эксперимент показал, что: использование АНС значительно снижает ошибку при прогнозировании по сравнению с одиночной НС; лучшей точностью обладает динамически взвешиваемый АНС с малым шагом повторения взвешивания; наименьшая среднеквадратическая ошибка при прогнозировании ТМИ, формируемой датчиками КДУ, достигается при использовании динамически взвешиваемого АНС с шагом взвешивания 10 и равна $2,75 \times 10^{-4}$.

Описанная нейросетевая модель предоставляет интеллектуальный инструмент решения задач прогнозирования телеметрической информации для разрабатываемого в ОИПИ НАН Беларуси совместно с центром управления полетами белорусского космического аппарата экспериментального образца нейросетевой системы мониторинга состояния подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным.

ОСОБЕННОСТИ НАДЕЖНОСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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

Создание программно-технических систем занимает особое место в процессе разработки функциональных модулей космических аппаратов (КА).

Важно, чтобы программно-техническая система просуществовала как можно больший срок. В условиях современного положения первой особенностью организации работ по обеспечению надежности модулей КА является актуальность обеспечения рационального расходования ресурсов. Возникает задача выработки критерия, определяющего рациональность принимаемой стратегии обеспечения и повышения уровня надежности.

На этапе проектирования закладывается базовый уровень надежности будущей программно-технической системы, вырабатываются конструктивные решения. Второй особенностью надежного проектирования является необходимость оценки критичности влияния на надежность характеристик используемой элементной базы и материалов, компоновки элементов конструкции и интерфейсов их взаимодействия. В качестве важных факторов можно выделить технологичность конструкции и актуальность данных об условиях эксплуатации.

Модульный принцип построения системы и унификация составляющих элементов позволяют повысить уровень надежности разрабатываемого модуля КА за счет разбиения задачи разработки на ряд подзадач и в отдельном порядке уделять внимание конкретному элементу системы. Третьей особенностью проектирования программно-технических средств является необходимость учета системных ограничений, возникающих ввиду сложности совершенствования интерфейсов по сравнению с совершенствованием элемента системы.

Функциональная полнота программных решений сложной системы имеет существенное значение для обеспечения живучести КА. Корректно разработанный информационно-логический проект обеспечивает адаптивность его функциональных модулей.

Перспективным способом обеспечения и повышения надежности является дальнейшее совершенствование информационно-логического проекта, который позволял бы использовать «умные» функциональные модули, включающие в себя специализированные интеллектуальные составляющие.

Часто в расчете надежности КА возникают несоответствия в результатах проектирования, ожидаемых разработчиком. В этой связи актуальна задача корректного распределения требований к уровню надежности, предъявляемым отдельным элементам с учетом системных ограничений.

Для повышения точности математической оценки уровня надежности актуальна задача анализа результатов эксплуатации ранее использованных модулей с целью дальнейшего прогнозирования и статистического анализа; введения рейтинга функциональных блоков для формирования уровня доверия; расширение возможностей и совершенствование методик расчета с целью минимизации погрешности при моделировании; разработка новых более точных математических моделей.

В качестве комплекса перспективных стратегий обеспечения и повышения надежности программно-технических систем КА можно выделить:

- формирования «умных» функциональных блоков с помощью введения их состав специализированной интеллектуальной составляющей;
- дополнение механизмов обеспечения структурной надежности возможностями функционального резервирования;
- разработка информационно-логических решений, совмещающих возможности структурного и функционального резервирования разрабатываемой системы;
- разработка математического аппарата, позволяющего оперировать функциями в качестве входных переменных.

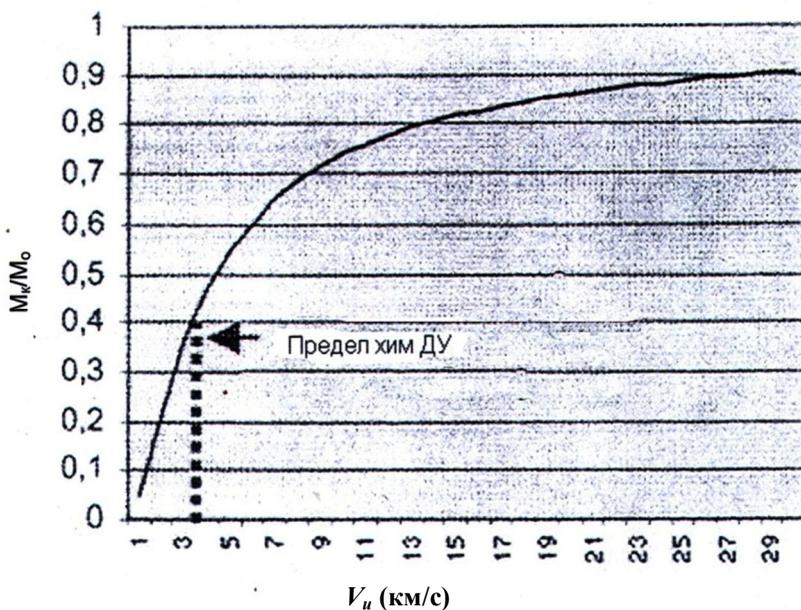
ЭРДУ В ЗАДАЧАХ ГРУППОВОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ И МАНЕВРИРОВАНИЯ КА

*В.П. Ходненко,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
г. Москва*

Хорошо известное выражение, названное формулой К.Э. Циолковского, представляет зависимость конечной массы космического аппарата (КА) M_k от начальной M_o , эффективной скорости истечения рабочего тела V_u и достигнутого приращения скорости ΔV :
$$\frac{M_k}{M_o} = e^{-\Delta V/V_u}$$

На рисунке показана доля конечной массы КА в зависимости от скорости истечения рабочего тела (р.т.) V_u .

Большая скорость истечения, характерная для электроракетных двигателей (ЭРД) позволяет осуществлять орбитальные маневры с гораздо меньшими расходами топлива, чем в случае обычных реактивных двигателей (в частности, ЖРД).



Доля конечной массы КА в зависимости от V_u для $\Delta V = 3$ км/с

Время, необходимое для выполнения заданного орбитального маневра с ЭРД, связано с ограниченной располагаемой мощностью и обычно много больше, чем время, необходимое для маневров с помощью обычных реактивных двигателей. Последние по существу ограничены по энергии, а не по мощности. Однако, в часто встречающихся случаях может потребоваться увеличение конечной полезной нагрузки даже ценой затраты большого количества времени для проведения маневра.

ЭРДУ с ядерной или солнечной энергетической установкой (ЭУ) может быть применима в ряде важных операций космических программ. В этом случае ЭРДУ, по сравнению с использованием перспективных химических двигателей, позволяет увеличить полезную нагрузку (ПН). ЭРДУ с солнечной ЭУ дает возможность КА опускаться на низкие орбиты (вплоть до 200 км) без неблагоприятных политических и экологических последствий, связанных с применением ядерных ЭУ.

В работе рассматриваются две основные задачи:

1) Развертывание на рабочей орбите группировки КА с необходимой суммарной массой полезной нагрузки.

2) Обеспечение относительно большого числа маневров с целью дезориентации противника при возникновении опасности нападения.

Групповое развертывание характеризуется необходимым числом носителей и полным временем развертывания, которые зависят от массы КА, типа ракеты-носителя (РН), применяемой ДУ и временем между запусками. Орбитальное маневрирование зависит от начальной массы КА, числа маневров и необходимого приращения скорости ΔV .

Проведенный анализ показал, что использование современных ЭРДУ на базе стационарных плазменных (СПД) и ионных (ИД) двигателей может заметно уменьшить число запусков и время развертывания группировки КА, по сравнению с применением химических ДУ.

Число запусков, требуемых для развертывания группы из 25 КА, массой 500 кг каждый, может уменьшиться почти вдвое при применении ЭРДУ вместо перспективных химических ДУ (за счет сокращения потребного запаса р.т.)

Уменьшение числа РН вдвое, позволит почти на 40 % сократить время развертывания группировки КА.

Применение ЭРДУ с ИД для продолжительного маневрирования (в количестве более 150) требует электрическую мощность не менее 5 кВт, а ЭРДУ с СПД имеет большие возможности осуществить маневрирование даже при меньшей мощности (порядка 3,5 – 4 кВт).

ЛИТИЙ-ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*А.В. Хромов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Аккумуляторная батарея (АБ) является одним из основных элементов системы электропитания космического аппарата (КА), от её надежного функционирования прямо зависит продолжительность эксплуатации КА по назначению. В полете батарея низкоорбитального КА подвергается одному зарядно-разрядному циклу на каждом витке орбиты, что при типичном сроке активного существования таких КА 5 лет обуславливает требование к ресурсу АБ не менее 30 тыс. циклов

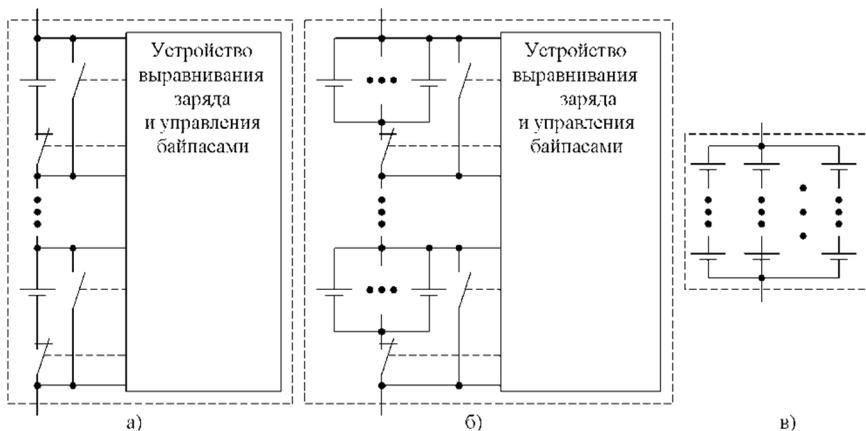
при глубине разряда порядка 20%. В настоящее время завершился переход от никель-кадмиевых и никель-водородных космических аккумуляторных батарей к батареям литий-ионной электрохимической схемы, все перспективные отечественные и зарубежные КА оснащаются АБ данного типа.

Традиционным способом построения никель-кадмиевых и никель-водородных АБ является последовательное соединение аккумуляторов номинальной ёмкости до достижения необходимого напряжения батареи, первые литий-ионные АБ были построены по аналогичной схеме (см. рис. 1а). Ввиду недопустимости перезаряда и переразряда литий-ионного аккумулятора, в составе такой батареи необходимо применение устройств выравнивания заряда между аккумуляторами, и (зачастую) байпасных переключателей, предназначенных для исключения отказавшего аккумулятора из силовой цепи батареи.

Для исключения необходимости создания нового аккумулятора (включая дорогостоящую отработку) при изменении требований к ёмкости АБ, фирма SAFT (Франция) создает батареи параллельно-последовательной структуры, когда параллельно соединенные цилиндрические аккумуляторы образуют пакет, а последовательно соединенные пакеты составляют батарею необходимого напряжения (см. рис. 1б). При данной структуре АБ также необходимо применение устройств выравнивания и байпасных переключателей. Недостаток параллельно-последовательной структуры батареи – наличие сложной электроники АБ, а также необходимость корректировки алгоритма заряда АБ в зависимости от количества сработавших байпасов.

Альтернативным подходом является применение АБ последовательно-параллельной структуры, в которой последовательно соединенные аккумуляторы малой (1,5...4,5 А·ч) ёмкости образуют цепочку, а при помощи параллельного соединения цепочек получается аккумуляторная батарея (см. рис. в). Для комплектации батарей фирма ABSL (Великобритания) использует цилиндрические аккумуляторы US18650HC от фирмы Sony, а SAFT – аккумуляторы VES16 собственного производства. Изменением количества цепочек может быть получена необходимая ёмкость батареи. В составе аккумуляторов батарей данной структуры имеется механический предохранитель. В случае перезаряда или перегрева аккумулятора происходит разложение материала катода, повышение давления, изгибание специальной мембраны

и срабатывание предохранителя. В результате происходит необратимый разрыв цепочки. Для защиты от срабатывания предохранителя при импульсных нагрузках аккумулятор оборудован элементом с положительным температурным коэффициентом сопротивления. Ввиду наличия защиты на уровне аккумулятора, батареи с последовательно-параллельной структурой эксплуатируют без защитных байпасов, а также без устройств контроля и выравнивания.



Схемы построения космических литий-ионных АБ

а — последовательное включение аккумуляторов номинальной емкости, б — параллельно-последовательная структура, в — последовательно-параллельная структура

УНИФИКАЦИЯ АППАРАТУРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*В.Е. Никифоров,
Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН),
г. Москва, г. Троицк*

С развитием космической техники, в том числе космических систем дистанционного зондирования Земли, происходит стремительное развитие разработок в области автономной энергетики. Об этом

свидетельствуют появление перспективных энергоэффективных генераторов и накопителей электроэнергии, в частности, многокаскадных арсенид-галлиевых фотоэлектрических преобразователей, литий-ионных аккумуляторов. Повышаются характеристики силовой, измерительной и интеллектуальной электронной элементной базы. Появляются новые материалы, конструктивные и технологические решения, повышается эффективность и надежность ЭРИ. Это не только выводит автономную энергетику на более высокую ступень развития, но и предъявляет новые, более высокие технические и эксплуатационные требования к аппаратуре регулирования и контроля (АРК), ее элементам, требует решения современных и перспективных, в том числе интеллектуальных задач управления и контроля по обеспечению энергобаланса, экстремального регулирования мощности, нивелирования разбаланса аккумуляторов, а также решения общесистемных задач комплексирования, оптимизации и согласования режимов функционирования подсистем, составных частей и элементов систем электроснабжения (СЭС).

Учитывая многообразие типов КА, их орбит, разнородность служебных и целевых энергопотребителей, унификация и модульность элементов аппаратуры регулирования систем электроснабжения СЭС являются актуальными.

Задача создания высокоэффективных унифицированных интеллектуальных блоков АРК для автономных систем электроснабжения КА с длительным ресурсом на основе перспективных источников энергии состоит в комплексировании в едином многофункциональном блоке силовых преобразователей мощности, генератора электроэнергии (солнечной батареи) и буферного накопителя (литий-ионных аккумуляторных батарей), силовых цепей коммутации, защиты и распределения, сервисных устройств нивелирования разбаланса, интеллектуального модуля контроля и управления, модуля телеметрии. Внутриблочные силовые и информационные связи между составными частями, узлами и модулями осуществляются по соответствующим силовым и информационным шинам. Подключение к блоку АРК измерительных и информационных цепей солнечных и аккумуляторных батарей, цепей нагрузки и телеметрии производится посредством соответствующих электрических соединителей.

При проектировании универсальной СЭС необходимо создание универсальных блоков аппаратуры регулирования и контроля, состоящих из унифицированных функциональных модулей (УФМ), обеспечивающих силовое и информационное взаимодействие подсистем генерирования, аккумуляирования и распределения СЭС в рамках параллельной, последовательной, параллельно-последовательной структур СЭС с непрерывным и дискретным регулированием. При этом, с учетом эксплуатационных особенностей СЭС, возможна замена в блоке АРК для конкретной СЭС отдельных типов УФМ (например, вместо модуля регулятора избыточной мощности параллельного типа УФМ РИМ возможна установка модуля экстремального регулирования мощности УФМ ЭРМ), установка УФМ другой мощности, установка нескольких однотипных УФМ, резервирование УФМ, и т. д.

Интегрирующие функции между унифицированными функциональными модулями АРК, осуществляет модуль интеллектуальной системы управления и контроля СЭС (модуль СКУ), связывающий цепи управления и регулирования основных подсистем, элементов и модулей СЭС, позволяющий осуществлять автономную эксплуатацию СЭС и их составных частей в течении всего срока активного существования КА. Модуль системы управления и контроля также позволяет, путем вариации количественного состава унифицированных функциональных модулей (УФМ), входящих в состав АРК, максимально гибко подходить к вопросу изменения выходных энергетических характеристик системы в зависимости от конкретных требований энергопотребителей (величины выходной мощности, уровня и качества выходного напряжения, времени автономной работы, глубины резервирования и т. д.).

Модуль СКУ обеспечивает управление УФМ АРК, включая модули генераторов электроэнергии – секционированных солнечных батарей МСБ, модули аккумуляторных, в частности, литий-ионных батарей МАБ, модули зарядных преобразователей МЗУ, модули разрядных преобразователей постоянного и переменного тока МПР=, МПР≈, модули распределения, коммутации, и защиты МКРЗ, модули включения и инициализации космических аппаратов МКО, модуль телеметрической информации МТИ, и т. д.

В итоге обеспечивается возможность создания на основе интеллектуального блока АРК и перспективных источников энергии универсальных автономных СЭС для низкоорбитальных и геостационарных КА различного назначения в широком диапазоне мощностей: от единиц, десятков и сотен Вт до единиц, десятков и сотен кВт, используя однотипные унифицированные узлы и функциональные модули УФМ в составе АРК с возможностью наращивания мощности. Унификация технических и конструктивных решений АРК совместно с перспективными источниками энергии позволяет максимально гибко подходить к созданию на их основе интеллектуальных энергетических систем и комплексов по единой технологии, что в итоге снижает сроки и затраты на их создание и уменьшает себестоимость конечного продукта.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*Ю.А. Кремзуков, В.М. Рулевский, А.Г. Юдинцев М.Н. Цветков,
Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники «НИИ АЭМ ТУСУР»,
г. Томск*

Проведенный анализ показывает, что испытания космических аппаратов (КА) и их служебных систем на всех этапах производства – являются важной задачей создания высококачественной космической техники. Современные мировые тенденции развития перспективных КА направлены на увеличение эффективности и ресурса бортовой аппаратуры и КА в целом.

Постоянно растущие мощность бортового электрооборудования и срок активного существования, предъявляют новые требования к повышению надежности энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) КА, что в свою очередь привело к необходимости решения новых задач по созданию современного наземного испытательного оборудования.

В результате решения данных задач создан класс инструментов, применяемых, как в наземных испытаниях КА, так и в процессе отлад-

ки новых инженерных и технологических решений.

На протяжении многих лет полная физическая имитация технических характеристик бортовых источников энергии заменяется имитационно-физическим моделированием, при котором отдельные компоненты системы электропитания КА заменяются эквивалентами (имитаторами).

Для реализации метода имитационно-физического моделирования применяется единый испытательный автоматизированный комплекс (ИАК) функционального контроля, имитации энергоснабжения и нагрузок ЭПА КА. ИАК представляет собой многофункциональную систему, выполненную в виде отдельных законченных устройств (см. рис.).

Разработан испытательный автоматизированный комплекс для измерения и функционального контроля параметров энергопреобразующей аппаратуры космического аппарата позволяющий осуществлять полный комплекс наземных испытаний, а также экспериментальную проверку с применением имитационного оборудования.

Имитаторы энергопреобразующей аппаратуры входящие в состав автоматизированного комплекса позволяют с требуемой точностью воспроизвести характеристики устройств в реальном масштабе времени, при существенно меньших финансовых и временных затратах, провести имитацию многократного изменения режимов функционирования элементов системы энергообеспечения космического аппарата.

Современные средства вычислительной техники в совокупности с разработанным специальным программным обеспечением позволили существенно сократить сроки испытаний энергопреобразующей аппаратуры космического аппарата, уменьшить влияние человеческого фактора, повысить качество и надежность исследуемой системы.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*А.П. Ковалев, А.А. Карасев, И.И. Чупринский, В.А. Точилов, С.М. Обросов,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе»,
г. Санкт-Петербург*

В настоящее время достижения в науке и технике оказывают огромное влияние на изменение взглядов инженеров-конструкторов в

подходе к разработке электрических схем космических аппаратов (КА) нового поколения.

Изменение этих взглядов вызвано, во-первых, тем, что большинство современных перспективных КА конструктивно выполняются в негерметичном исполнении, то есть бортовая аппаратура (БА) размещается на конструкции без использования герметичного контейнера, который традиционно использовался КА предыдущих поколений. Во-вторых, БА КА нового поколения разрабатывается с применением современных логических и коммутационных элементов электроники, которые пришли на смену электромагнитным элементам коммутации и формирования логических схем, широко используемых в приборах предыдущих поколений КА.

Успехи в разработке новых конструкционных и электротехнических материалов тоже в значительной степени повлияли на изменение этих взглядов.

Далее постараемся продемонстрировать эти влияния на изменение облика электрических схем КА. В основном эти изменения будут касаться построения общей электрической схемы КА, то есть они будут рассматриваться с позиции головного разработчика КА.

Разделим условно электрические связи между БА КА на следующие виды: связь по электропитанию; информационно-логические; командные; телеметрические; технологические. Рассмотрим некоторые из них.

Связи по электропитанию БА КА с системой электроснабжения (СЭС) в настоящее время имеют тенденцию к исключению в них коммутационных элементов, используемых ранее в приборах распределения питания от СЭС к потребителям КА.

При необходимости коммутации этих цепей, используются внутренние коммутаторы потребителя электроэнергии, которые, обычно, располагаются на входе его цепей питания. Это позволяет разработчику БА, как потребителю электроэнергии, наиболее рационально выбрать тип коммутатора для этих цепей, а также организовать защиту цепей СЭС от перегрузок по току при этой коммутации или при отказах в схеме БА, расположенной за коммутатором.

Учитывая высокую степень использования в схемах управления систем и приборов БА элементов вычислительной техники (процессоров, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и т. п.), большинство информационно-логических связей БА с бортовым вычислительным комплексом (БВК) и между блоками внутри систем выполняются с использованием магистралей кодового обмена (МКО, SpaceWire, Ethernet). Как правило, при этом используется последова-

тельный интерфейс, у которого линии передачи информации (ЛПИ) выполняются по двухпроводной схеме.

Это позволяет избавиться от большого числа проводных связей, которые использовались БВК для централизованного опроса датчиков текущего состояния БА (модулей индикаторов, сигналов БА на систему прерывания и т. п.) и в схемах прошлого поколения КА. Теперь эту задачу проще выполнять приборами автоматики систем или непосредственно средствами БА, не обращаясь для этого к БВК.

Релейные команды управления, типа сухой контакт, из блоков выдачи команд управления (БВКУ) БВК или из матриц командно-измерительной системы (КИС) используются теперь также крайне редко. Вместо этого, управляющие воздействия, формируемые аппаратурой БВК, выдаются на исполнение в БА КА по МКО в цифровой форме. Трансформация их в релейный вид, при необходимости, проводится непосредственно в принимающей их аппаратуре. При необходимости, эти команды далее передаются из этой БА на исполнительные элементы. При этом коммутируемый ими элемент будет иметь требуемые параметры, сокращая числа их повторителей в пути от генератора до исполнителя. Число релейных команд КИС стремятся также свести к рациональному минимуму, ограничивая их номенклатуру «особо важными командами», число которых, обычно, не больше десяти.

При таком подходе к реализации электрической схемы КА количество и, следовательно, масса этого типа проводных цепей может быть в значительной степени уменьшена, т.к. блоки управления системой (либо блоки автоматики системы) можно территориально располагать вблизи исполнительных органов системы, а матрицу транслятора команд значительно сократить (либо вовсе от нее отказаться).

Дополнительно, это позволяет снизить степень взаимовлияния БА по названным цепям, т.к. в этом случае прокладка их в общих кабельных жгутах практически исключается или имеет ограниченную длину. Кроме того, цепи линий передачи информации (ЛПИ) в МКО имеют высокую степень экранирования от электромагнитных полей.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ МАЛОГАБАРИТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*А.Б. Русскин,
АО «ВНИИЭМ», г. Истра*

Система обеспечения теплового режима (СОТР) космического аппарата (КА) включает в себя совокупность бортовых устройств и элементов конструкции и предназначена для обеспечения требуемого температурного режима КА. В общем случае в состав СОТР входят как средства активного регулирования теплообмена и переноса теплоты, так и средства пассивного терморегулирования (конструктивные элементы, покрытия, теплозащита). Система активного терморегулирования является наиболее важной и сложной частью системы обеспечения теплового режима на борту КА. В нее входят датчики, контролирующие температуру в определенных точках КА, электронные блоки управления и автоматического регулирования, а также исполнительные устройства, обеспечивающие либо рассеивание избыточного тепла, либо подвод недостающей тепловой энергии.

При термостабилизации отдельных областей КА за счет использования электрических нагревателей система активного терморегулирования выглядит следующим образом. В зоне терморегулирования устанавливаются термодатчики для замера температуры и нагреватели электрического типа, обеспечивающие преобразование подводимой электрической энергии в тепловую. Они подключаются к устройству автоматического регулирования и управления нагревателями. В качестве данного устройства может служить как отдельно стоящий блок с множеством каналов управления, так и реализация его функций на базе бортовой вычислительной машины. Недостатками данной архитектуры построения системы терморегулирования являются: необходимость наличия разветвленной кабельной сети, обеспечивающей связь термодатчиков, нагревателей и блока управления; концентрация функции управления всеми каналами нагревателей в едином блоке, выход из строя которого отключает всю систему терморегулирования; при реализации на базе бортовой вычислительной машины занятие ее ресурсов на выполнение алгоритмов контроля и автоматического регулирования.

В данной работе предлагается альтернативный подход в построении системы управления нагревателями космического аппарата, основанный на децентрализации функции управления нагревателями и использования отдельных компактных независимых модулей контроля температуры и включения нагревателей. Каждый модуль позволяет проводить измерение температуры, а также проводит включение и от-

ключение нагревателя в зависимости от значений температурных уставок, хранящихся в энергонезависимой памяти. Он построен на базе программируемого цифрового термометра с EEPROM, функцией термостата и трехпроводным последовательным интерфейсом 5019ЧТ1Т. Для связи с бортовыми вычислительными системами предусмотрен последовательный интерфейс RS-232, с помощью которого возможно получение данных о текущей температуре, а также управление функциями модуля контроля температуры.

ШИРОКОЗАХВАТНАЯ МНОГОСПЕКТРАЛЬНАЯ АППАРАТУРА СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЗЗ

*С.А. Архипов,
ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск*

Широкозахватная многоспектральная аппаратура среднего разрешения (ШМАСР) разработана ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» совместно с АО «РКЦ «Прогресс» и ОКТБ «Омега» по техническому заданию Роскосмоса в рамках ОКР «Прибор-ШМАСР». ШМАСР предназначена для панхроматической и мультиспектральной съемки поверхности Земли в режиме «push broom» и должна обеспечивать получение информации дистанционного зондирования Земли (ИДЗЗ) в составе перспективного космического комплекса.

Выбор оптимальных схемных и схемно-конструктивных решений ШМАСР выполнен для базовой орбиты функционирования 700 км. Диапазон изменения настроечных параметров аппаратуры обеспечивает её функционирование в диапазоне высот (450 – 1000) км и углов визирования до $\pm 15^\circ$ по крену и тангажу. В таблице приведены основные характеристики аппаратуры.

В состав ШМАСР входят: система оптико-механическая (СОМ), система управления; система приема и преобразования информации (СППИ), звездные датчики; специальное бортовое и наземное программное обеспечение.

СОМ строится на основе зеркально-линзовой эксцентричной схемы, обеспечивающей общий входной зрачок для всех каналов, меньшую дисторсию и более высокую технологичность (все оптические

компоненты сферические, за исключением первого зеркала) в сравнении с аналогом – трехзеркальной схемой Кука. В оптической системе использовано спектроразделение апертурного пучка и масштабирование фокусного расстояния для КИК канала, что обусловлено необходимостью согласования заданного в ТЗ соотношения пространственного разрешения в спектральных каналах (5/10/20) м и соотношения размеров элементов дискретизации (9/18 /25) мкм приемников изображения.

Основные технические характеристики ШМАСР

Параметр:	Значение
Полоса захвата, км	120
Проекция пиксела, м	
панхроматический (ПХ) канал	5
мультиспектральный (МС) каналы	10
коротковолновый ИК (КИК) канал	20
Рабочие спектральные диапазоны, мкм	
ПХ и МС каналы (8 шт.)	0,45– 0,96
КИК канал	1,55 – 1,70
Отношение сигнал/шум	
ПХ канал	320
МС каналы	450
КИК канал	500
Среднеквадратическая погрешность определения элементов внешнего ориентирования, угл. с.	5,0
Среднеквадратическая погрешность аттестации элементов внутреннего ориентирования, угл. с.	2,0
Среднеквадратическая погрешность измерения эффективной интегральной яркости на входном зрачке, %	5,0
Масса, кг	180
Габариты, мм	1000×600×1500
Энергопотребление, Вт	200

Для ПХ и МС каналов разрабатываются два типа крупноформатных многоспектральных фотоприемных модулей «Комби», (НПП «ОПТЭКС», ЗАО НПП «Элар») содержащих по 5 фотозон (1ПХ+4МС), что позволяет сформировать в фокальной плоскости две панхроматических фотозоны, с длиной строки 24144 элемента и 8 спектральных фотозон с длиной строки 6072 элемента.

В КИК канале использованы два крупноформатных фотоприемных устройства XLIN-1.7-3000 (Xenics, Бельгия), что позволяет сформировать в фокальной плоскости КИК канала фотозону формата (6020×1) элементов.

Силовая схема размеростабильной несущей конструкции СОМ из углепластика типа КМУ-4Л представляет собой замкнутую плоскую раму. На раме с помощью кронштейнов закреплены оптические элементы (облегченные зеркала и линзовые компенсаторы), образующие объектив. Объектив закрывает тонкостенная оболочка из алюминиевого сплава, обеспечивающая его свето-теплозащиту и выравнивание температурного поля, с использованием датчиков и нагревателей системы термоградиентной стабилизации.

СУ ШМАСР выполняет следующие функции: командно-информационный обмен с аппаратурой управления целевым комплексом перспективного космического аппарата (КА); прием напряжения питания от системы электроснабжения КА; токовая защита ШМАСР от перегрузок; командно-информационный обмен по мультиплексному каналу с СППИ и звездными датчиками; коммутация напряжения по электронным блокам ШМАСР; реализация циклограмм режимов ШМАСР; парирование нештатных ситуаций.

СУ ШМАСР строится по блочному принципу и состоит из блока управления с центральным процессором, который взаимодействует по интерфейсу RS-485 с контроллерами: блока калибровки, блока термостабилизации, блока фокусировки и управляет с помощью разовых команд блоком управления приводом крышки.

С помощью наземного программного обеспечения, установка которого предполагается в наземном комплексе приема, обработки и распространения информации (НК ПОР) перспективного космического комплекса ДЗЗ, производится восстановление, первичная обработка, радиометрическая и фотограмметрическая коррекция ИДЗЗ.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОБЛЕМА ИСПЫТАНИЙ НА ЖИВУЧЕСТЬ СРЕДСТВ ОСНАЩЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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

Современный этап развития производства в ракетно-космической отрасли характеризуется повышением разнообразия конструктивно-технологических решений и принципов построения средств оснащения космических аппаратов (КА). Поэтому среди проблем обеспечения надежности разработок выделяется необходимость выделения наиболее общего критерия, характеризующего стабильность работы средств оснащения КА в соответствии нормами, регламентируемыми национальными, и международными стандартами. Такое положение определяет важность квалификации средств, систем и технологий на соответствие требованиям функциональной надежности (безопасности), как обобщенного критерия их живучести.

В этой связи назрела необходимость в создании специализированной лаборатории квалификации средств оснащения КА на соответствие требованиям, функциональной надежности (безопасности) (далее Лаборатории). Такая Лаборатория должна проводить верификацию заданий на новые разработки и валидацию опытных образцов.

Под квалификацией предлагается понимать оценку и документированное подтверждение соответствия характеристик бортового оборудования установленным требованиям, выполняемое последовательно на этапах разработки, изготовления, испытаний, приемки и эксплуатации. Предполагается, что квалификация должна проводиться с помощью комплексного использования методов расчета допустимой функциональной надежности и анализа результатов экспериментальных исследований (испытаний).

Применительно к этапам отработки оборудования результаты работ по квалификации должны стать подтверждением соответствия требованиям ТЗ: принятых на этапе проектирования структурно-функциональных и схемно-конструктивных решений при обеспечении функциональных и основных эксплуатационных характеристик; принятых на этапе разработки рабочей документации конструктивно-технологических решений в части обеспечения работоспособности оборудования в предельных режимах и условиях эксплуатации, наличия запасов работоспособности и требуемого ресурса; качества изготовления штатного оборудования в части отсутствия скрытых производственных дефектов, влияющих на функциональные и эксплуатационные характеристики оборудования.

Требования к порядку, методам и критериям квалификации и при-

емки учитываются в соответствии с положениями действующих нормативных документов.

Испытания предлагается проводить нарастающим итогом по стадиям жизненного цикла и по уровням разукрупнения. В процесс квалификации ЭКБ, планируемых к применению, предлагается включать:

- подтверждение возможности обеспечения заданных требований по ресурсу и сроку службы ЭКБ;
- установление ограничений по допустимым коэффициентам термoeлектрической нагрузки ЭКБ, обеспечивающих требуемые уровни безотказности и долговечности ЭКБ (при необходимости);
- определение значений уровней радиационной стойкости ЭКБ к воздействию ионизирующих излучений космического пространства по дозе.

Особые требования должны предъявляться к функциональной надежности элементной базы. Например, применительно к интегральным микросхемам, чувствительным к воздействию тяжелых заряженных частиц, дополнительно могут быть затребованы оценки параметров чувствительности к эффектам одиночных событий, вызываемых воздействием высокоэнергетичных протонов солнечных космических лучей и галактических космических лучей.

На основе выполнения перечисленных выше работ должен формироваться Перечень ЭКБ, допускаемых для применения в аппаратуре конкретного типа КА.

Результаты её испытаний должны заноситься в специализированный Кадастр. Например, разделами Кадастра могут быть: «Перечень электрорадиоизделий, допускаемых для применения в аппаратуре КА с расчетным сроком активного функционирования»; «Перечень проводов и кабельных изделий, допускаемых для применения в аппаратуре КА».

Наличие записи в этом Кадастре будет доказательной базой для обоснования применимости изделия или технологии. При использовании блочно-модульного принципа Кадастр может стать действенным инструментом минимизации затрат в проектировании средств оснащения КА.

В качестве пилотного проекта возможна организация испытаний разработок ВНИИЭМ. Развитие работы Лаборатории в виде испытаний разработок других организаций возможно на коммерческой основе.

СОВРЕМЕННЫЕ ИМИТАЦИОННЫЕ СТЕНДЫ И КОСМИЧЕСКИЕ ТРЕНАЖЕРЫ

*А.П. Григорьев,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Конструкторское бюро «Арсенал» им. М.В. Фрунзе»,
г. Санкт-Петербург*

Особая роль в профессиональной подготовке космонавтов принадлежит тренажерам, так как выполнение тренировочных космических полетов вследствие их большой стоимости и небезопасности практически невозможно. В центре подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина с 1969 г. существует отдел по навигационно-баллистическому обеспечению космического полета.

Для подготовки экипажей международной космической станции используется стенд с элементами виртуальной реальности, который предназначен для проведения предтренажной подготовки космонавтов на различных этапах космического полета. Виртуальный мир построен с высокой степенью детализации, на основании чертежей реальных объектов, что позволяет не только обеспечивать узнаваемость рассматриваемого объекта, но и проводить подготовку к тренировкам и их разбор.

Астронавигационный функционально-моделирующий стенд (АФМС) создан в 1985 году на базе космического планетария состоит из планетария; компьютера, управляющего процессом тренировки; капсулы экипажа с реальными пультами и приборами основных космических аппаратов (КА). Планетарий, диаметром 12,5 метров проецирует звёзды до 6,5 звёздной величины, что создает иллюзию наблюдения звёздной сферы вне атмосферы Земли и обеспечивает восприятие внешней визуальной обстановки к условиям наблюдения звёздного неба в реальном космическом полёте. Помимо подготовки экипажей АФМС используется для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Для тренажерной стадии подготовки можно выделить ряд проблемных аспектов: сложность реализации индивидуального подхода к обучению и его непрерывному контролю при дефиците времени преподавателей; несоответствие обучающих воздействий индивидуально-психологическим особенностям и уровню подготовки.

Одним из возможных способов устранения данных проблемных аспектов является применение моделей, алгоритмов и процедур взаимодействия, полученных в теории многоагентных систем (МАС) и построении на их базе интеллектуальных тренажеров. Использование такого подхода позволяет более подробно исследовать и разрабатывать интеллектуальные среды обучения. Таким образом, теорию МАС можно использовать в качестве основы для построения сложных интеллектуальных информационных систем по созданию тренажеров, отвечающих всем современным требованиям к подготовке космонавтов. Основным понятием в теории МАС является понятие интеллектуального агента, под которым понимается некоторая программная «сущность», обладающая не только способностью преобразовывать информацию, но и поведением, позволяющим организовать ее взаимодействие с внешней средой. Такой подход к представлению взаимодействующих объектов позволяет рассматривать их как объекты, обладающие некоторым интеллектом, наличие которого предоставляет возможность упростить процессы разработки и отладки достаточно сложных систем. Такие объекты принято называть интеллектуальными агентами. Интеллектуализация компонентов распределенных систем позволяет расширить функциональные возможности и унифицировать способы взаимодействия между ними.

Приведем в качестве примера один из возможных вариантов организации архитектуры МАС. Обучаемый, взаимодействует с тренажерной средой, выполняя действия по управлению оборудованием и считывая показания приборов. Модель обучаемого (МО) представляет из себя совокупность набора характеристик обучаемого, измеряемых во время работы системы и определяющей степень усвоения им знаний по изучаемому предмету и методов (правил) обработки этого набора. В первую очередь эти правила должны проводить изменения самой МО по результатам его работы с системой. Очевидно, что МО должна включать в себя информацию: о цели обучения; о знаниях обучаемого в рамках изучаемого курса (текущее состояние процесса обучения); об особенностях подачи учебных материалов и выбора контрольных заданий и вопросов; о правилах изменения МО по результатам работы с обучаемым. Действия, произведенные с тренажерной средой, ретранслируются агенту-анализатору, который их фильтрует и выделяет события, значимые для цели обучения. Работа агента описывается

специальным языком, с набором условий и действий. Сгенерированные события поступают для анализа и обработки агенту-«психологу», который определяет уровень напряженности обучаемого, и при необходимости, меняет МО для адаптации к изменению уровня напряженности. Агент-помощник на основе МО и поступающих событий принимает решение об изменении текущей сложности этапа обучения и выдаче подсказки. В качестве модели действий, в нашем конкретном случае, может быть использовано дерево принятия решений. Агент-психолог: анализирует частоту правильных/неправильных действий и вносит поправку в МО, посредством изменения уровня сложности, снижая тем самым текущую напряженность и тем самым повышая вероятность правильного решения поставленной задачи. Агент-помощник: устанавливает для разных уровней сложности разное количество подсказок.

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ СОЗДАНИИ ОБЪЕКТОВ СПУТНИКОВОЙ ТЕМАТИКИ

*Г.П. Сафонов, П.В. Воробьев,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
г. Москва*

Во «ВНИИЭМ» еще в 1998 г. выпущен перечень металлических и неметаллических материалов, гальванических покрытий и лакокрасочной продукции, рекомендованных для применения в космической технике. Этому моменту предшествовали многочисленные испытания термостойкости, радиационностойкости, стойкости к вакууму и другим космическим воздействиям, в частности агрессивным газообразным средам. В существующий перечень вошли не только результаты наших собственных разработок и исследований, но и все современные достижения в этой области, полученные другими организациями. В перечень включены только отечественные разработки, и он согласован с РКК «Энергия». Ко времени оформления, этот перечень был одним из первых, который позволял обоснованно рассчитывать минимум на пятилетний срок эксплуатации космических объектов. В реальности этот срок оказался значительно больше, приближаясь к десятилетнему.

Обнадеживает факт отсутствия претензий на действующих объектах к элементам конструкций по причине выхода из строя материалов, при условии их выбора их перечня в соответствии с условиями эксплуатации. Настоящий перечень существенным образом претерпел изменения по типу используемых материалов, которые заменялись не только из-за улучшения свойств, но и для упрощения технологии использования. Примером может быть замена керамического покрытия на новый лакокрасочный состав ЭКОМ-1.

Важным фактором, особенно в настоящее время, является организация входного контроля материалов. Случаи поставки материалов с поддельным сертификатом довольно часты.

Помимо входного контроля проводится работа по оценке пригодности материалов в конкретных условиях по стендовым испытаниям компаундов, магнитов, покрытий и других комплектующих.

Следует отметить, что согласно ГОСТ конструктор оформляет на каждое изделие перечень материалов с согласованием его с технологами.

Остается пока вопрос использования блоков, приборов и оборудования сторонних организаций, которое не всегда представляют перечни на свою поставку, неизвестно также какими принципами по подбору материалов пользовались разработчики.

В 2016 г. ОАО «Композит» планирует выпуск единого для РКА перечня материалов и тогда задачи применения нужных материалов несколько упростятся.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И АППАРАТОВ

*Р.Н. Барбул, Г.К. Бескровный, В.В. Гончаров,
О.И. Кочеткова, Е.В. Кротов, А.Ф. Литвин, О.С. Фомин,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
г. Москва*

Цель метрологического обеспечения измерений (МОИ) – создание условий для решения измерительных задач по получению информации, обладающей свойствами, необходимыми и достаточными для вы-

работки решений при прохождении всех этапов жизненного цикла (ЖЦ) космических систем и аппаратов (КСА). Создание и поддержание системы МОИ включает: планирование и определение требований к измерениям, контролю и испытаниям с целью достижения желаемого уровня производительности, качества и надёжности при проектировании, производстве и эксплуатации КСА; проектирование и разработку процессов измерений; анализ состояния МОИ на всех этапах ЖЦ КСА.

Разработка требований к системе МОИ на этапах ЖЦ включает в себя: состав ЖЦ КСА и характер деятельности, соответствующий этапам ЖЦ; критерии и методологию оценки уровня МОИ на всех этапах ЖЦ; совокупность требований к измерениям, испытаниям, контролю.

Эти работы выполняются метрологами совместно с другими службами, в ряде случаев измеряемые величины и метрологические требования к ним могут быть заданы в действующих нормативах и методических указаниях по метрологии и их следует учитывать в дальнейших работах по МОИ.

На этапе проектирования и разработки процессов измерения, при необходимости, осуществляют их моделирование, учитывают характеристики реальных условий, в которых будут выполняться измерения, испытания и контроль; оценивают риски, связанные с несвоевременным получением, неполнотой и недостоверностью измерительной информации; устанавливают требования к метрологической прослеживаемости результатов измерений.

Метрологическое подтверждение пригодности элементов МОИ включает:

- Аттестацию эталонов, утверждение типа, поверку/калибровку средств измерений (СИ) и стандартных образцов (СО)
- Оценку соответствия вспомогательного оборудования
- Метрологическую аттестацию методик измерений, испытаний, контроля
- Метрологическую экспертизу документов при планировании и разработке процессов измерений, контроля, испытаний – анализ и оценку правильности установления и соблюдения метрологических требований к выполнению измерительных задач на всех этапах прохождения ЖЦ КСО
- Оценку квалификации и необходимого опыта работы операторов

– Контроль условий выполнения измерений

Специфика создания и эксплуатации оптико-электронной аппаратуры для ДЗЗ – это сложность выполнения поверки в космосе. Наземный этап МОИ при создании КСА – утверждение типа СИ, первичная и периодическая поверка до запуска КСА на орбиту. После запуска могут измениться некоторые параметры СИ – необходимо выполнять полётную калибровку и периодический контроль стабильности характеристик СИ – методики, технические средства и объём действий по МОИ на Земле и в космосе могут существенно отличаться.

Специфика АО «Корпорация «ВНИИЭМ» – это создание КСА и обеспечение высокого качества их полётных характеристик для метеорологии, ДЗЗ и фундаментальных исследований Земли. Особо следует отметить, что все стороны этой деятельности являются определяющими в обеспечении ЖЦ КСА:

– Задачи, выдвигаемые ракетостроителями, требуют выполнения требований по точности установки функциональной аппаратуры целевого назначения (ФАЦН) к осям КСА, выверки центра положения масс КСА – сложный комплекс геодезических, оптико-физических, массогабаритных измерений, выполняемых с применением современных высокоточных СИ на сборочных стапелях МИК. Созданная методика определяет схему расстановки используемых СИ, порядок проведения геодезических работ при определении углового положения ФАЦН по контрольным зеркальным кубикам и точным конусам, установленным в базовые отверстия, а также определяет основные требования к технологическому оборудованию, геодезическим СИ и помещениям при проведении всего цикла работ

– Обеспечение максимальной точности ориентации КСА на орбите – тщательная проработка системы МОИ на всех этапах ЖЦ – двигатели-маховики, гиросиловые решения, электроискровые двигатели, газовые двигатели; учёт влияния колебаний отдельных элементов и конструкции КСА в целом; взаимодействие с магнитным полем Земли; применение механизма «быстрого» поворота малых КСА, а также учёт характера движения носителей электрических зарядов во всех цепях электрических соединений – от солнечных батарей к аккумуляторам и далее ко всем потребителям электрической энергии с учётом возникающих при этом сил электромагнитного взаимодействия

– Обеспечение надёжной работоспособности системы поддержания заданных теплофизических характеристик – электронные схемы измерения и регулировки температуры в отсеках КСА с ФАЦН, а также электровентиляторы, создающие и регулирующие теплообменные потоки между отсеками КСА, как подвергаемых солнечному воздействию, так и в теневой зоне

– Обеспечение высокой точности при изготовлении и испытаниях деталей и узлов КСА, как температурными методами, так и путём широкой гаммы механических воздействий в процессах испытаний и различных обработок

– В достижении высокого уровня качества и надёжности КСО определяющая роль принадлежит постановке и функционированию системы МОИ на всех этапах прохождения ЖЦ.

СЕКЦИЯ 3.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

СЕКЦИЯ 3.1.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ АППАРАТУРОЙ ДЗЗ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЕМНОГО ТРАКТА

*Р.В. Андреев, Ю.М. Гектин, А.А. Зайцев,
А.Ю. Ряднов, Д.В. Форменов, А.Г. Фролов,
Акционерное общество «Российская корпорация
ракетно-космического приборостроения
и информационных систем»,
г. Москва*

Современная аппаратура дистанционного зондирования Земли из космоса позволяет получать глобальные данные о состоянии атмосферы и подстилающей поверхности с высокой точностью. Наибольший

интерес для таких организаций, как Министерство РФ по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям представляет обнаружение высокотемпературных источников излучения естественного и техногенного характера (очагов лесных пожаров, вулканической деятельности, выбросов термальных вод, тепловых выбросов промышленных предприятий, газовых выбросов и т. п.).

Наиболее информативным для решения таких задач является спектральный диапазон от 3 до 5 мкм. Вместе с тем в этом спектральном диапазоне необходимо формировать информацию с высоким радиометрическим разрешением (0,5 – 0,1 К) как для типовых объектов с температурой 220 – 320 К, так и для высокотемпературных объектов с температурой от 320 – 820 К. Реализация таких параметров аппаратурой ДЗЗ с линейной передаточной характеристикой электронного тракта при 10-битном кодировании передаваемой информации крайне затруднительна.

Одним из способов формирования модифицированной передаточной характеристики приемного тракта с применением малоэлементных фотоприемных устройств является введение электронного тракта с пониженным коэффициентом усиления («пожарного» канала, настроенного на диапазон температур от 320 К до 820 К) с последующим сложением сигналов от двух электронных трактов формирования сигнала. Операция сложения выполняется при цифровой обработке сигнала по следующему алгоритму:

$$U_{\text{вых}} = \begin{cases} U_o + U_n, & \text{когда } U_o < A \\ A + U_n, & \text{когда } U_o \geq A, \end{cases}$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходной сигнал, формируемый аппаратурой, U_o – сигнал от электронного тракта с обычным коэффициентом усиления, U_n – сигнал от электронного тракта с пониженным коэффициентом усиления, A – точка излома передаточной характеристики ($A \cong 700$ уровней).

Рассмотрена реализация модифицированной передаточной характеристики приемного тракта в аппаратуре ДЗЗ с использованием матричных фотоприемных устройств (МФПУ) ИК-диапазона, работающих по следующему принципу:

– принимая во внимание, что матричные фотоприемные устройства могут работать на тактовых частотах до 10 МГц и выше, цикл формирования сигнала от пикселя изображения разбивается на две части;

– в первом интервале формирования сигнала выбирается время накопления (экспозиции) максимальным, при котором МФПУ не заходит в режим ограничения от регистрируемых температур в диапазоне от 220К до 320К;

– во втором интервале формирования сигнала выбирается время накопления (экспозиции) минимальным, при котором МФПУ не заходит в режим ограничения от регистрируемых температур в диапазоне от 320К до 820К.

Далее выполняется операция сложения сигнала при цифровой обработке с получением модифицированной передаточной характеристики (двухступенчатой) приемного тракта по алгоритму, аналогичному вышеописанному.

Проведенные экспериментальные работы подтвердили возможность реализации модифицированной передаточной характеристики (двухступенчатой) аналогово-цифрового преобразования, как для приемного тракта, реализованного на малоэлементных фотоприемных устройствах, так и на МФПУ ИК-диапазона.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Т.В. Кондранин¹, А.А. Николенко¹, Л.Н. Чабан¹, К.Н. Капитонова¹,

*П.В. Страхов¹, Е.В. Бадасен¹, Б.М. Шурыгин¹,
О.Ю. Казанцев², С.В. Кудрявцев², Г.А. Щербина²*

*¹Московский физико-технический институт
(государственный университет),*

*кафедра систем, устройств и методов геокосмической физики,
г. Долгопрудный,*

²АО «НПО «Лептон», г. Зеленоград

Развитие методов дистанционного зондирования Земли в последние два десятилетия привело к появлению большого количества алгоритмов и методик обработки снимков. Особый интерес представляют способы обработки гиперспектральных данных, так как последние по

природе своей адаптивны к решаемым тематическим задачам; однако же их интерпретация является сложной, многофакторной задачей. Различными исследователями показано, что в силу тонкой структуры гиперспектральных данных на эффективность обработки могут существенно влиять различные особенности съёмочной аппаратуры и её калибровочных характеристик.

Наиболее полно устранить этот класс проблем возможно при совмещении аппаратной и программной частей в единый комплекс получения и обработки гиперспектральных данных. В этом случае алгоритмы, используемые при обработке, способны учесть в полной мере не только калибровочные характеристики съёмочной аппаратуры, но и прочие её особенности – тип кривой спектрального разложения, различный ожидаемый вклад шумовой компоненты в различных каналах, типовой режим эксплуатации.

В докладе представлены результаты работы, проведённой совместно МФТИ (ГУ) и АО «НПО «Лептон», итогом которой явилось создание экспериментального образца программно-аппаратного комплекса для гиперспектрального дистанционного зондирования Земли. В ходе работы была создана авиационная гиперспектральная камера (АГК), разработаны и протестированы алгоритмы предполётной калибровки, предварительной и тематической обработки гиперспектральных данных, учитывающих конструктивные особенности съёмочной аппаратуры.

Результаты получены при финансовой поддержке Минобрнауки России (идентификатор проекта RFMEFI57514X0028).

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ НАВЕДЕНИЯ КАМЕРЫ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

*А.В. Сумароков,
Открытое акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация
«Энергия» имени С.П. Королева», г. Королев*

В работе рассматривается алгоритм расчета параметров движения двухосной поворотной платформы, установленной на международной космической станции, для наведения камеры высокого разрешения на

определенную точку на поверхности Земли. Работоспособность предложенного алгоритма демонстрируется с помощью результатов математического моделирования, летно-конструкторских испытаний и результатами видеосъемок.

В настоящее время для обеспечения проведения научных экспериментов на борту Международной космической станции создается Информационно-управляющая система, представляющая собой ряд бортовых компьютеров и дополнительного оборудования. Задачами этой системы являются автоматическое управление проведением рядом сложных научных космических экспериментов. Один из таких экспериментов связан с наведением телескопа для наблюдения за поверхностью Земли. Данный эксперимент проводится совместно с канадской фирмой Urthecast. В январе 2014 года на внешней поверхности служебного модуля «Звезда» российского сегмента МКС была установлена камера высокого разрешения (HRC), предназначенная для видеосъемки участка подстилающей поверхности размером $5,36 \times 3,56$ км с проекцией пикселя на поверхность Земли 1,15 м (для высоты орбиты 350 км) со скоростью три кадра в секунду (время экспозиции одного кадра 0,3с).

Камера высокого разрешения установлена на Двухосной платформе наведения (ДПН), представляющей собой двухосную поворотную платформу с диапазоном углов вращения по каждой из осей от -175° до $+175^\circ$. Данная платформа имеет в своем составе вычислитель, который заключает в себе алгоритмы работы данной платформы в различных режимах (тестовых, служебных, режиме отслеживания цели). Для обеспечения работы платформы в режиме отслеживания наземной цели требуется на основе имеющейся баллистико-навигационной информации обеспечить расчет углов и угловых скоростей движения ДПН для того чтобы HRC отслеживала одну и ту же точку на Земной поверхности.

В компьютеры Информационно-управляющей системы из системы управления движением МКС поступает информация о текущем угловом и пространственном положении МКС, однако для ее передачи требуется определенное время, дополнительное время требуется для передачи вычисленных параметров движения ДПН из компьютера информационно-управляющей системы в вычислитель ДПН. Следовательно, для успешного решения задачи наведения камеры высокого

разрешения, требуется решить ряд задач. Во-первых, требуется спрогнозировать угловое и пространственное положение МКС через некоторое время. Во вторых, необходимо вычислить вектор положения цели в системе координат ДПН. В третьих, на основе вычисленного направления на цель требуется рассчитать непосредственно углы и угловые скорости движения по каждой из осей ДПН, для обеспечения отслеживания цели. Дополнительно, для минимизации амплитуды низкочастотных колебаний конструкции следует обеспечить плавное управление и выход на траекторию отслеживания из любого положения ДПН.

В работе подробно рассматривается решение каждой из поставленных задач. Для демонстрации работы алгоритма наведения приводятся результаты математического моделирования на наземном комплексе обработки бортового программного обеспечения МКС и результаты обработки телеметрической информации, полученной в ходе летно-конструкторских испытаний. Дополнительно приводятся результаты видеосъемок различных точек на земной поверхности.

ШИРОКОЗАХВАТНЫЙ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫЙ ИНФРАКРАСНЫЙ РАДИОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ «БИК-СД1»; ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ КА ТИПА «КАНОПУС-В-ИК»

*А.П. Федотов, Ю.П. Сырых, Ю.С. Пронин,
Г.В. Кукина; А.С. Митрошин; А.А. Акимова,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,
г. Королев*

В ЦНИИмаш разработана технология создания многоспектрального инфракрасного радиометра высокого разрешения «БИК-СД1», обеспечивающего регистрацию слабоконтрастных объектов на поверхности Земли и в воздушном пространстве в широком диапазоне инфракрасного спектра излучения. Изготовлен базовый образец радиометра, по своим характеристикам не имеющего аналогов в отечественном приборостроении.

Радиометр позволяет проводить круглосуточную многоспектральную съемку Земли и околоземного пространства с высоким пространственным и температурным разрешением.

Радиометр обеспечивает

– формирование движущегося изображения поверхности Земли на приемнике одновременно в шести спектральных полосах теплового диапазона спектра ($\lambda = 3,5 \div 12,5$ мкм), его регистрацию и преобразование в цифровой сигнал; запись и хранение в собственном запоминающем устройстве зарегистрированных данных и набора калибровочных коэффициентов;

– формирование пакетов целевой видеоинформации с последующей передачей в высокоскоростную радиолинию для передачи на наземный пункт приема информации.

Свойство ИК радиометра «БИК-СД1» осуществлять одновременную съемку объекта в шести спектральных полосах теплового диапазона обеспечивает возможность регистрации малозаметных объектов наземного, подземного, воздушного базирования с низким тепловым контрастом, определять границы ледяного покрова, обнаруживать и идентифицировать очаги пожаров, объекты, скрытые под водой, под снежным покровом, укрытые под поверхностью Земли.

Прибор позволяет с большой эффективностью решать широкий круг задач: изучение и картографирование природных ресурсов и окружающей среды, мониторинг окружающей среды и экологических состояний, контроль стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций.

УНИФИЦИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКТ МОДУЛЕЙ ПЕРЕДАЧИ/ПРИЁМА ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РАДИОЛИНИЙ

*В.О. Лось,
АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва, Зеленоград*

Важными составными частями ВРЛ являются бортовое устройство формирования сигнала и помехоустойчивого кодирования, а так же ответная к нему часть наземной аппаратуры - это демодулятор с помехоустойчивым кодером, сопряжённый по ключевым параметрам с бортовой аппаратурой. Предлагается создание унифицированного комплекта модулей борт/Земля для X и Ka диапазонов (8,025...8,4 ГГц

и 25,5...27 ГГц) с рабочей полосой 375 МГц. Для Ка – диапазона предполагается применение 4-х каналов параллельно. Данное техническое решение определяется следующими факторами:

- унификацией аппаратуры приёма/передачи;
- возможностью использования существующих пунктов приёма в X-диапазоне и поэтапного перехода в Ка – диапазон;
- характеристиками перспективной элементной базы по быстродействию и линейным характеристикам тракта, таким как АЧХ и ГВЗ.

Основные характеристики унифицированных модулей приёма/передачи:

- коэффициент прямоугольности спектра сигнала равен 0,2 в полосе 375 МГц (до 300 технических символов в секунду);
- промежуточная частота унифицированных модулей 3,5...4,5 ГГц;
- используемое помехоустойчивое кодирование – (8176,7154) LDPC с относительной скоростью 7/8 согласно стандарту CCSDS 131.0-B-2.

- вид модуляции QPSK/8-PSK/16-QAM/64QAM;

- конструкция приемника и передатчика – модульные, в состав модуля передачи входит помехоустойчивый кодер, формирователь сигнала, интерфейс, в состав модуля приема – демодулятор, помехоустойчивый кодер, интерфейс;

- каждый модуль обеспечивает передачу/прием одного сигнала в полосе частот 375 МГц. При работе в X-диапазоне используются один или два (с поляризационной развязкой) модуля, в Ка – диапазоне – до четырех модулей с частотным разделением (до восьми при использовании поляризационной развязки);

- пропускная способность одного модуля при выбранном кодеке и коэффициенте скругления спектра 0.2 – 270 Млн информационных (300 Млн технических) символов в секунду, т.е. 540 Мбит/с при QPSK-модуляции, 810 Мбит/с в режиме 8-PSK и 1080 Мбит/с в режиме 16-QAM, 1620 Мбит/с в режиме 64-QAM.

Для повышения надёжности канала связи Космос-Земля предлагается использовать помехоустойчивое кодирование LDPC с относительной скоростью 7/8, рекомендованное международным комитетом CCSDS. - (8176,7154) LDPC с относительной скоростью 7/8 (согласно стандарту CCSDS 131.0-B-2) . Кривая достоверности кода отстоит от границы Шеннона на 1,5 дБ, при этом у неё отсутствует «полка» при которой

вероятность ошибок слабо снижается при увеличении сигнал/шум. Превышение информационного отношения сигнал/шум более 4,2 дБ на входе декодера практически гарантирует полное исправление ошибок. Дальнейшее увеличение относительной скорости кодирования не приведёт к радикальному увеличению пропускной способности. Компромисс между увеличением относительной скоростью кодирования и снижением требуемого отношения сигнал/шум с учётом хорошей кривой достоверности кода является на сегодняшний день оптимальным решением. Необходимо также учитывать сложность реализации кода (более сложный код значительно труднее реализовать с заданной пропускной способностью).

Особенностью X – диапазона является узкая ширина полосы (для пропускной способности более 1 Гбит/с) отведенная Регламентом радиосвязи. При этом потери на гидрометеорах в атмосфере могут быть значительно ниже чем в Ка диапазоне. Расчёт энергетики показывает возможность построения ВРЛ с пропускной способностью до 1,5 Гбит/с.

Особенностью Ка – диапазона является к большие потери в атмосфере на гидрометеорах. В расчётах энергетики предполагается доступность канала связи 99,7% в течении года (соответствует интенсивности осадков примерно не более 4 мм/ч). Расчёты проводились исходя из порогового отношения сигнал/шум для предлагаемого помехоустойчивого кода для высоты орбиты около 550 км. С учётом этого модуляция QPSK позволяет получить пропускную способность до 2 Гбит/с. Модуляция 16-QAM позволяет получить пропускную способность до 4 Гбит/с.

ФПЗС ДЛЯ ПАНХРОМАТИЧЕСКОЙ, МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ

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

За последний год осуществлен ряд запусков КА ДЗЗ оснащенных аппаратурой с фотоприемниками ЗАО «НПП «ЭЛАР». Доработано программное обеспечение аппаратуры ДЗЗ находящихся в эксплуата-

ции КА (в первую очередь «Ресурс-П») – результат доработки очень позитивен – достигнуты хорошие результаты в первую очередь по качеству цветопередачи и по разрешающей способности.

Доработан (конструкция и техпроцесс) основной прибор для ПХ-канала «Крузиз-6», выпускаемый в интересах Роскосмоса и МО. Осуществлены первые поставки, которые подтвердили значительное улучшение параметров (сигнал-шум, зарядовая емкость, неравномерность чувствительности), что должно привести к улучшению ТТХ соответствующей аппаратуры ДЗЗ. Проведенная работа является примером, как без проведения ОКР, за счет доработки технологического процесса и введения дополнительных контрольных операций удается добиться высоких результатов, практически близких к теоретическим.

Завершены работы по самым широкоформатным отечественным и одним из самых крупных в мире ФПЗС ВЗН («Прибор-ОЭК-9», «Прибор-ОЭК-Ц», «Прибор-ОЭК-БФПУ): получено полноценное секционирование на ВЗП матрицах, обеспечено одинаковое функционирование всех выходных устройств.

Вышел первый отечественный прибор, содержащий панхроматический (размер ячейки 9×9 мкм и формат строки 6144 элемента) и 4 спектральных канала (размер ячейки 18×18 мкм и формат строки 3072 элемента) на одном кристалле – «Комби-ФПЗС». Прибор перспективен как для создания больших фокальных плоскостей в бескорпусном варианте исполнения прибора, так и в корпусном исполнении – для аппаратуры ДЗЗ с оптической «сшивкой» изображения.

Длительная работа по разработке звездных датчиков стала давать результаты: завершена разработка фотоприемников в металлокерамических вакуумплотных корпусах. Данная работа имеет хорошие перспективы по изготовлению фотоприемников больших и сверхбольших фотоприемников в герметичных, охлаждаемых и высоконадежных корпусах.

Проработаны новые архитектуры построения приборов с высокой частотой кадров, пропуском строк и выделением «области интереса».

Проработаны варианты построения приборов для создания фокальных сборок на основе ФПЗС с виртуальной фазой в реализации «butable» с разводкой на две стороны и на одну сторону. Основным отличием этих приборов является фронтальная засветка при обеспечении высокой квантовой эффективности, в том числе и вакуумном УФ.

При базовом числе элементов 2000×4000 возможно построение сборок форматом $n \times 2000$ (сопряжение по одной координате).

Ведется разработка и началось изготовление макета гибридной, многокристалльной ФПЗС ФЗН сборки – корпусного изготовления фокального узла. Указанный фотоприемник построен на основе ФПЗС ВЗН «Крузи-6» – самого массового фотоприемника для отечественных космических систем ДЗЗ.

Резюмируя доклад можно сказать, что растут размеры приборов, улучшаются их характеристики, но наблюдается все более сложные отношения с поставщиками стран, участвующих в секторальных санкциях.

БОРТОВОЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТР ИКФС-2: ЭКСПЛУАТАЦИЯ НА ОРБИТЕ В СОСТАВЕ КА «МЕТЕОР-М» № 2

*Ю.М. Головин, Ф.С. Завелевич, Н.Н. Ушаков, А.Г. Никулин,
Д.А. Козлов, Д.О. Монахов, И.А. Козлов, И.С. Черкашин,
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва,
А.Б. Успенский, А.Н. Рублев,
ФГБУ «НИЦ «Планета», г. Москва,
Ю.М. Тимофеев, А.В. Поляков,*

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Запуск космического аппарата «Метеор-М» № 2 с инфракрасным фурье-спектрометром ИКФС-2 состоялся 8 июля 2014 г. Аппаратура ИКФС-2 совместно разработана ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» (головной разработчик), Красногорским заводом им. С.А. Зверева и НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э. Баумана и предназначена для измерения спектров исходящего излучения атмосферы Земли и решения на их основе оперативных задач гидрометеорологического обеспечения 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.

В настоящее время прибор ИКФС-2 в составе КА «Метеор-М» № 2 функционирует в штатном режиме и обеспечивает технические характеристики (см табл.) в соответствии с требованиями технического задания.

Проведено сопоставление результатов измерений прибора ИКФС-2 с радиометром SEVIRI спутника Meteosat-10, демонстрирующее хорошее соответствие. Среднее значение погрешности радиометрической калибровки ИКФС-2 для каналов SEVIRI 13,4: 12,0; 10,8; 9,7; 8,7 мкм не превышает 0,1 - 0,2 К. В рамках проведенных исследований наличия временного тренда (ухода состояния калибровки) не обнаружено, что говорит о стабильности калибровки ИКФС-2. Сопоставление измерений ИКФС-2 с приборами аналогами IASI-A, IASI-B и CrIS демонстрирует адекватное и стабильное соответствие. Результаты восстановления вертикальных профилей температуры и влажности показали соответствие с данными NCEP GFS на уровне 1 – 2 К по температуре и 15% по влажности.

Технические характеристики ИКФС-2

Рабочий спектральный диапазон	5...15 мкм (660...2000 см ⁻¹)		
Спектральное разрешение	0.4 см ⁻¹		
Порог обнаружения (NESR) [Вт·м ⁻² ср ⁻¹ см], не более:	$\lambda = 6\text{мкм}$	$\lambda = 13\text{мкм}$	$\lambda = 15\text{мкм}$
	$3.2 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$
Погрешность измерения спектральной яркости объекта в терминах эквивалентной температуры	(0,08 ± 0,21) 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		

3D PLUS: ОТ ВИДЕОКАМЕР КОСМИЧЕСКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ДО УСТРОЙСТВ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ – ШИРОКИЙ ВЫБОР РЕШЕНИЙ ДЛЯ СПУТНИКОВ ДЗЗ

В. Муаллем¹, К.В. Бердичевский², Д.Н. Нестеров²

¹3D PLUS, Франция,

²Общество с ограниченной ответственностью «ЭСДИЭС», г. Санкт-Петербург

Компания 3D PLUS (Франция) уже более 20 лет занимается разработкой и производством высоконадёжных модулей памяти для ответственных применений, в том числе и для применений в космической технике. С развитием технологий и потребностей заказчиков инженеры 3D PLUS начали работать над более сложными устройствами и создали комплекс подсистем памяти для хранения и обработки данных ДЗЗ. Устройства хранения данных производства 3D PLUS нашли применение в различных российских и иностранных космических аппаратах, в том числе в КА ДЗЗ группы Pleiades, марсоходе Curiosity, КА миссии Rosetta и других. В 2016 году компания 3D PLUS запустит в производство универсальную КМОП камеру космической квалификации для применения в качестве стандартной автономной системы в спутниках ДЗЗ. Наряду с решениями в области хранения данных компания 3D PLUS разрабатывает и технические решения для законченной системы приёма, обработки и хранения изображений. В докладе будет представлен обзор технических решений, а также даны примеры их применения.

**ПУТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ УСТРАНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВЫСОКОИНФОРМАТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЗЗ
СО СТОРОНЫ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ПОЛУЧЕННЫХ
ДАННЫХ НА ЗЕМЛЮ**

*Б.Л. Бажанов, М.М. Бачманов, Д.А. Исков,
Е.М. Твердохлебова, В.В. Хартов,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,
г. Королев*

Одним из ключевых вопросов обеспечения эффективности использования высокоинформативных космических средств ДЗЗ является проблема передачи полученных данных с КА на Землю. Поток данных на выходе перспективных образцов бортовой аппаратуры оптико-электронного и радиолокационного наблюдения, уже разрабатываемых или планируемых к разработке в рамках действующих космических программ, составляет в базовых режимах съемки от 4,5 Гбит/с до 10,5 Гбит/с. Условием реализации перспективных специализирован-

ных режимов в радиолокационной аппаратуре разрабатываемых КА является дополнительное увеличение информационного потока в два, четыре и более раз по сравнению с приведенными выше значениями.

Пропускная способность аппаратуры современных каналов передачи данных в X – диапазоне с борта КА непосредственно на наземные пункты приема информации (ПНИ) в относительно редкие периоды их взаимной радиовидимости составляет не более 300 – 320 Мбит/с. В разрабатываемых перспективных образцах ожидается увеличение пропускной способности до 600 Мбит/с. В любом случае остается неизменным низкий коэффициент готовности таких каналов к работе. При использовании трех основных ППИ, разнесенных по территории России (гг. Москва, Новосибирск, Хабаровск), он составляет не более 0,055 – 0,060. Решение о строительстве дополнительных ППИ в северных широтах (гг. Мурманск, Анадырь), рассчитанных на пропускную способность 600 Мбит/с, не принято, сроки его выполнения не определены. Проведенные оценки показывают, что использование этих пунктов не приводит к качественному улучшению показателя готовности канала передачи данных к работе.

В результате резко (до порядка величины) снижается реальная производительность разрабатываемых космических средств наблюдения, ухудшаются показатели периодичности обновления, и оперативности доставки информации потребителю. Соответственно удорожается информационная продукция, ужается возможность многофункционального применения таких средств.

Проблема может быть решена путем использования высокоскоростных каналов оперативной передачи данных ДЗЗ на Землю, предоставляемых космическими средствами ретрансляции информации. Дополнительным преимуществом сопряжения средств получения и средств ретрансляции данных является возможность оперативной передачи по обратному каналу командно-программной информации, позволяющая быстро адаптировать программу наблюдений к изменениям в специфике очередной решаемой задачи.

В настоящее время на российских предприятиях разрабатываются терминалы высокоскоростной передачи данных, использующие на межспутниковом, участке канала ретрансляции информации как Ка, так и оптический диапазон несущего излучения. Анализ мировых тенденций развития технологии и зарубежных заделов в этой области

указывает на то, что в долгосрочной перспективе преимущества имеют лазерные терминалы, обладающие широким спектром дополнительных функциональных возможностей.

Терминалы лазерной связи с пропускной способностью более 5 Гбит/с подтвердили свою работоспособность и ожидаемые характеристики в составе КА радиолокационного наблюдения «TerraSAR-X» (Германия). На КА «TanDEM-X» установлен терминал, предназначенный для передачи данных со скоростью 1,8 Гбит/с на геостационарную платформу «Alphabus». Находится на завершающих этапах своего создания штатная Европейская система ретрансляции данных EDRS по лазерным высокоскоростным межспутниковым каналам. Технология успешно апробирована и в России в процессе проведения натурального эксперимента «СЛС» по передаче информации с борта МКС на наземный пункт приема по лазерному каналу со скоростью 600 Мбит/с. Однако ввиду наличия определенного риска затягивания сроков освоения этой технологии по результатам более углубленного анализа вариантов аппаратуры, функционирующих в Ка и в оптическом диапазоне, не исключена рекомендация об использовании радиодиапазона на первом этапе создания высокоскоростных средств ретрансляции данных.

Критическим фактором, ограничивающим возможности и масштабы использования потенциальных преимуществ высокоскоростных лазерных линий космической связи, является их метеозависимость на участке передачи данных со спутника-ретранслятора через атмосферу на Землю. Предварительные проектные и экспериментальные исследования этой проблемы: были проведены ФГУП ЦНИИмаш совместно с рядом отечественных предприятий и показали, что в качестве перспективных способов устранения метеозависимости могут рассматриваться: организация промежуточной приемной позиции на привязном высотном аэродинамическом подъемном средстве (АПС) с передачей информации от АПС на Землю по оптоволоконному кабелю или по радиоканалу; обеспечение необходимых погодных условий над наземным пунктом приема путем локальной искусственной ионизации атмосферы.

Углубленную проработку обоих перечисленных направлений и обоснованный выбор технологии, рекомендуемой (в долгосрочном

плане) к реализации в перспективных штатных средствах ретрансляции планируется выполнить на следующих этапах исследований.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АВТОДИННОГО ПРИЁМОПЕРЕДАТЧИКА ДИАПАЗОНА 60 ГГц ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ МЕЖДУСПУТНИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

*Д.Я. Мишин, А.Б. Уманский,
АО «Научно-производственное объединение автоматики
имени академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург;
В.Я. Носков,
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

В настоящее время происходит активное освоение миллиметрового диапазона (ММД) зарубежными производителями электроники (Intel, IBM, Alkatel и др.). Этот интерес обусловлен рядом особенностей распространения радиоволн ММД. Прежде всего, для волн ММД по сравнению с сантиметровым диапазоном характерно значительное затухание их при распространении в атмосфере Земли. Кроме того имеются участки диапазона с резонансным поглощением излучения кислородом на длинах волн 5,0, 2,5 и 1,7 мм, а также ряд «окон прозрачности», где затухание сравнительно мало.

Известно, что использование радиоволн ММД в системах передачи данных на частотах, соответствующих пикам поглощения, обеспечивает скрытность передачи радиосообщений от перехвата с Земли, а также снижение уровня активных помех от различных источников. Это позволяет организовывать междуспутниковые линии связи большой протяженности, для которых атмосфера Земли будет служить своего рода экраном.

ММД обладает преимуществом в ширине доступной полосы передачи сообщений, что позволяет передавать высокоскоростные потоки информации, производить помехоустойчивое кодирование, выбирать оптимальные методы модуляции и множественного доступа. При этом наибольший интерес по своим свойствам представляет диапазон частот с пиком затухания в окрестности 60 ГГц.

Разработанные за рубежом стандарт IEEE 802.15.3с и спецификация WirelessHD доказывают перспективность использования этого

диапазона и проведение исследований в данном направлении. Малые габариты антенн и приёмопередающих модулей этого диапазона, а также возможности современной технологии в создании интегрированных в чипы устройств ММД стимулируют широкое освоение этого диапазона и проведение исследований в данном направлении.

При этом необходимо отметить, что на пути развития систем связи в этом диапазоне особый интерес представляют приёмопередающие модули с автодинным построением. Эти модули имеют простейшую конструкцию, поскольку в качестве передатчика и приёмника в них используется одно и то же устройство – автогенератор. В режиме передачи сообщений он подвергается различного рода модуляции. В режиме приёма на автогенератор воздействует принимаемый сигнал, в результате которого в нём наблюдается так называемый автодинный эффект.

Данный эффект состоит в изменениях амплитуды и частоты генерации, а также среднего значения смещения (тока или напряжения) активного элемента генератора. Эти изменения происходят с разностной частотой (частотой биений) между частотой собственных колебаний генератора и частотой принимаемого сигнала. Выделение сигнала биений обычно производится в цепи питания генератора или с помощью дополнительных диодов, детектирующих автодинный отклик по изменению амплитуды. Малые габариты и вес, а также высокая чувствительность автодинных приёмопередатчиков обеспечили их широкое применение в доплеровских системах ближней радиолокации, в которых выходные сигналы имеют сравнительно низкие частоты (не более 1 МГц).

Для успешного обеспечения необходимого уровня надежности и достоверности при передаче информационного пакета в современных системах связи ММД данные устройства должны обеспечивать возможность передачи и приёма сигналов в полосе порядка 7 ГГц и более, что соответствует быстродействию менее 20 пс. Однако исследования данных характеристик в режиме приёма по имеющимся у авторов литературным источникам не выполнялись. Цель настоящего сообщения – доложить основные результаты первичных исследований, направленных на изучение характеристик быстродействия автодинного модуля на диоде Ганна (ДГ) диапазона 60 ГГц.

В ходе выполненных исследований разработана математическая модель автодина, учитывающая воздействие на автогенератор принимаемого сигнала. На основе этой модели показана зависимость коэффициента

автодинного усиления, ширины полосы пропускания и постоянной времени автодинного отклика от режима колебаний автогенератора и параметра мягкости импедансной характеристики ДГ. Полученные результаты анализа обеспечивают возможность выбора оптимального режима работы автогенератора и вида импедансной характеристики ДГ для получения требуемых характеристик. Показано, что область оптимальных значений связи генератора с нагрузкой находится в промежутке между реализацией максимальных значений коэффициента усиления автодина и его быстродействия.

Как показали выполненные исследования, для реализации выбранного режима генерации автодина необходимо регулировать связь генератора с нагрузкой. Поэтому генераторные модули, в том числе в гибридно-интегральном исполнении, предназначенные для работы в автодинном режиме, должны содержать в своей конструкции соответствующие элементы, позволяющие варьировать величину связи с нагрузкой.

СЕКЦИЯ 3.2. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ И ГГАС

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОИНФОРМАТИВНЫХ МНОГОЧАСТОТНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗЕМЛЕОБОЗОРА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

*Б.Л. Бажанов, М.М. Бачманов, Д.А. Исков,
Е.М. Твердохлебова, В.В. Хартов,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королев*

Анализ содержания и рациональных способов эффективного решения основных классов задач радиолокационного землеобзора из космоса показал, что при необходимости ограничиться использованием одного частотного зондирующего канала сантиметровый (X) диапазон является предпочтительным. Однако обширный сегмент актуальных задач наблюдения требует реализации радиолокационной диагностики в длинноволновых (L и P) диапазонах

или комплексного анализа информации, полученной в трёх, существенно разнесённых (X , L и P) диапазонах. Проникающая способность и ряд других особенностей взаимодействия длинноволнового излучения с зондируемыми объектами позволяют получать о них обширную дополнительную информацию. Многочастотная диагностика снимает неоднозначность интерпретации результатов, которая имеет место во многих приложениях. Существует ряд приоритетных задач, решение которых на приемлемом уровне эффективности объективно невозможно при использовании одночастотного космического радиолокационного комплекса (РЛК). Исследования, проведенные в ФГУП ЦНИИмаш показали, что в результатах многочастотного зондирования Земли заинтересован широкий спектр ведомств, региональных администраций, ведущих предприятий промышленности.

Высокая целевая отдача от применения радиолокационных данных, полученных в нескольких, существенно разнесённых диапазонах (3 см, 23 см, 67 см, 250 см), подтверждена в процессе использования авиационных аналогов много-частотных космических радиолокаторов (как зарубежных, так и отечественных). Проблемными вопросами, затрудняющими эффективное использование P диапазона являются негативное влияние ионосферы на качество радиолокационного изображения. Различные методы и способы решения проблемы в теоретическом плане предложены и разработаны рядом отечественных научных коллективов. В завершающей или близкой к этому стадии находится несколько работ по экспериментальному подтверждению работоспособности, совершенствованию и апробации этих методов.

Проектные исследования возможных принципов технической реализации многочастотной радиолокационной диагностики земной поверхности, проведенные в 2000-х годах совместно НПО им. С.А. Лавочкина, АО «Концерн «Ве-га» и ФГУП ЦНИИмаш, показали, что оптимальным является принцип интеграции радиолокаторов нескольких диапазонов в рамках одного КА в сочетании с реализацией двухъярусной компоновки излучателей двух частотных диапазонов в пределах одной площади апертуры. Такой подход позволяет качественно сократить затраты на развертывание и поддержание орбитальной группировки КА, необходимой для эффективного

решения полного множества задач. Испытания фрагмента двухъярусной активной фазированной антенной решетки (АФАР) X и P диапазонов, проведенные в ГУП НПЦ «Элсов», подтвердили отсутствие негативного взаимовлияния излучателей двух диапазонов.

Одной из ключевых задач обоснования рационального проектного облика высокоинформативной многочастотной радиолокационной аппаратуры и космического аппарата на её основе представляется решение вопроса о рациональной степени комплексирования частотных каналов в одном образце радиолокатора. На базе результатов расчетно-теоретических и экспериментальных работ, выполненных НПО «Вега», ГУП НПЦ «Эл'ев» и ФГУП ЦНИИмаш, в области разработки двухчастотных АФАР (L - P и X - P соответственно), к дальнейшему рассмотрению предлагается вариант трехчастотной совмещенной АФАР X , L и P диапазонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПУТНИКОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРОВ

*Д.М. Караваяев, Ю.В. Кулешов,
А.Б. Лебедев, И.В. Сахно, Г.Г. Щукин
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Спутниковые микроволновые радиометры находят применение при решении задач метеорологии, океанологии, альтиметрии. Среди отечественных спутниковых микроволновых радиометров можно выделить МТВЗА-ГЯ для исследования атмосферы и поверхности Земли, которые устанавливаются на космических аппаратах гидрометеорологического и океанологического назначения (очередной КА «Метеор-1М» № 2 запущен 8 июля 2014 г.), также периодически проводятся микроволновые эксперименты на международной космической станции. Преимущества метода микроволновой радиометрии связаны с возможностью получения глобальной информации о параметрах облачной атмосферы и характеристиках поверхности независимо от освещенности, существенно меньшей зависимости (по сравнению с оптическим и ИК-диапазонами) от присутствия облачности и аэрозолей в атмосфере.

Анализ зарубежных и отечественных исследований показывает, что несмотря на продолжительную, почти 50-летнюю историю развития, потенциальные возможности спутниковой микроволновой радиометрии при решении практически важных задач пока не полностью реализованы. В докладе рассмотрены различные аспекты проблемы, дан анализ тактико-технических характеристик современных спутниковых микроволновых радиометров космических аппаратов гидрометеорологического назначения, проанализированы информативность многочастотных микроволновых радиометров, погрешности определения температурно-влажностных параметров атмосферы, возможности определения характеристик подстилающей поверхности и т. д. Дальнейшие перспективные исследования, направленные на развитие спутниковой микроволновой радиометрии, должны включать прежде всего решение следующих проблем: разработка и создание образцов мультиспектральных микроволновых радиометров с улучшенными тактико-техническими характеристиками; совершенствование метрологического обеспечения микроволновых измерений и создание эталонной базы в микроволновом диапазоне; уточнение моделей формирования микроволнового излучения системы «атмосфера-подстилающая поверхность» с учетом эффектов рассеяния и поляризации; развитие методических вопросов и алгоритмов тематической обработки спутниковых данных, целевого использования оперативной спутниковой информации; создание комплексов приема, обработки, распространения и усвоения спутниковой информации; развитие методик и инструментов оперативной оценки качества информации спутниковых микроволновых сканеров-зондировщиков; создание подсистемы калибровки-валидации информационных продуктов спутниковых микроволновых радиометров по параметрам атмосферы и поверхности.

В докладе обсуждаются пути организации постоянно-действующей системы валидации спутниковых данных температурно-влажностного зондирования атмосферы на территории РФ, вопросы оснащения специализированных тестовых полигонов современными измерительными приборами, научно-методического центра по использованию спутниковых данных. Рассмотрены тактико-технические характеристики современных средств метеорологических измерений (контактных и дистанционных, включая микроволновые радиометрические комплексы для определения профилей температуры и влажности атмосферы,

водозапаса облаков), необходимых для валидации спутниковых данных температурно-влажностного зондирования атмосферы, дискутируется необходимость организации морских платформ и применения самолета-лаборатории для проведения подспутниковых экспериментов. Также рассматриваются вопросы оценивания качества информационных продуктов спутниковых микроволновых радиометров по параметрам атмосферы, представлены некоторые результаты сравнительных подспутниковых экспериментов, выполненных с использованием данных сетевого аэрологического зондирования и наземных (судовых) микроволновых радиометров.

Среди перспективных задач спутниковой микроволновой радиометрии следует отметить задачи мониторинга и прогноза опасных гидрометеорологических явлений, связанных с развитием мощной конвекции, гроз, ливневых осадков, условий зарождения тропических циклонов, тайфунов. Требования к оперативности получения информации при решении подобных задач приводят к рассмотрению нового облика группировки малогабаритных космических аппаратов и инициализации проекта по размещению микроволновых радиометров на геостационарной орбите.

РАДИОЧАСТОТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МАССОВОГО СОСТАВА – ЭФФЕКТИВНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТАВА ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ С БОРТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «МЕТЕОР-М» №1 И № 2

*М.С. Иванов, Б.М. Кирюшов, С.А. Похунков, Г.Ф. Тулинов,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова»,
г. Москва*

В ИПГ был разработан радиочастотный измеритель массового состава (масс-спектрометр РИМС), являющийся наиболее результативным и эффективным прибором для диагностики и мониторинга состояния и изменчивости околоземной среды вдоль траектории космического аппарата. Прибор РИМС относится к приборам динамического типа, в котором селекция ионов осуществляется по скоростям в электрическом поле высокой частоты. Условия селекции для ионов разных масс обеспечиваются изменением потенциала развертки.

Программное обеспечение РИМС предназначено для обработки телеметрической информации прибора, поступающей с борта космического аппарата. Программа выполняет анализ и обработку полученных данных и, в соответствии с заданными параметрами и настройками, отображает их на экране монитора в удобном для пользователя виде. Программа позволяет выполнять импорт данных траектории спутника и экспорт обработанных данных в файл или их распечатку на принтере. Программа разработана на языке C++ и предназначена для работы в среде ОС Windows.

В докладе приводятся примеры картины распределения относительного ионного состава на высоте порядка 800 км, согласующиеся с современными представлениями о строении внешней ионосферы. На картах наблюдается статистически устойчивая картина: в конце ночи на геомагнитном экваторе наблюдается одnogорбый максимум лёгкого иона (H^+), опускающегося при ночном проседании атмосферы с больших высот; в конце светлого времени суток картина двугорбая – в экваториальном центре происходит замещение H^+ потоком иона O^+ , поступающего снизу в результате глобальной циркуляции, характерной для дневного времени. Эта экваториальная аномалия является основной структурной особенностью ионосферы южных широт. В экваториальной области днем по обе стороны от геомагнитного экватора на геомагнитных широтах $10 - 20^\circ$ образуются максимумы (или гребни) ионизации. Это явление, известное как экваториальная аномалия или геомагнитная аномалия или аномалия Эпплтона, было обнаружено в середине 1940-х годов. Экваториальная аномалия является важным фактором в прогнозировании параметров радиосвязи, радионавигации, локации, существенным образом влияет на работу различных наземных технологических систем; поэтому исследование динамики экваториальной аномалии, физических причин, определяющих ее формирование, развитие и изменчивость, находится в ряду одной из актуальных и фундаментальных проблем геофизики.

Ещё одной из проблем современной геофизики является распознавание, изучение, классификация аномальных событий на длинных одномерных и многомерных временных рядах геофизических наблюдений, в частности, во временных рядах измерений ионного состава ионосферы прибором РИМС, установленном на спутнике «МЕТЕОР-М». В докладе применительно к временным рядам ионного состава на

высоте 800км, полученных с помощью прибора РИМС, был использован алгоритм DRAS (Difference Recognition Algorithm for Signals), основанный на использовании нечеткой логики. Алгоритм был применен к выявлению аномалий во временных рядах РИМС и расчету их характеристик. Представлен временной ряд среднесуточных значений относительного содержания иона атомарного кислорода для 2015 года и кривая – степень аномальности. Максимум на кривой аномальности соответствует 100 дню года (10 апреля).

Для экспресс-анализа оценки состояния ионосферы по данным прибора РИМС использованы индексы мажоритарности, несущие информацию об относительном доминировании каждого компонента в пространстве, прилегающем к траектории спутника. Процент точек измерений по каждому иону, являющемуся доминирующим (имеющим максимальное значение ионного тока в приборе РИМС) совпадает с относительной долей пространства его преобладания. Представлены графики, на которых картина с «невозмущённой» (100% преобладание иона O^+) сменилась на «возмущённую» (10% преобладание иона H^+) после первой сотни дней (10 апреля). Этот момент времени также относится к аномальным событиям согласно алгоритму DRAS, что косвенно подтверждает корректность использования последнего.

В докладе представлено описание место прибора РИМС в системе инструментально-модельного мониторинга верхней атмосферы и ионосферы, которая должна стать основой Службы Росгидромета для выработки рекомендаций по оптимизации использование ОКП в рамках принципа устойчивого развития.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКИМИ РАДИОЛОКАТОРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПЛЕРОВСКИХ МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

*С.Э. Григас, Д.Ц. Литовченко, А.А. Скорынин,
Ю.Е. Терехов, М.В. Чекмарев, А.Ю. Гришин,
ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва*

Для решения задач дистанционного зондирования Земли из космоса широко используются радиолокационные комплексы с синтезированной апертурой антенны (РСА). Современный уровень развития этих средств позволяет получать высокодетальные изображения подстилающей поверхности с пространственным разрешением порядка одного метра и лучше. При этом съёмка может вестись в любых погодных условиях вне зависимости от времени суток. Применение в таких комплексах методов селекции движущихся целей (СДЦ) делает возможным обнаружение подвижных объектов на фоне моря и суши: кораблей, автомобилей, другой техники. Наблюдаемое в настоящее время интенсивное развитие космических РСА, обусловленное прогрессом в технологиях создания бортовой радиолокационной аппаратуры и реализацией новых методов пространственно-временной обработки сигналов, создает предпосылки для использования этих средств в задачах мониторинга воздушной обстановки (ВО).

Анализ различных методов, используемых в радиолокации для выделения отметок от движущихся наземных и морских объектов, показывает, что наиболее подходящим для этой задачи является доплеровский метод СДЦ, широко применяемый в радиолокационных комплексах (РЛК) авиационного базирования. Однако при его использовании в РЛК космического базирования к последнему предъявляются специфические технические требования.

Так для уменьшения ширины спектра помеховых отражений от поверхности, вызванных движением космического аппарата, РЛК должен быть оснащен крупноапертурной антенной с шириной ДНА в азимутальной плоскости около $0,2^\circ$ и низким уровнем боковых лепестков порядка – 25 дБ. Для однозначного определения высокой скорости движения ВО в РЛК должны применяться специальные режимы радиолокационной съемки с высокой частотой повторения импульсов около 40 кГц.

С учётом большой дальности до объектов наблюдения и относительно невысокой ЭПР последних остро встаёт вопрос обеспечения требуемого отношения сигнал/тепловой шум. Эта проблема может быть решена путём использования крупноапертурных бортовых антенн с площадью до 30 м^2 , выполненных в виде антенных решёток или гибридных зеркальных систем, и СВЧ-передатчиков, обеспечивающих среднюю мощность излучения порядка 1 кВт.

Оценки показывают, что такой бортовой РЛК с использованием доплеровских методов СДЦ способен обнаруживать ВО в широких полях обзора с требуемыми вероятностно-временными характеристиками.

КАЛИБРОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭТАЛОННОЙ БАЗЕ

*В.Т. Минлигареев, Ю.М. Качановский,
А.Ю. Штырков, Е.А. Панышин,
Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова,
г. Москва*

Гелиогеофизические явления оцениваются как опасные (ОГЯ) при достижении ими определенных значений (критериев), перечень которых приведен в руководящих документах российских и международных организаций по космической погоде.

Для достижения требуемого качества результатов наблюдений за космической погодой лабораторией измерительной техники и обеспечения единства измерений гелиогеофизических наблюдений ФГБУ «ИПГ» совместно с ведущими национальными метрологическими институтами (ВНИИМ, ВНИИФТРИ, СНИИМ) реализована ОКР по созданию распределенной эталонной базы для калибровки приборов гелиогеофизических комплексов космических аппаратов гидрометеорологического назначения. Такие работы проведены в стране впервые.

Для анализа параметров диагноза и прогноза ОГЯ ключевое значение имеют потоки энергичных протонов и электронов в околоземном космическом пространстве, и в процессе создания эталонной базы особый интерес представлял вопрос калибровки спектрометрической аппаратуры гелиогеофизических комплексов (приборы СКЛ, СКИФ, ГАЛС).

На созданной распределенной эталонной базе апробированы методики калибровок, проведены калибровочные работы на технологических образцах спектрометрической аппаратуры гелиогеофизических комплексов:

– спектрометров корпускулярных излучений СКИФ и СКЛ, предназначенных для измерений:

- плотностей потоков протонов ($3 \cdot 10^3 \div 10^9 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$, для $E_p=0,05 \div 20$ кэВ и $2,5 \cdot 10^{-1} \div 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$ для $E_p=2 \div 160$ МэВ; ≥ 160 МэВ);
- плотностей потоков электронов ($10 \div 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$ для $E_e=0,05 \div 20$ кэВ; $E_e=0,15 \div 10$ МэВ);
- детекторов галактических космических лучей ГАЛС, предназначенных для измерения плотности потока протонов высоких (более 600 МэВ) энергий галактических и солнечных космических частиц в диапазоне $1,0 \div 10^3 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$.

Эталоны, средства измерений и вспомогательное оборудование, применяемые при калибровке спектрометрической аппаратуры, приведены в таблице 1.

В результате калибровочных работ определены метрологические характеристики спектрометров СКЛ (чувствительность составила от $4,86 \cdot 10^{-6}$ до $1,15 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2 \cdot \text{ср}^{-1}$ с относительной погрешностью $\pm 10\%$) и СКИФ (чувствительность составила от $1,4 \cdot 10^{-8}$ до $2,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2 \cdot \text{ср}^{-1}$ с расширенной неопределенностью 24 %).

Определение чувствительности ГАЛС основано на расчетном методе Монте-Карло с применением методов численного моделирования взаимодействия высокоэнергетического протонного излучения с материалом детектора. Из приведенных расчетов следует, что в диапазоне энергий электронов от 1,0 МэВ до 15 МэВ эффект воздействия электронов на детектор аналогичен воздействию потока протонов в энергетическом интервале от 450 МэВ до 2000 МэВ. Это позволяет использовать методику замещения регистрации протонного излучения электронным при проведении настройки, калибровочных работ с детекторами типа ГАЛС, регистрируемое число черенковских фотонов которого при энергии протонов от 600 до 1000 МэВ составляет от $2,2 \cdot 10^3$ до $3,3 \cdot 10^3 \text{ см}^2$. Исследование калибровочных характеристик прибора ГАЛС (в т. ч. эффективной площади детектора) по приземному космическому излучению заключается в использовании методики замещения регистрации протонного излучения мюонным излучением (естественный изотропный источник), присутствующего во вторичных космических лучах с помощью мюонного годоскопа.

С учетом опыта по калибровке гелиогеофизической аппаратуры и в связи с разработкой нового федерального закона «О дистанционном зондировании Земли» возможно распространить научно-методический

подход, полученный в данных работах, для калибровки и валидации целевой аппаратуры дистанционного зондирования Земли.

ППМ X-ДИАПАЗОНА НА GAN ТРАНЗИСТОРАХ

*В.В. Груздов, Ю.В. Колковский, В.М. Миннебаев,
Открытое акционерное общество
«Научно-производственное предприятие «Пульсар»,
г. Москва*

За последние 20 лет GaN ЭКБ прошла большой путь, и сегодня на рынке доступны транзисторы, МИС и комплексированные СВЧ модули различных частотных диапазонов для различных применений. GaN устройства активно применяются в аппаратуре различного назначения, таких как спутниковые системы ДЗЗ, связь и вещание, РЛС различного базирования, системы широкополосной мобильной связи.

Уникальные свойства нитрида галлия приводят к достижению качественно лучших результатов, нежели традиционный GaAs (см. табл. 1).

Таким образом, GaN-устройства не только вытесняют с рынка электровакуумные приборы, но также серьезно конкурируют с GaAs за счет более меньших габаритов и веса, низкого энергопотребления, расширенного температурного диапазона, высокой надежности и высокой линейности.

ОАО «НПП «Пульсар» разработал и изготовил макетные образцы ППМ на основе нитрид-галлиевых транзисторов собственного изготовления для АФАР бортового радиолокационного комплекса «ЭЛСАР-1» для КА «МЕТЕОР-М» № 3. ППМ состоит из 2 идентичных приемо-передающих каналов X-диапазона с двумя поляризациями.

Таблица 1

Основные преимущества GaN ЭКБ

Наименование параметра	Положительный эффект при использовании в аппаратуре
Высокое напряжение пробоя (150-200 В)	Увеличение рабочего напряжения до 40-80 В Снижение рабочего тока

Высокая рабочая температура (более 250 С)	Расширение диапазона рабочих температур Увеличение времени наработки на отказ
Высокая удельная плотность мощности (5 Вт/мм – серийные, до 70 Вт/мм – экспериментальные)	Увеличение выходной мощности Увеличение коэффициента усиления Увеличение КПД Снижение массогабаритных размеров
Повышенная устойчивость к радиационным воздействиям (до 80 МэВхсм ² /мг)	Увеличение времени наработки на отказ в условиях специальных воздействий
Большие входное и выходное сопротивление транзистора (в 2-3 раза больше чем у GaAs)	Расширение диапазона рабочих частот
Лучшая линейность	Использование сложных видов модуляции
Низкие фазовые шумы	
Высокая устойчивость к воздействию входной мощности	Снижение требований к устройствам защиты в приемных трактах

Основные технические параметры, полученные по результатам испытаний 8-ми макетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Измеренные параметры ППМ

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение параметра	Норма			Результат измерений
		Не менее	Номинал	Не более	
Диапазон рабочих частот, ГГц	$\Delta f_{РАБ}$	9350	–	9750	
1. Параметры передающего тракта					
Выходная импульсная мощность, Вт (при компрессии коэффициента усиления не более 8 дБ)	Р_{вых.имп}	8	–	–	8,2
Неравномерность выходной мощности в рабочей полосе частот, дБ	ΔР_{вых.имп}	–	–	2,0	0,8
Нелинейность ФЧХ в передающем канале (по ансамблю), град.	ΔФпрд	–	–	±10	±7
Долговременная нестабильность фазы, градусы		–	–	±10	±5

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение параметра	Норма			Результат измерений
		Не менее	Номинал	Не более	
1. Параметры приемного тракта					
Коэффициент шума приемного канала, дБ	$K_{\text{ш}}$	–	–	4,4	4,2
Коэффициент передачи приемного канала, дБ	$K_{\text{у,прм}}$	27	30	–	32,5
Неравномерность АЧХ приемного канала, дБ	$\Delta K_{\text{ур}}$	–	–	2,0	1,5
Динамический диапазон входного сигнала относительно минимальной входной мощности минус 118 дБВт, дБ		45	–	–	46
Нелинейность ФЧХ в приемном канале (по ансамблю), градусы	$\Delta F_{\text{прм}}$	–	–	± 10	± 7
Разброс фаз между приемными каналами, град		–	–	± 30	± 20

Полученные результаты позволяют перейти к изготовлению опытных образцов.

ВОЗМОЖНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С РАДИОАКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА БОРТУ

*Н.С. Бахтигараев¹, Л.В. Рыхлова¹, С.Г. Казанцев²,
С.Е. Улин³, В.В. Чазов⁴*

1 – Институт астрономии РАН (ИНАСАН), г. Москва,

2 – ОАО «ВНИИЭМ», г. Истра,

3 – НИЯУ МИФИ, г. Москва,

4 – ГАИШ МГУ, г. Москва

В конце прошлого столетия на околоземные орбиты было запущено несколько десятков КА с ядерными источниками энергии, для которых время баллистического существования после их увода на орбиту захоронения составляет несколько сотен лет и они уже не будут представ-

лять опасность в случае попадания на Землю. Но, по нашим исследованиям, в случае разрушения этих аппаратов, некоторые радиоактивные обломки могут попасть в верхние слои Земной атмосферы уже через несколько лет, что может привести к радиоактивному заражению атмосферы и самой Земли. Эта проблема детально изучалась во ВНИИЭМ совместно с НИЯУ МИФИ, ФИАН и ИНАСАН в рамках научно-исследовательских проектов Федеральной целевой программы «Исследования и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы».

С помощью радиолокационных средств проводится постоянный контроль параметров орбит этих объектов, что позволяет осуществлять прогноз их движения в околоземном космическом пространстве. Однако для выявления фрагментации потенциально радиоактивно опасных космических объектов желательно подключить и оптические средства наблюдений, которые дают дополнительную и более точную информацию об этих объектах.

Для обнаружения и идентификации самого радиоактивного излучения космических объектов можно использовать гамма-спектрометры. Радио нуклиды создают характерное для каждого из них линейчатое гамма-излучение. Гамма-спектрометр с хорошей чувствительностью и высоким энергетическим разрешением, разрабатываемый в НИЯУ МИФИ совместно с ФГУП «НПП ВНИИЭМ», позволяет определять изотопный и количественный состав радиоактивных объектов, а также проанализировать динамику их дальнейшего состояния. Основным детектирующим элементом этого спектрометра является тонкостенная цилиндрическая импульсная ионизационная камера (ИК) с экранирующей сеткой. В качестве рабочего вещества в ней используется сжатый ксенон. Со всех сторон ИК окружена сцинтилляционным детектором на основе полистирола, включенного в схему антисовпадений. Сцинтилляционные вспышки от заряженных частиц регистрируются с помощью кремневых фотоумножителей (SPiM).

Основные физико-технические характеристики детектирующего блока аппаратуры «Нуклид»: энергетический диапазон регистрируемых гамма-квантов 0,03 – 5 МэВ; энергетическое разрешение на гамма-линии 662 кэВ $1,7 \pm 0,2$ (%); чувствительный объем – 4000 см³; масса ~ 6 кг; потребляемая мощность ≤ 15 Вт; напряжение питания +(24 – 27) В; рабочий температурный диапазон (0 – 80 °С); габариты

$\sim 150 \times 250 \times 500$ мм³; вибро-акустическая устойчивость до 100 дБ; гарантийный срок годности ≥ 10 лет. Для повышения чувствительности данную аппаратуру можно изготовить в виде нескольких (5 – 6) независимых детектирующих блоков и расположить их на внешних плоскостях КА. В этом случае, имеется возможность обнаруживать радиоактивные объекты на расстоянии $\sim 100 - 150$ км. Расчеты показывают, что если установить НА «Нуклид», например, на КА «Канопус-В-ИК», то его сближений с известными потенциально опасными радиоактивными объектами будет происходить примерно 1 – 2 раза в месяц.

Таким образом, на начальном этапе таких исследований, спектрометр НА «Нуклид» можно было бы расположить на одном из КА, изготавливаемых в ФГУП «НПП ВНИИЭМ» как попутный груз.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЪЕМКИ ВЫСОКОДЕТАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ РАДИОЛОКАТОРОМ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ

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

В современных космических системах высокодетального радиолокационного наблюдения Земли применяются радиолокаторы с синтезом апертуры антенны. Синтез апертуры, как правило, выполняется при наземной обработке радиолокационной информации. Чтобы достичь высокого пространственного разрешения (порядка 1 – 3 м) применяют специальные достаточно сложные методы наземной обработки. При этом качество радиолокационных изображений напрямую зависит от адекватности приближенных моделей, используемых в алгоритмах обработки, реальным условиям радиолокационной съемки, а также от точности сопроводительной информации. Чтобы имелась возможность оценки степени адекватности приближенных моделей, используемых в алгоритмах обработки, и степени влияния погрешностей в сопроводительной информации на качество изображений, необходима высокоточная модель процесса съемки радиолокатором во всех режимах.

В докладе рассматриваются алгоритмы и программа моделирования процесса съемки высокодетальным космическим радиолокатором с синтезированной апертурой антенны. Целью алгоритмов является формирование модельной радиоголограммы и сопроводительной информации в маршрутном, прожекторном и широкозахватном режимах работы радиолокатора.

Исходными данными для моделирования являются:

- 1) тип и параметры радиоимпульса;
- 2) диаграммы направленности антенны и возможности по её изменению в различных режимах съемки;
- 3) параметры движения аппарата по орбите, поддержания и изменения углов ориентации;
- 4) энергетические характеристики, координаты и скорости точечных целей на земной поверхности.

Предусматривается моделирование интерферометрической съемки как на различных витках орбиты, так и в режиме тандема.

В докладе представлены примеры смоделированных радиоголограмм для маршрутного, прожекторного и широкозахватного режимов съемки.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОПЫТ ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗЕРКАЛ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА ИКФС-2

*А.Г. Никулин,
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва,
С.В. Платанов,
НИИ Информатики и систем управления МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва*

В докладе представлены конструктивные особенности, схемное решение и система управления приводов перемещения зеркал-триэдров и зеркала сканера инфракрасного фурье-спектрометра ИКФС-2. Приведены требования к электроприводам по точности позиционирования и долговечности работы в условиях орбитального полета. Проведенный анализ телеметрической информации позволил

получить значения точности позиционирования зеркала сканера (не более 0,3 град) и погрешности поддержания скорости движения зеркал-триэдров (не более 0,5%) в реальных условиях функционирования. Опыт эксплуатации прибора в течение около двух лет показал, что приводы зеркал обеспечивают требуемое качество измеряемых спектров атмосферы и поверхности Земли.

ТЕПЛООБМЕННИК ДЛЯ КАЛИБРОВКИ АППАРАТУРЫ ИКФС-2 В ШТАТНОЙ КОМПЛЕКТАЦИИ

Д.О. Монахов

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва

При калибровке бортового фурье-спектрометра ИКФС-2 для КА «Метеор-М» № 2 температура фотоприемного устройства 80 К обеспечивалась установкой на прибор технологического термостата вместо штатного радиационного холодильника. Это приводит к отличию в комплектации прибора при калибровке и реальных условиях функционирования.

Для проведения калибровки в штатной комплектации был разработан теплообменник, устанавливаемый на радиационный холодильник вместо излучателя холодной ступени (80 К). Теплообменник позволяет работать как в условиях атмосферы, так и в вакууме.

Для устранения доступа влаги, на радиационный холодильник устанавливается дополнительная влагонепроницаемая крышка, а также проставочная втулка, перекрывающая проём между основанием прибора и основанием радиационного холодильника. В проставочной втулке размещается штуцер продувки сухим азотом. Уровень продувки подбирается таким образом, чтобы создать внутри радиационного холодильника избыточное давление, выше давления окружающей среды.

Для компенсации конвективных теплопритоков в атмосфере, на теплообменник подается переохлажденный азот при температуре не более 72 К. Для переохлаждения азота сосуд дьюара предварительно откачивается форвакуумным насосом до давления 0,2 от атмосферного.

Захолаживание фотоприемника наземного образца ИКФС-2 показало, что достижимый уровень температур составляет менее 78 К.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ И МОДУЛЕЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*П.А. Филоненко, А.С. Бурцев, В.В. Гончаров,
«НИИ КС имени А.А. Максимова» –
филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Королев*

Основной причиной отказов бортовых комплексов управления являются отказы вследствие выхода из строя комплектующих элементов (КИ). Для КИ отечественного производства, применяемых в изделиях, создаваемых в интересах Роскосмоса и Министерства обороны, расчет производится на основе справочника, который позволяет получать значения интенсивности отказов λ с учетом воздействия различных факторов в процессе эксплуатации КИ. Надежность КИ иностранного производства определяется по аналогичным справочникам, например, MIL-HDBK-217F.

Для каждого типа КИ (по индексу) по справочнику определяется значение базовой интенсивности отказов элементов без учета режимов и условий их функционирования λ_6 . На основе базовой интенсивности отказов λ_6 определяется значение эксплуатационной интенсивности отказов λ_3 и интенсивности отказов в режиме хранения λ_{xp} .

Для каждого типа КИ рассчитывается значение среднеквадратического отклонения σ_{λ_3} эксплуатационной интенсивности отказов λ_3 .

Данные о результатах натурных испытаний без учета ИИ КП объединяются со справочными данными с использованием байесовских методов статистического оценивания.

Для учета воздействия ИИ КП на КИ используется коэффициент влияния ионизирующих излучений $K_{ии}$, который зависит от видов и уровней воздействующих факторов и приводится в справочнике. Если значение коэффициента $K_{ии}$ неизвестно, то его необходимо определять по результатам натурных испытаний с учетом воздействия ИИ. При этом испытания с учетом воздействия ИИ проводятся аналогично испытаниям без воздействия ИИ, то есть по плану *NUT*, а полученный по результатам испытаний $K_{ии}$ применяется для учета конкретного уровня и вида воздействия, которое осуществлялось в ходе испытаний.

Коэффициент влияния воздействия ИИ $K_{ии}$ на КИ определенного типа определяется в условиях постоянства интенсивности отказов во времени.

Уточнение оценки влияния ИИ на эквивалентную оценку интенсивности отказов производится с использованием байесовского метода. При этом учитываются только те испытания, которые относятся к одной генеральной совокупности, т. е. в условиях одинаковых воздействующих факторов, одинаковых планах испытаний и пр.

Режимы эксплуатации могут содержать участки с различными интенсивностями отказов. В этом случае, в соответствии с изменениями режимов и условий функционирования весь период эксплуатации разбивается на участки приблизительного постоянства интенсивности отказов.

Оценка надежности модулей аппаратуры космического назначения осуществляется с использованием структурных схем надежности и диаграмм состояний работоспособности.

Расчетные оценки надежности элементов и модулей на различных этапах испытаний и эксплуатации объединяются в единый показатель с использованием весовых коэффициентов по весовой модели оценивания надежности в условиях статистически неоднородной информации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

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

Космический аппарат (КА) рассматривается как сложная техническая система, состоящая из бортовых узлов, отличающихся разнообразием функций. Для функционирования КА в течение требуемого САС его бортовая аппаратура (БА) должна иметь уровень надежности, соответствующий заданным в техническом задании (ТЗ) требованиям. Для космической отрасли важность этой задачи определяется невоз-

возможностью ремонта КА на орбите и высокой стоимостью КА и его выведения на орбиту.

При проведении оценки безотказности радиоэлектронной аппаратуры КА традиционно используется экспоненциальный закон распределения вероятности безотказной работы (ВБР). Эта методика давала хорошее подтверждение результатами эксплуатации при САС менее 3 – 5 лет. Опыт эксплуатации КА с более длительными САС показал, что: имеется весьма большой разброс достигнутых САС КА одного типа, особенно заметный для КА длительного функционирования; оценки надежности КА ДФ и бортовой аппаратуры, выполненные по моделям 22 ЦНИИ МО, дают завышенные значения; отсутствие методик, позволяющих с достаточной достоверностью прогнозировать ВБР сложных систем длительного функционирования на этапах эскизного и рабочего проектирования и устаревшая нормативная и справочная литература приводит к невыполнению требований ТТЗ (ТЗ).

Конструктивные решения, основанные на применяемых в настоящее время методах прогнозирования надежности КА длительного функционирования, не позволяют реализовать требуемый уровень надежности, заданный в ТЗ, с нужной точностью.

С целью повышения точности определения и прогнозирования надежности оснащения КА, актуальна задача формирования методологии определения ограничений, которые отражают особенности конструкторско-технологических решений, позволяющих обеспечить стабильность работы КА при воздействиях внешней среды. Одним из узких мест в ее решении является оценка надежности электронной аппаратуры.

В оснащение КА ДЗЗ входит от 90 тысяч электронных компонентов, применяемых с использованием схем резервирования.

Один из основных внешних факторов, влияющих на надежность электронных компонентов БА КА – радиационное воздействие. Объектом нашего рассмотрения является оценка воздействия радиации на субмикронные микросхемы.

Анализ проводимых расчетов показал, что отказ одной интегральной микросхемы в условиях радиационного дестабилизирующего воздействия может повлечь за собой сбой работы КА ДЗЗ, причем последствия подобного сбоя не всегда предсказуемы.

Прогнозирование радиационной стойкости КМОП ИМС космического назначения с достоверностью, позволяющей выполнять требо-

вания ТЗ, предлагается осуществлять специальными расчетно-экспериментальными методами, включающими соответствующие математические модели и используемые в конструкторской деятельности результаты радиационных испытаний специально разработанных для этих целей тестовых МОП-транзисторов.

Данные отечественной и зарубежной литературы показывают, что вопросы обеспечения радиационной стойкости биполярных и КМОП ИМС, актуальны для обеспечения минимального риска аварий изделий ракетно-космической техники на текущий и перспективный период реализации космических программ.

Эксперименты показывают, что полное восстановление или улучшение параметров свидетельствует о низкой плотности или отсутствии крупных дефектов и высоком уровне надежности. В данной работе в качестве критерия отбора нами предлагается вероятность невозможности восстановления параметров при отжиге, что позволяет выявить образцы микросхем с аномально низкой надежностью. Системность учета использования такого критерия позволяет отбраковать изделия с аномально низкой радиационной стойкостью и надежностью, не ухудшая их эксплуатационные характеристики. Для этого нами предлагается применять «способ разделения интегральных микросхем по радиационной стойкости и надежности».

Возможности повышения надежности КА:

1. Использование предлагаемого критерия оценки надежности повышает точность определения и прогнозирования надежности ЭКБ и БА КА.
2. Использование ограничений в оценке радиационной стойкости повысит точность прогнозирования радиационной стойкости ЭКБ.
3. Ставится задача актуализации нормативно-технической документации по вопросам оценки надежности с учетом специфики создания космических аппаратов длительного функционирования.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СЖАТИЯ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ФУРЬЕ-ИНТЕРФЕРОГРАММ

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

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

*²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Разработана методика синтеза Фурье-интерферограмм на основе гиперспектральных данных, находящихся в свободном доступе (например, на основе снимков AVIRIS), и модель системы сжатия, которая может применяться в данном случае.

Формируется функция модуляции (получается на основе реальных данных либо синтезируется математически; пример показан на рис. 1), которая впоследствии используется для модуляции слоев гиперспектрального куба по формуле:

$$u_{i,j}^k = \frac{v_{i,j}^k \cdot m_k}{v_{\max}^k \cdot m_{\max}}$$

где $u_{i,j}^k$ и $v_{i,j}^k$ – значение в слое k пикселя (i, j) исходного и модулированного кубов, соответственно; v_{\max}^k – максимальное значение в слое k ; m_k – максимальный элемент в слое k ; m_{\max} – максимальный элемент всего куба. Полученное значение округляется к ближайшему целому.

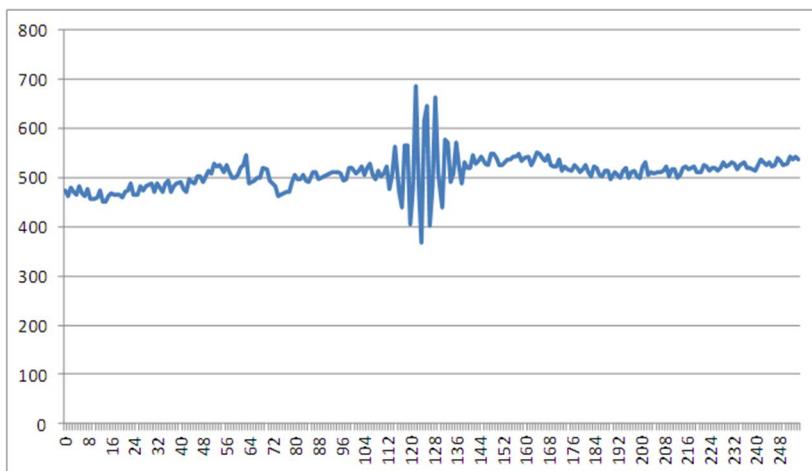


Рис. 1. Пример функции модуляции

Разработанная модель системы сжатия представлена на рис. 2. Входными параметрами являются m спектральных каналов. В качестве этапа предварительной обработки может использоваться вейвлет-разложение. Данный подход позволяет понизить избыточность данных в пространственной области и добавляет возможность управления процессом сжатия (адаптация модели для сжатия с потерями).

Задачей 3D реструктуризации битовых плоскостей является выявление закономерностей и формирование новой, более качественной последовательности, пригодной для арифметического сжатия. Финальным этапом предлагаемой модели является арифметическое кодирование.



Рис. 2. Модель системы сжатия

Эксперименты в рамках данного подхода показали приемлемый уровень сжатия при относительной вычислительной простоте. Основными недостатками является: трудность в получении функции модуляции и разработка пригодной к аппаратной реализации схемы 3D реструктуризации битовых плоскостей.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЯ РЕЛЕ НА ЦЕНТРИФУГЕ

*Ю.Н. Черкасов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Реле является традиционным видом продукции АО «Корпорация «ВНИИЭМ». По своим удельным характеристикам оно находится на уровне лучших мировых образцов аналогичного назначения. Поэтому их применяют в наиболее ответственных электрических цепях космических аппаратов и др. уникальных изделий. Требования к качеству выпускаемой продукции, в последнее время, сильно возросли и будут в дальнейшем только расти. Качество испытаний выпускаемых изде-

лий гарантирует качество самих изделий. Периодические испытания реле проводятся ежегодно. И по их результатам выносится решение о надлежащем качестве реле и возможности продолжения изготовления. Периодические испытания реле включают более 20 видов испытаний, среди которых есть ряд испытаний очень динамичных и, в то же время, очень энерго- время- и трудозатратных, к которым относится и испытание на центрифуге.

Штатная технология испытаний реле на центрифуге имеет ряд недостатков, среди которых наиболее значимыми являются малое число одновременно испытываемых реле, большие ресурсо- и энергозатраты, много рутинного труда и низкая точность оценок параметров реле. Штатная технология представлена в форме таблицы.

Разработаны новое устройство крепления реле, новое устройство контроля параметров реле – СКУЧ, так называемое сигнально-коммутационное устройство Черкасова, построенное на новом принципе пространственно-распределённых электрических переключателей и тумблеров, новый способ измерения и контроля параметров реле, заключающийся в совмещении измерения и контроля параметров и состоящий в одновременном измерении и контроле одновременно всех параметров реле одновременно у всех реле за один цикл изменения напряжения (увеличения и уменьшения) только одного источника постоянного тока. На их основе разработана новая технология испытания реле, заключающаяся в изменении последовательности положений реле на поворотной плите центрифуги при их испытании. Новая технология представлена в форме таблицы.

Эти разработки имеют научную новизну, опубликованы в нескольких научно-технических трудах и запатентованы. Все эти разработки внедрены в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и, с их использованием, проводятся ежегодные периодические испытания реле, начиная с 2013 года. Внедрение новой технологии дало новые технические результаты, заключающиеся в том, что:

- реле приобретают у АО «Корпорации «ВНИИЭМ» многие фирмы и не было ни одной рекламации на используемые реле;
- моторесурса тратится в 5 раз меньше при испытании одновременно 10 реле и в 2,8 раза меньше при испытании одновременно 5 реле;
- электроэнергии тратится в 5 раз меньше при испытании одновременно 10 реле и в 2,5 раза меньше при испытании одновременно 5 реле;

- трудозатраты в 4,56 раза меньше при испытании одновременно 10 реле и в 2,52 раза меньше при испытании одновременно 5 реле;
- повышена точность оценок и достоверность контроля параметров реле, исключены ошибки первого и второго рода.

Эти новые научные и технические результаты дали и дают АО «Корпорация «ВНИИЭМ» ежегодный экономический эффект и повышают научно-технический авторитет корпорации, что исключительно важно в условиях рыночной экономики и всё ужесточающейся конкуренции фирм.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЯ РЕЛЕ НА ВИБРОСТЕНДЕ

*Ю.Н. Черкасов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Реле является традиционным видом продукции АО «Корпорация «ВНИИЭМ». По своим удельным характеристикам оно находится на уровне лучших мировых образцов аналогичного назначения. Поэтому их применяют в наиболее ответственных электрических цепях космических аппаратов и др. уникальных изделий. Требования к качеству выпускаемой продукции, в последнее время, сильно возросли и будут в дальнейшем только расти. Качество испытаний выпускаемых изделий гарантирует качество самих изделий. Периодические испытания реле проводятся ежегодно. И по их результатам выносится решение о надлежащем качестве реле и возможности продолжения изготовления. Периодические испытания реле включают более 20 видов испытаний, среди которых есть ряд испытаний очень динамичных и, в то же время, очень энерго- время- и трудозатратных, к которым относится и испытание на вибростенде.

Штатная технология испытаний реле на вибростенде имеет ряд недостатков, среди которых наиболее значимыми являются малое число одновременно испытываемых реле, большие ресурс- и энергозатраты, много рутинного труда и низкая точность оценок параметров реле. Штатная технология представлена в форме таблицы.

Разработаны новое устройство крепления реле – куб на 10 реле с другим принципом крепления реле, новое устройство контроля пара-

метров реле – пульт для контроля 10 реле, отличающийся повышенной безопасностью (исключено ~220В) и новым принципом контроля параметров, новый способ измерения и контроля параметров реле, заключающийся в совмещении измерения и контроля параметров и состоящий в одновременном измерении и контроле одновременно всех параметров реле одновременно у всех реле за один цикл изменения напряжения (увеличения и уменьшения) только одного источника постоянного тока. На их основе разработана новая технология испытания реле, заключающаяся в совмещении испытаний на вибропрочность и виброустойчивость. Новая технология представлена в форме таблицы.

Эти разработки имеют научную новизну и опубликованы в нескольких научно-технических трудах. Все эти разработки внедрены в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и, с их использованием, проводятся ежегодные периодические испытания реле, начиная с 2013 г. Внедрение новой технологии дало новые технические результаты, заключающиеся в том, что: реле приобретают у АО «Корпорации «ВНИИЭМ» многие фирмы и не было ни одной рекламации на используемые реле; моторесурса тратится в 4 раза меньше; электроэнергии тратится в 4 раза меньше; трудозатраты в 7,9 раза меньше; повышена точность оценок и достоверность контроля параметров реле, исключены ошибки первого и второго рода.

Эти новые научные и технические результаты дали и дают АО «Корпорация «ВНИИЭМ» ежегодный экономический эффект и повышают научно-технический авторитет корпорации, что исключительно важно в условиях рыночной экономики и всё ужесточающейся конкуренции фирм.

СЕКЦИЯ 4.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И КОРРЕКЦИЯ ПОЛОЖЕНИЙ ОПОРНЫХ ТОЧЕК КО-РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАЗНОВРЕМЕННОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Л.А. Белозерский,

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики» Национальной академии наук Беларуси», г. Минск

Представляя геометрическую коррекцию изображения текущей съемки для согласования отражаемых им пропорций земной поверхности с пропорциями опорного изображения, получаемого в предшествующей съемке, ко-регистрация предполагает ряд специфических действий. Одно из них, автоматическая расстановка опорных (согласующих точек) на изображении текущей съемки, в большом числе случаев сопровождается ошибками. Причиной этого является известная неустойчивость используемого экстремального метода корреляции изображений к искажениям, особенно при отличии пространственных разрешающих способностей и спектральных диапазонов их разновременной съемки. Отсюда решение по обнаружению и коррекции возникающих ошибок является новым и актуальным в совершенствовании тематической обработки спутниковой съемки. Полное соответствие геометрических пропорций изображения текущей съемки, прошедшего ко-регистрацию, пропорциям опорного достигается только при отсутствии ошибок расстановки. Такой идеализации соответствует равенство взаимных расстояний между реперными точками одного и другого геометрически согласованных изображений. Отсюда следует возможность ввода характеристики расстановки рассматриваемых точек на одном и другом изображениях – матриц их взаимных расстояний (МВР). В свою очередь использование этой пары матриц влечет за собой определение непосредственного носителя информации об ошибочной установке опорных точек – разности этих матриц (РМВР) для геометрически сведенных изображений разновременной съемки. При отсутствии ошибок разностная матрица является нулевой. На практике это равенство отсутствует, в силу чего она отражает как номер ошибочно установленной точки, так и величину ее смещения. Характерным для прямого определения такого носителя информации является необходимость ко-регистрации согласуемой пары изображений при

начальной ошибочной расстановке опорных точек. Затем, после обнаружения ошибок и коррекции необходимо повторение тех же действий для устранения несогласованности. Сдерживающим фактором здесь является наличие такой ресурсоемкой операции в ко-регистрации, как интерполяция яркостей. Предлагаемый выход из создавшегося положения – разделение выполнения ко-регистрации на два этапа. Первый из них требует незначительного времени реализации и является алгоритмически достаточным для автоматического определения разностной матрицы, а также для коррекции начальной расстановки опорных точек. Введение порога существенности ошибок, подлежащих устранению, и его изменений в возможных циклах уточнения определяет предлагаемую схему коррекции.

При этом завершение операций первого этапа после достижения требуемой точности расстановки опорных точек не мешает выполнению ко-регистрации в объеме ее второго этапа.

КОНВЕЙЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОТ ВЫСОКОДЕТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

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

Технология наземной обработки данных от спутниковых систем высокого пространственного разрешения типа «Канопус-В» и «Ресурс-П» включает последовательное выполнение операций: каталогизацию маршрутов съёмки с оценкой точности геопривязки и качества информации, в первую очередь степени облачного покрытия; обработку безоблачной или малооблачной информации по стандартным уровням 1 или 2 для выдачи в Геопортал или по заявкам потребителей; перезапись закаталогизированных и обработанных маршрутов съёмки из оперативного в долговременный архив.

В настоящее время эти операции выполняются на различных рабочих местах в ручном режиме, что приводит к крайне не эффективному использованию ресурсов вычислительной техники и значительным временным затратам. С созданием группировки КА резко возрастают объёмы информации, поступающие на приёмные центры, что делает

актуальными создание высокопроизводительных систем обработки данных ДЗЗ. Одним из вариантов решения поставленной задачи является организация конвейерной обработки материалов съёмки, которая основана на следующих принципах.

Первое, программные комплексы каталогизации и обработки информации по стандартным уровням должны функционировать как в автоматическом, так и в автоматизированном режимах. Автоматизированная обработка должна использоваться применительно к маршрутам съёмки, не обработанным в автоматическом режиме.

Второе, должны быть полностью автоматизированы операции выделения на снимках облачных объектов, контроля и уточнения геопривязки видеоданных.

Третье, в максимальной степени должны использоваться ресурсы техники за счёт организации параллельной обработки информации на многомашинном комплексе.

С учётом этих принципов предлагается следующая схема каталогизации и обработки информации ДЗЗ (см. рис.). Диспетчер каталогизации осуществляет просмотр дискового массива оперативного архива, выявляет вновь появившиеся в нём маршруты съёмки и запускает процедуру их автоматической каталогизации. Для каждого маршрута оценивается степень облачного покрытия с использованием алгоритма, предложенного в работе. Если процент облачного покрытия меньше допустимого значения, то оценивается точность его геодезической привязки по опорному растровому покрытию. В случае, если ошибки геопривязки больше 30 м, то уточняются элементы внешнего ориентирования этого маршрута.

Программный комплекс каталогизации для всех маршрутов формирует квиклуки и метаданные и помещает эту информацию в БД каталога. Дополнительно в БД заносится процент облачных объектов на маршруте съёмки, точность геопривязки.

Имена маршрутов, для которых по каким-либо причинам не были оценены показатели качества передаются на РМ автоматизированной каталогизации. Остальные маршруты считаются пригодными для дальнейшей обработки, о чём сообщается диспетчеру потоковой обработки. Таким образом, во время каталогизации i -го маршрута ведётся обработка $(i-1)$ -го. После завершения обработки $(i-1)$ -го маршрута и записи результата в каталог выходной продукции формируются две

квитанции. Одна для занесения признака обработки закаталогизированного маршрута, вторая – о возможности его передачи в долговременный архив.

В докладе приводятся примеры работы алгоритмов выделения облачности и уточнения привязки по опорному покрытию, сформированному на основе снимков от КА Landsat-8. Рассматриваются особенности организации конвейерной обработки для КА «Канопус-В» и «Ресурс-П».

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КМСС В УСЛОВИЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ТИПА «МЕТЕОР-М»

*О.В. Бекренёв, Л.А. Гришанцева,
Л.И. Пермитина, П.Р. Цымбарович,
Научный центр оперативного мониторинга Земли
АО «Российские космические системы»,
г. Москва*

Основными проблемными вопросами, возникающими при проектировании аппаратно-программных средств (АПС) обработки данных ДЗЗ, являются:

- высокая интенсивность информационного потока;
- потребность в оперативном предоставлении продуктов обработки данных конечным пользователям, прежде всего МЧС России;
- ограниченный бюджет на эксплуатацию орбитальной группировки.

Учитывая многолетний опыт НЦ ОМЗ по обработке данных космической съемки и взаимодействию с потребителями, представляется целесообразным построение технологии обработки информации в соответствии со следующими принципами:

- проектируемые средства должны обеспечивать весь цикл работ с учетом различных особенностей целевой аппаратуры, причем добавление новой целевой аппаратуры не должно приводить к необходимости переделки всех компонентов АПС;
- программы распаковки и первичного анализа качества информационного потока должны иметь единый стандартизованный интерфейс

для всех видов целевой аппаратуры. Это позволяет автоматизировать управление и контроль технологических процессов и обработки, а также минимизировать затраты на доработку аппаратно-программных средств при вводе в эксплуатацию новой целевой аппаратуры;

– в процессе обработки данные должны быть автоматически разделены на фрагменты (кадры, сцены) для последующей каталогизации и архивации. Это позволяет минимизировать затраты на выполнение заявок потребителей (получение из архива и дополнительную обработку);

– обработка данных должна выполняться автоматически до некоторого универсального уровня, позволяющего потребителям использовать полученную информацию в своей работе. Для оптической аппаратуры оптимальным представляется следующий уровень обработки: радиометрически и геометрически скорректированные, географически привязанные данные без трансформации в проекцию (уровень 1В по классификации NASA/CEOS).

В работе представлена технология потоковой автоматической обработки данных КМСС, разработанная специалистами НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы» и доработанная с учетом технических особенностей целевой аппаратуры на различных КА «Метеор-М».

Аппаратно-программный комплекс автоматической потоковой обработки данных КМСС спроектирован таким образом, чтобы администрирование процесса обработки данных, получаемых со всех КА из состава КК «Метеор-3М», выполнялось одним оператором, который осуществляет контроль работы программного обеспечения, выдачу отчетов об обработке, а также распределение данных КМСС для выполнения заказов потребителей. Остальные действия по обработке информации: получение, распределение данных по серверам обработки, распаковка, контроль целостности, принятие решения о способе обработки данных, обработка и передача данных в архив с выполнением соответствующих протоколов информационного взаимодействия, – выполняются аппаратно-программным комплексом обработки в автоматическом режиме.

Данная технология может быть доработана в обеспечение автоматизации целевого применения другой мультиспектральной аппаратуры КА природно-ресурсного и гидрометеорологического назначения.

Работа выполнена в рамках ОКР «Метеор-3М» Федеральной космической программы России на период 2006 – 2015 гг.

УНИФИЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЕДЕНИЯ АРХИВОВ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ ОБРАБОТКИ

*А.В. Кашицкий, Е.А. Лупян, А.А. Прошин, И.В. Балашов,
Институт космических исследований РАН, г. Москва*

В современных системах дистанционного мониторинга необходимо работать с данными, получаемыми с помощью большого количества разнообразных приборов наблюдения Земли, имеющих различные характеристики, разрешение и схемы функционирования. Для работы с такой разнородной информацией необходимо иметь унифицированные схемы ведения архивов спутниковых данных, которые позволяли бы максимально однотипно работать со всей этой информацией. При построении архивов спутниковых данных необходимо учитывать, что практически во всех современных системах необходима реализация возможности распределенной работы с информацией, а также работа не столько с исходными спутниковыми данными, сколько с различными информационными продуктами, получаемыми на их основе. При этом число информационных продуктов, используемых в системах, может быть достаточно большим, что приводит к необходимости реализации механизмов работы с «виртуальными» продуктами, которые динамически формируются на момент запроса их пользователями на основе хранящихся в архивах базовых продуктов. Для обеспечения подобных возможностей система ведения архивов должна поддерживать эффективные механизмы быстрого выбора различных фрагментов данных и наборов необходимых каналов и иметь механизмы, позволяющие удобно работать с «виртуальными» продуктами, а не только с хранящимися в архивах.

Настоящий доклад посвящен описанию системы унифицированного ведения разнородных архивов спутниковых данных, рассчитанных на возможность распределенной работы как с хранящимися в архивах, так и с «виртуальными» информационными продуктами. Данная система была разработана в Институте Космических Исследований Российской Академии Наук (ИКИ РАН) на основе опыта, полученного при создании и поддержке архивов данных в различных системах дистанционного мониторинга. В созданной системе реализована унифицированная система ведения не только самих архивов спутниковых

данных, но и описаний, необходимых для работы с ними, а также правил и схем формирования «виртуальных» продуктов. Система обеспечивает возможность выбора данных и необходимых для построения таких продуктов спектральных каналов, в ней имеются механизмы, обеспечивающие возможность проведения обработок и анализа имеющихся продуктов, в том числе «виртуальных».

В докладе рассматривается общая архитектура построения разработанной системы ведения архивов спутниковых данных, рассматривается реализованный механизм организации работы с «виртуальными» продуктами. А также представлены основные преимущества использования предлагаемых подходов ведения архивов спутниковых данных при построении систем дистанционного мониторинга.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЧС РОССИИ В ПАВОДКООПАСНЫЙ ПЕРИОД

Я.В. Алексеенко¹, Ш.С. Фахми²

¹ Федеральное казенное учреждение

«Национальный центр управления в кризисных ситуациях» МЧС России

г. Москва,

*Санкт-Петербургский университет государственной
противопожарной службы МЧС России*

г. Санкт-Петербург

² Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко ФАНО

г. Санкт-Петербург

С 1997 года в МЧС России функционирует Система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций МЧС России (СКМ ЧС МЧС России). Одной из главных задач СКМ ЧС МЧС России является мониторинг паводковой обстановки на территории Российской Федерации.

Основным источником о паводковой обстановки на территории Российской Федерации являются изображения (космические снимки) низкого и среднего пространственного разрешения, получаемые с космических аппаратов TERRA и AQUA, а также «Метеор-М». Эти данные используются для осуществления «глобального» мониторинга паводковой обстановки. Для уточнения районов возможных подтоплений или подтоплений используются данные высокого и сверхвысокого пространственного раз-

решения (в основном с космических аппаратов типа «Ресурс-П» и «Канопус-В»).

Для доведения результатов космического мониторинга паводковой обстановки на территории Российской Федерации до территориальных органов МЧС России используется географическая информационная система «Каскад» (ГИС «Каскад»), а также информационный ресурс анализа развития паводковых явления на реках Российской Федерации. Данные системы функционируют только в ведомственной компьютерной сети Интранет МЧС России (Интранет МЧС России).

ГИС «Каскад» предоставляет как растровые изображения (космические снимки), так и векторные слои (такие как плотины гидроэлектростанций, ледовые переправы, гидропосты и т. д.). Для повышения эффективности реагирования на паводковые явления в конце 2015 года был разработан информационные ресурс, позволяющий проводить мониторинг всех крупных рек Российской Федерации в удобном виде. Использование ГИС «Каскад» позволяет своевременно принимать управленческие решения, направленные на предотвращение человеческих жертв и крупного материального ущерба в результате опасных паводковых явлений.

В заключение хотелось бы отметить, что для повышения эффективности использования ГИС «Каскад» необходимо применение наряду с изображениями (космическими снимками) низкого и среднего пространственного разрешения применять данные высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, а также отображение данных гидропостов.

В настоящее время проводятся работы по реализации данных возможностей в ГИС «Каскад».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЧС РОССИИ В ПОЖАРООПАСНЫЙ ПЕРИОД

Я.В. Алексеенко¹, Ш.С. Фахми²

¹ Федеральное казенное учреждение

*«Национальный центр управления в кризисных ситуациях» МЧС России,
г. Москва,*

*Санкт-Петербургский университет государственной
противопожарной службы МЧС России,*

*² Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко ФАНО,
г. Санкт-Петербург*

С 1997 года в МЧС России функционирует Система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций МЧС России (СКМ ЧС МЧС России). Одной из главных задач СКМ ЧС МЧС России является мониторинг природных пожаров на территории Российской Федерации и приграничных районах. В МЧС России разработаны и утверждены «Методические рекомендации по организации работы органов управления РСЧС в пожароопасный сезон» от 22.06.2015 (Методические рекомендации). Методические рекомендации разработаны для выработки единых подходов и повышения эффективности организации работы координационных, постоянно действующих и органов повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в пожароопасный сезон. Основным источником о природных пожарах являются оперативные данные космического мониторинга МЧС России.

Для своевременного доведения информации об обнаруженных термических точках СКМ ЧС МЧС России информация передается как в текстовом виде (в виде таблиц), так и размещается в географической информационной системе «Каскад» (ГИС «Каскад») в виде векторных слоев, а также размещаются изображения (космические снимки) опасных очагов природных пожаров. Для более эффективного принятия управленческих решений, направленных на предотвращение человеческих жертв и материального ущерба, в ГИС «Каскад» добавлена различная необходимая информация (такая как торфяники, места массового отдыха людей, пожарные подразделения и т. п.). В ГИС «Каскад» существует возможность построения прогноза развития пожара (используются методики ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) и Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук).

ГИС «Каскад» представляет собой территориально-распределенную систему, размещенную в ведомственной компьютерной сети Интранет МЧС России (Интранет МЧС России). Узлы ГИС «Каскад» размещены в городах Москва, Вологда, Красноярск и Владивосток. Это позволяет сократить временные издержки на передачу информации о природных пожарах потребителям. Главными потреби-

телями являются специалисты оперативных дежурных смен центров управления в кризисных ситуациях Главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации, Региональных центров, а также Национального центра управления в кризисных ситуациях.

В заключение хочется отметить, что ГИС «Каскад» полностью разработан специалистами Красноярского филиала федерального казенного учреждения «Национальный центр управления в кризисных ситуациях». Это позволяет оперативно разрабатывать и внедрять необходимые программные модули и службы для обеспечений ГИС «Каскад». Так разработаны и успешно применяются множество служб и программных модулей, обеспечивающих как мониторинг функционирования ГИС «Каскад», так и загрузку дополнительной информации со сторонних ресурсов. В настоящее время доступ к ГИС «Каскад» организован только пользователям Интранет МЧС России. Для обеспечения доступа к данным космического мониторинга природных пожаров специалистам единых дежурных диспетчерских служб, собственников земель и другим заинтересованным лицам проводятся работы необходимо размещение ГИС «Каскад» Интернет. Для решения данной задачи организован доступ к ГИС «Каскад» (в «облегченном» виде) пользователям Интернет в тестовом режиме. Доступ к ГИС «Каскад» в сети Интернет можно получить по адресу <http://ukmmchs.ru/>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ПЛАНОВ

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

Согласно Федеральному закону от 30.12.2015 г. № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», госу-

дарственные топографические карты и государственные топографические планы создаются в государственных системах координат и высот в соответствии с требованиями, установленными настоящим Федеральным законом. Точность и содержание государственных топографических карт и государственных топографических планов должны обеспечивать решение общегосударственных, оборонных и иных задач.

Одним из основных видов цифровой картографической продукции топографо-геодезической отрасли являются цифровые топографические карты (ЦТК) и цифровые планы городов (ЦПГ), в качестве основных источников геопространственной информации для обновления которых применяются материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

В современных условиях развития систем ДЗЗ создание и обновление карт и планов выполняется на основе сканерных оптико-электронных снимков, полученных с помощью различных сенсоров космического базирования (Космическая система в составе 3-х космических аппаратов (КА) «Ресурс-П», КА «Канопус-В», КА «Ресурс-ПМ», Цифровая космическая картографическая система в составе 2-х КА оптико-электронного детального наблюдения.).

Общая технологическая схема создания и обновления ЦТК и ЦПГ на основе данных ДЗЗ представлена на рисунке.



Общая схема создания и обновления ЦТК и ЦПГ

На каждом из этапов технологического процесса в разной мере осуществляется использование данных ДЗЗ.

Вопросам использования современных и перспективных отечественных материалов космической съемки для обновления государственных топографических карт посвящён данный доклад. Основные методы обработки данных ДЗЗ, в том числе методы автоматической обработки, являются предметом дальнейших исследований в этом перспективном для топографо-геодезической отрасли направлении, имеющем большую практическую ценность для экономики и обороноспособности страны.

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПАМЕЛА НА БОРТУ СПУТНИКА ДЗЗ

*В.В. Михайлов, С.А. Воронов,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва*

Магнитный спектрометр ПАМЕЛА был установлен на космическом аппарате ДЗЗ «Ресурс ДК1» для измерения спектров космического излучения в широком диапазоне энергий. от 100 МэВ до сотен ГэВ.

В эксперименте непрерывно проводился мониторинг радиационной обстановки вокруг Земли, что в результате привело к недавнему открытию антипротонов в радиационном поясе Земли, образованных при распаде альбедных антинейтронов. Солнечная активность, в том числе обнаружение солнечных вспышек, находилась под постоянным контролем посредством изучения временных вариаций спектров космических лучей от ~100 МэВ до ~30 ГэВ. Характеристики спектрометра «ПАМЕЛА» также дают возможность исследовать ядерный и изотопный состав солнечных частиц в высокоэнергетичной части спектра, обеспечивая, тем самым, уникальную информацию механизмах генерации и ускорения частиц в мощных солнечных вспышках. Минимум солнечной активности между 23 и 24 солнечными циклами оказался аномально продолжительным. С 2010 г. число активных регионов, в том числе солнечных пятен, увеличилось, и, как следствие,

возросло количество солнечных вспышек с выбросом в межпланетное пространство ускоренных заряженных частиц. В новом 24 цикле солнечной активности в эксперименте ПАМЕЛА зарегистрировано более 20 событий, в которых наблюдались высокоэнергетичные протоны с энергией $E > 100$ МэВ.

Успешному выполнению научной программы в немалой степени способствовала организация обработки данных на Земле, позволяющая оперативно контролировать качество приема научной информации и функционирование научной аппаратуры на борту космического аппарата «Ресурс-ДК».

Система сбора и обработки информации прибора создана на основе SPARC процессора и имеет память 2 Гб, куда записывается вся информация о зарегистрированных событиях. Средний объем одного события составляет 4 кБ. Поступающие с борта спутника экспериментальные данные принимались в Научном Центре Оперативного Мониторинга Земли, расположенном в Москве.

Наземный сегмент представляет собой совокупность аппаратно-программных средств, позволяющих проводить прием, экспресс-анализ и обработку полученной информации потребителям.

Разработанная система обработки создана на базе пакета ROOT. Пакет разработан в ЦЕРН специально для хранения, обработки и визуализации физических данных. ROOT обладает богатейшими возможностями для построения гистограмм и графиков различных видов, имеет большое количество математических и физических функций для обработки данных. ROOT использует объектно-ориентированный подход к хранению и обработке данных (физические события в экспериментах представляются в виде объектов). Также ROOT предоставляет возможности для написания графического пользовательского интерфейса.

Созданная система обладает несколькими особенностями. Во-первых, подсистема экспресс-контроля способна оперативно в автоматическом режиме обрабатывать большое количество информации, так как объем данных, передаваемых научной аппаратурой может достигать до 20 Гб в сутки. Это достигается параллельной обработкой файлов, полученных в сеансах связи и параллельным запуском процессов. Благодаря системе ROOT обеспечивается прямой доступ к нужным данным, что значительно сокращает время на операции ввода-вывода. Время обработки суточного объема данных не превышает 4 ч. Во-

вторых, для обработки была реализована модульная система обработки информации, позволяющая создавать, оперативно подключать и отключать дополнительные методы анализа.

Для оперативного управления базой данных по проведенным на борту сеансам записи и сеансам связи между спутником и Землей был создан специализированный WEB-интерфейс. WEB-интерфейс обладает простым и понятным интерфейсом, который позволяет создавать, редактировать и искать сеансы записи и передачи информации. В рамках WEB-интерфейса обеспечивается возможность информационного обмена с комплексом планирования дистанционного зондирования Земли, в специальном формате формируются заявки на запись информации эксперимента ПАМЕЛА.

С лета 2006 г. по январь 2016 г. была проведено более 8000 сеансов связи, всего было получено более 50 ТБ научной информации. За исключением нескольких кратковременных сбоев все это время системы прибора работали в нормальном режиме.

Разработанная система приема, экспресс-контроля и обработки информации космического эксперимента ПАМЕЛА за несколько лет эксплуатации доказала свою надежность и удобство использования.

**ВЕДЕНИЕ ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ
ОСНОВЫ СТРАНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СУБЪЕКТАХ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

В целях оперативного информационно-картографического обеспечения органов государственной власти и органов местного самоуправления в субъектах Российской Федерации, для принятия научно-обоснованных оптимальных решений по территориальному управлению, необходимы актуальные, объективные и точные данные о состоянии и изменениях природных и антропогенных объектов, расположенных в различных регионах страны. Федеральным Законом «О гео-

дезии, картографии, пространственных данных...» единая электронная картографическая основа (ЕЭКО) определена в качестве сновного картографического источника таких комплексных пространственных данных (открытого пользования). Оптимальный состав ЕЭКО будет разработан с учетом требований: включения информации о топографических объектах – элементов содержания на цифровых топографических картах (ЦТК); обеспечения достаточности координатно-привязанных отраслевых пространственных данных, в частности, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости, в Единого государственном реестре объектов градостроительной деятельности, других отраслевых реестрах, информационных системах, а также других требований, разработка которых предусматривается в рамках создания и ведения ЕЭКО.

Очевидно, что данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемые как современными космическими системами ДЗЗ, так и перспективными, станут: первоисточником сведений об изменениях топографических объектах, основой при формировании ортофотоизображений территорий картографирования ЕЭКО, пространственно-временной фактографической базой данных для государственного топографического мониторинга (ГТМ) и др. Использование регулярно получаемой актуальной космической информации высокого пространственного разрешения предполагается на этапах обзорного и детального топографического мониторинга в системе ГТМ, которая станет основным функционалом в государственной информационной системе ведения единой электронной картографической основы.

В АО «НИиП центр «Природа» выполнялись и, в инициативном порядке, продолжают исследования: по проектированию ЕЭКО; созданию системы ГТМ; разработке требований к изобразительным и измерительным свойствам материалов космической съемки, используемым в вышеуказанных исследования, результаты которых будут представлены в настоящем докладе.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОРРЕКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ГЛОБАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

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

Глобальные системы наблюдения Земли с периодичностью 5 – 30 минут формируют изображения целого диска Земли в нескольких спектральных каналах. Для наблюдения полного диска Земли высота спутника должна быть значительной, поэтому съемка осуществляется с геостационарной или высокой эллиптической орбиты. При этом изменения положения спутника относительно Земли не достаточно для развертки изображений, т. е. в съемочной аппаратуре должен быть реализован механизм двухкоординатной развертки сцены. В настоящее время высокое качество съемки (разрешение порядка 1 км) может быть достигнуто только с помощью датчиков сканового принципа действия, в которых для съемки используется одна или несколько линеек фотоприёмников, а развертка осуществляется при помощи сканирующего зеркала.

Изображения от «скановых» датчиков являются структурно-разрывными, имеют значительные геометрические искажения и непосредственно не могут быть использованы потребителями. Возникает задача преобразования таких изображений в стандартную форму, инвариантную к особенностям съёмочной аппаратуры. Решение задачи основано на построении модели геометрии формирования и коррекции изображений, которая связывает координаты точек сканового изображения, земной поверхности и предназначенного для потребителей нормализованного снимка.

В докладе рассматриваются геометрические модели современных скановых датчиков, обеспечивающих глобальное наблюдение Земли. Исходя из строго математического описания работы датчиков и процесса съемки земли с высокой орбиты, строится детерминированное математическое описание процесса съемки. Исследован вопрос согласования математической модели съёмки с реальной геометрией формирования изображения. Рассматриваются варианты параметризации моделей на уровне конструктивных параметров и оптимальный выбор системы координат для функций регрессии. Также предложено использовать динамические модели и математический аппарат теории динамических систем для более полного учета действия различных случайных факторов (например, неравномерности вращения зеркала), как в процессе съемки, так и в ходе эксплуатации космической системы.

Рассматриваются вопросы уточнения геометрических моделей по различным ориентирам: специальным эталонным объектам в процессе

наземной геометрической калибровки видеодатчика, и по реальным изображениям Земли в процессе летных испытаний и штатной эксплуатации космической системы. Исследованы вопросы самокалибровки съёмочной аппаратуры за счет использования сложной иерархической структуры современных многозональных скановых датчиков и избыточности в плане наблюдения сцены.

Приводятся результаты апробации предложенных геометрических моделей для коррекции изображений от геостационарных космических систем «Электро-Л» № 1 и № 2.

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА МСУ-ИК-СРМ КА «КАНОПУС-В-ИК»

*Р.С. Пронченко, Е.П. Козлов,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет»
(НИИ «Фотон»), г. Рязань*

По данным Федеральной службы государственной статистики в России ежегодно регистрируется от 10 до 35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 500 тыс. до 2 млн 500 тыс. га. Мониторинг лесных пожаров на территории нашей страны является достаточно сложной задачей, так как, во-первых, леса занимают огромные площади (около двух третей территории), а во-вторых, для своевременного тушения и недопущения дальнейшего распространения пожаров, необходимо обеспечить высокую оперативность их обнаружения.

В настоящее время основным источником данных для мониторинга лесных пожаров являются зарубежные метеоспутники TERRA и AQUA с датчиком MODIS, которые обеспечивают несколько снимков в сутки на любой регион России с пространственным разрешением в ИК диапазоне 1 км.

На 2016 год запланирован запуск перспективного отечественного космического аппарата «Канопус-В-ИК», предназначенного для решения широкого спектра задач оперативного мониторинга. На аппарате будет установлен многоканальный радиометр МСУ-ИК-СРМ, работающий в среднем и дальнем инфракрасных диапазонах и обладающим пространственным разрешением 200 м.

В докладе исследуется возможность использования известного алгоритма MOD14 для обнаружения лесных пожаров по данным от радиометра МСУ-ИК-СРМ. На предварительном этапе обработки выполняется прецизионное совмещение ИК каналов и создание стандартной продукции уровня 2А. Далее алгоритм MOD14 анализирует температуру каждого пиксела в двух инфракрасных спектральных каналах и предполагает, что фоновая температура понижается с удалением от пожара. В первую очередь алгоритм учитывает интенсивность средневолнового инфракрасного излучения – чем выше температура в этом канале, тем больше вероятность пожара. Во вторую очередь рассматривается разность температур в дальнем и среднем инфракрасных каналах – чем она выше, тем также больше вероятность пожара. Дополнительным условием признания пиксела изображения пожаром является существенное отличие его температуры от окружающих пикселей. Таким образом, чтобы пиксел изображения считался пожаром, он должен удовлетворять следующему условию:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 > \bar{T}_1 + 4\sigma_1 \text{ или } T_1 > 320\text{K}(315\text{K для ночи}) \\ \Delta T > \overline{\Delta T} + 4\delta_{\Delta} \text{ или } \Delta T > 20\text{K}(10\text{K для ночи}) \end{array} \right\}$$

где T_1 – температура пиксела в среднем ИК диапазоне; ΔT – разность температур в дальнем и среднем ИК диапазонах; \bar{T}_1, σ_1 – средняя температура и её стандартное отклонение для окрестностей пиксела; $\overline{\Delta T}, \delta_{\Delta}$ – средняя разность температур и её стандартное отклонение для окрестностей пиксела.

Более высокое пространственное разрешение МСУ-ИК-СРМ по сравнению с MODIS позволит обнаруживать пожары малой площади возгорания на ранней стадии их возникновения. Для отсеивания ложных срабатываний алгоритма MOD14, таких как солнечные блики, участки береговой линии, объекты техногенного характера и т. п. в докладе предлагается использовать маску растительности, полученную на основе векторных данных проекта OpenStreetMap.

Данные проекта OpenStreetMap создаются и поддерживаются в актуальном состоянии пользователями интернета, свободно распростра-

няются, постоянно обновляются и уточняются. В отличие от аналогичных проектов, данные доступны для скачивания и использования в офлайн-режиме.

Для каждого снимка динамически создается растровая маска растительности, коды яркости пикселей которой позволяют определить принадлежность соответствующих пикселей снимка лесам, паркам, кустарникам и т. д. Привлечение такой маски конкретизирует состав и сужает объем исходных данных для алгоритма поиска лесных пожаров, тем самым позволяя повысить скорость и точность его работы. Источником данных для построения маски являются полигоны векторных слоев данных OpenStreetMap, принадлежащих растительности. Исходный набор полигонов пересекается с географическим регионом снимка. Полигоны, полученные в результате пересечения, обрабатываются алгоритмом Дугласа-Пекера для уменьшения избыточности точек и соответствия разрешению снимка.

В докладе приводятся примеры работы алгоритма MOD14 с использованием маски растительности. Рассматривается макет автоматизированной системы мониторинга лесных пожаров по данным радиометра МСУ-ИК, формирующей список обнаруженных пожаров с указанием их географических координат, площади возгорания и максимальной температуры.

МЕТОД ОБРАБОТКИ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ДАННЫХ В ГИС ОТОБРАЖЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЧС РОССИИ

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

С 2009 года в Системе космического мониторинга чрезвычайных ситуаций (СКМ ЧС) МЧС России функционирует географическая информационная система «Космоплан» (ГИС «Космоплан»), функционирующая в ведомственной компьютерной сети Интранет МЧС Рос-

сии (Инtranет МЧС России). Разработчиком ГИС «Космоплан» является отечественная компания ООО ИТЦ «СКАНЭКС».

Основной задачей ГИС «Космоплан» является хранение, анализ и передача результатов космического мониторинга чрезвычайных ситуаций до потребителей. Главными потребителями являются специалисты оперативных дежурных смен центров управления в кризисных ситуациях Главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации, Региональных центров, а также Национального центра управления в кризисных ситуациях. Доступ к данной географической системе открыт для любого пользователя Инtranет МЧС России.

В ГИС «Космоплан» размещаются космические снимки среднего, высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, а также дополнительная информация (в виде векторных слоев).

Основным показателем эффективности СКМ ЧС МЧС России является время доведения результатов космического мониторинга районов чрезвычайных ситуаций до потребителей (в первую очередь для территориальных органов МЧС России).

ГИС «Космоплан» позволяет оперативно размещать данные дистанционного зондирования, что обеспечивает своевременное принятие управленческих решений при возникновении чрезвычайных ситуаций, а также проводить превентивные мероприятия по их предупреждению.

Анализ функционирования ГИС «Космоплан» показал, что «узким» местом является передача полученных изображений (космических снимков) от сервера тематической обработки или файлового сервера оператора космических систем в хранилище самой системы. Ввиду того, что в среднем объем одного изображения составляет 6 – 8 Гб (а иногда размер одного изображения достигает 20 – 30 Гб), время передачи изображений составляет значительное время. После того как изображение было передано в хранилище ГИС «Космоплан» оператор должен через интерфейс администратора добавить растровый слой (при этом сначала происходит тайлинг растрового изображения, а затем публикация в ГИС «Космоплан»).

В связи с тем, что при крупномасштабных чрезвычайных ситуациях специалист по космическому мониторингу выполняет множество различных задач, зачастую ему затруднительно своевременно разместить

полученные изображения в ГИС «Космоплан» (особенно при большом объеме получаемых данных).

Исходя из вышесказанного необходимо в первую очередь решить ряд задач: автоматизация процесса передачи изображений на файловый сервер ГИС; уменьшение времени передачи изображений на файловый сервер ГИС; автоматизация подготовки изображений для размещения.

Для решения данных задач было разработано программное обеспечение, схема которого приведена на рисунке



Рис. Общая схема программного обеспечения

Использование разработанного программного обеспечения в оперативной работе позволило сократить время размещения получаемых изображений (космических снимков) в ГИС «Космоплан» на 10 – 20%.

В заключение хотелось бы отметить, что для повышения оперативности размещения получаемых изображений (космических снимков) необходимо провести автоматизацию их размещения, после подготовки тайтлов, непосредственно в ГИС «Космоплан» (в соответствующей карте). По предварительным расчетам реализация данной задачи позволит сократить время размещения изображений на 50 – 60%. В настоящее время проводятся работы по реализации данного мероприятия.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ «МЕТЕОР-М» № 2-1

*Б.В. Райченко, Д.И. Федоткин,
АО «СТТеруп», г. Москва*

В рамках составной части опытно-конструкторской работы по теме: «Создание комплекса анализа и обеспечения качества целевой информации КА «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2» стоит задача разработки специального программного обеспечения (ПО) автоматизированного анализа информационных характеристик целевой информации (ЦИ) КМСС-2, МСУ-МР, МТВЗА-ГЯ, ИКФС-2, а также уточнения коэффициентов алгоритмов обработки ЦИ, полученных в ходе наземной обработки.

Опытный образец Комплекса анализа и обеспечения качества целевой информации (КАОКЦИ) представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из нескольких серверов обработки и хранения данных, совместно управляемыми ПО Hadoop, включающим распределенную файловую систему Hadoop distributed filesystem (HDFS) и программные средства распределенной обработки ЦИ средствами разрабатываемого специального ПО для решения задач СЧ ОКР. Использование ПО Hadoop позволяет осуществлять параллельную обработку поступающей ЦИ, распределение задач на серверы хранения и обработки, а также обеспечивать горизонтальное масштабирование комплекса путем добавления серверов.

КАОКЦИ включает в себя следующие специальные программные компоненты, решающие задачи СЧ ОКР:

– *ПО стандартной обработки данных* обеспечивает полный цикл автоматической обработки ЦИ МСУ-МР и КМСС-2 от приборного файла в формате RSML до информационных продуктов уровня 1 и 2. Включает в себя набор программных модулей («библиотек»): импорта-экспорта, географической привязки по строгим математическим моделям съемки, радиометрической коррекции и калибровки, геометрической коррекции и перепроецирования, математических расчетов и др.

– *ПО сопоставления ЦИ с опорной информацией* – обеспечивает автоматический поиск одноименных объектов в ЦИ и в опорных данных (для МСУ-МР – векторная карта береговых линий GSHHS, для КМСС-2 – базовое покрытие WELD на основе данных LANDSAT).

– *ПО анализа и обеспечения качества данных* выполняет автоматический анализ данных и расчет параметров, характеризующих качество ЦИ (пространственные и радиометрические), а также вычисление поправок к коэффициентам моделей географической привязки и алгоритмам радиометрической обработки ЦИ.

– ПО интерактивного анализа данных представляет собой автономное приложение с интуитивно понятным графическим интерфейсом, функционирующее под управлением ОС семейств Windows и Linux и обеспечивающее визуализацию, интерактивный анализ данных как с КА «Метеор-М», так и с иностранных КА метеорологического назначения.

– ПО отображения и выборки данных является Web приложением с возможностью доступа к данным ДЗЗ, их выборки и отображения на интерактивной 3D модели Земли. Позволяет реалистично отображать разнородную геопространственную информацию (векторные карты, спутниковые снимки, цифровые модели местности, метаданные и др.) в едином координатном пространстве.

– ПО визуализации оценок качества данных является Web приложением, позволяющим оператору получать сведения об оценке качества поступающей ЦИ в виде временного ряда статусов по целевой аппаратуре, виткам с возможностью просмотра значений оцененных параметров.

Создаваемые в рамках СЧ ОКР программные изделия разрабатываются как универсальные программные платформы, позволяющие в дальнейшем при минимальных модификациях и доработках создавать на их основе иные специализированные программные модули наземных комплексов анализа, обработки и распространения данных ДЗЗ: системы первичной и тематической обработки данных ДЗЗ, высокопроизводительные системы распределенного хранения и обработки, геопорталы и сервисы распространения данных.

ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫСОКОДЕТАЛЬНОЙ СЪЁМКИ ЗЕМЛИ С РАСПОЗНАВАНИЕМ БЕЗОБЛАЧНЫХ УЧАСТКОВ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

С.А. Втюрин¹, Н.А. Князев¹, В.А. Бойко², Ю.А. Палатов³

*¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва*

*²Акционерное общество
«Научно-производственное предприятие «Геофизика-космос»,
г. Москва*

³Федеральное государственное бюджетное учреждение

Темой доклада является возможность использования дополнительной камеры предварительного обзора на борту КА для автоматизации оперативного планирования высокодетальной съёмки на основе оперативного автоматического выявления безоблачных участков.

При работе высокодетальных средств дистанционного зондирования Земли оптического диапазона нередко возникает ситуация, когда предполагаемая область съёмки оказывается закрыта облачностью. В результате полученные снимки либо имеют скрытые облаками участки, либо полностью непригодны и, таким образом, пролёт спутника тратится неэффективно, в то время как соседние области, возможно также интересные оператору, могут быть свободны от облачности и доступны для съёмки. Предварительное планирование на основе данных геостационарных спутников, прогноза погоды и прочее не может полностью исключить описанную ситуацию из-за недостаточной детальности и оперативности, а также возможности относительно быстрого изменения распределения облачности.

В докладе предлагается система, включающая камеру предварительного обзора, установленную под углом в направлении движения КА, на основе анализа данных с которой средствами бортовой ЭВМ возможно построение актуальной карты облачности в районе интереса и автоматический *on-line* выбор из нескольких альтернативных программ съёмки. Дается обзор методов и алгоритмов, использование которых позволило бы решить задачу автоматического определения безоблачных участков, приводятся краткие результаты расчёта некоторых возможных параметров системы на примере данных существующих КА, а также возможный алгоритм планирования. Приводятся примеры работы некоторых алгоритмов на основе доступных космических снимков и модельных расчетов. Результаты работы могут быть использованы при создании различных систем ДЗЗ, для основных сенсоров которых, наличие облачности в кадре является помехой.

Представлены тактико-технические требования к проектируемой камере предварительного обзора. С условиями минимизации массово-габаритных характеристик и стоимости её изготовления приведены

возможные схемы технической реализации (изготовления) такой аппаратуры.

К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА ИЗ КОСМОСА СЛЕДОВ НАДВОДНОГО СУДНА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ФОТОРЕГИСТРАЦИИ

*В.Н. Носов¹⁾, С.Г. Иванов¹⁾, С.Б. Каледин²⁾, В.И. Тимонин²⁾,
А.Н. Ядренцев³⁾, И.В. Фролов⁴⁾*

*1) Институт геохимии и аналитической химии РАН
им. В.И. Вернадского,*

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

*3) ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина»,
пос. Звездный городок, Московская обл.*

4) ОАО «РКК «Энергия»

Вследствие большой технической сложности широкомасштабных работ разворачивающихся в настоящее время в океане требуется серьезное информационное обеспечение, связанное с анализом динамики поверхности и толщи морской среды на основе создания новых методов получения и обработки данных о протекающих в морской среде процессах. Наиболее эффективно сбор информации с больших площадей поверхности океана может осуществляться с помощью оптических средств дистанционного зондирования, расположенных на аэрокосмических носителях. Одной из важных океанологических задач является изучение гидродинамических источников и вызываемых ими возмущений в морской среде и регистрация их параметров. Такие источники могут иметь как естественное, так и искусственное происхождение. Первоочередной интерес среди возмущений морской среды представляют поверхностные и внутренние волны, течения, вихревые структуры. Следует отметить, что только комплексное применение различных методов зондирования морской поверхности и приповерхностных слоев морской среды и атмосферы обеспечивает эффективное дистанционное обнаружение гидродинамических источников возмущений морской среды в широком диапазоне изменений гидрометеорологических условий. Для апробации разрабатываемых оптических методов в качестве объекта исследования был выбран след судна на морской поверхности. С этой

целью был организован и проведен комплексный космический и морской эксперимент. В ходе эксперимента с борта Российского сегмента Международной космической станции проводилась фотосъемка морской поверхности в заданном районе полигона. В этом районе по согласованной методике движущееся надводное судно формировало поверхностный след. Одновременно на специальном гидрофизическом судне проводились соответствующие измерения характеристик морской поверхности, приводного слоя атмосферы и водной толщи. Данная информация позволила сопоставить результаты космической и морской частей эксперимента.

Полученные цифровые фотоснимки в полутоновом изображении имели слабый контраст, что серьезно осложнило их обработку. Были разработаны специальные алгоритмы повышения контраста и выделения областей изображения, отличающихся от фона. В частности, использованы методы ранговых сумм, корреляционной обработки и др. Наиболее четко следы судна удалось выделить, когда они на фотоснимках находились в области зеркального солнечного блика.

Полученные результаты комплексного космического и морского эксперимента показали возможность регистрации и обнаружения следа надводного судна при съемке из космоса, позволили отработать методику цифровой космической фотосъемки, разработать алгоритмы и программное обеспечение для решения этой задачи. Данное направление работ, по нашему мнению, позволит определить подходы к созданию космической системы мониторинга акватории Мирового океана для решения большого круга разнообразных задач.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ОБЛАЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ШМСА-СР КА «РЕСУРС-П»

*А.И. Васильев,
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы»,
г. Москва*

На сегодняшний день зарубежные оптико-электронные космические системы дистанционного зондирования Земли обеспечивают съемку, в том числе, и в специальных коротковолновых инфракрасных

каналах. Эти каналы позволяют строить маски облачности на снимках в автоматическом режиме за счет различной отражательной способности облаков и снега в диапазоне 1,4 – 3 мкм. Фактически, такой подход зарекомендовал себя как для систем низкого (КА Terra/Aqua) и среднего разрешения (КА Landsat 7, 8), так и для современных систем высокого разрешения (КА WorldView-3).

В настоящее время в составе отечественной орбитальной группировки нет ни одного КА, оборудованного сенсором с коротковолновым инфракрасным спектральным каналом. В свою очередь необходимость в оперативной оценке облачности, включая сцены, фиксирующие наличие снежного покрова, приводит к необходимости разработки эвристических методов. Такие методы реализуются, как правило, с учетом конструктивных особенностей съемочной аппаратуры и в общем случае не обеспечивают гарантированный результат детектирования. Например, для КС RapidEye формируется специализированная маска неиспользуемых данных (unusable data mask) на основе алгоритмов распознавания облачных структур, а для КА «Канопус-В» № 1 в работе предлагается использовать стереоэффект, наблюдаемый в различных спектральных каналах, для разделения пикселей снежного покрова и облаков.

В данной работе рассматривается эксперимент по автоматической оценке облачности на основе данных ШМСА-СР КА «Ресурс-П» № 2 на сценах, фиксирующих наличие снежного покрова, на основе методов компьютерного зрения и машинного обучения. Эксперимент включал следующие основные этапы: 1) вычисление цветовых и текстурных дескрипторов на основе тестового набора данных; 2) построение классификатора в виде комбинации карт плотности распределения признаков; 3) оценка качества работы классификатора на тестовом и контрольном наборе данных.

Для проведения эксперимента было подготовлено 57 маршрутов ШМСА-СР КА «Ресурс-П» № 2 (месяцы съемки январь-июль 2015 г):

28 маршрутов содержат сцены со снежным покровом (преимущественно на северные территории РФ);

15 маршрутов без снежного покрова (Индия, США, Африка);

12 снежных контрольных сцен со снежным покровом и 2 сцены без снежного покрова.

По результатам эксперимента были сформированы классификаторы на основе цветовых и текстурных признаков, а также каскадный классификатор (цветовых и текстурных признаков). Результаты обучения на тестовом наборе данных и работы классификаторы на контрольном наборе представлены в таблице.

Результаты обучения и работы классификаторов, рассмотренных в эксперименте

Классификатор	Набор данных	Ошибка I рода	Ошибка II рода
цвет (обучение)	тестовый (без снега)	2,8%	7,2%
цвет	тестовый (снег)	0,001%	90,9%
текстура (обучение)	тестовый (снег)	9,2%	19,7%
текстура	тестовый (без снега)	33,2%	53,5%
цвет	контрольный	1,4%	63,1%
текстура	контрольный	6,7%	29,5%
каскадный	контрольный	5,8%	22,7%

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ. ПОИСК ИЗМЕНЕНИЙ

*М.Ю. Катаев, А.А. Бекеров, А.К. Лукьянов,
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск*

Общее понятие спутникового мониторинга подразумевает непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров изучаемого объекта, анализа полученной информации для последующего принятия решений. Объектами изучения могут быть параметры атмосферы или поверхности Земли. Спектральная многоканальная приборов спутникового мониторинга требует создания подходов, методологий, алгоритмов и программных технологий, которые смогли бы обеспечить массовую, оперативную, автоматизированную обработку информации и доставку информации к потребителю.

В докладе представлена программная концепция приема, хранения, предварительной и тематической обработки данных и анализа результатов с целью поиска изменений, происходящих на поверхности Земли. Для анализа изменений используется вегетационный индекс NDVI.

Методика поиска изменений связана с анализом поведения вегетационного индекса за длительный период времени (несколько лет), для каждого пикселя изображения. Это позволяет определить для каждого дня каждого месяца периода измерений среднее ожидаемое значение и возможные границы отклонения. Поскольку изменчивость значений NDVI в каждый конкретный день может быть велика, нами проводилась его нормализация.

Наличие шумов во временных рядах NDVI, вызванных влиянием облачности и различиями в геометрических условиях освещения и наблюдения поверхности, требует проведения предварительной обработки спутниковых данных – выравнивания. Необходимость этого шага связана с тем, что статистические характеристики временных рядов значительно отличаются от гладких функций, какими и должны быть функции NDVI, связанные с фенологическим циклом растений. Поэтому решение практических задач, например, сельского хозяйства, где необходимо знать дату начала фенологического цикла и другие показатели, определяемые с точностью определения параметров годового цикла изменений кривой NDVI (годовой максимум, начало и завершение фенологического цикла и др.).

Для каждого пикселя нам известен его временной ряд суточных значений $NDVI(i,j,t) = tr(i,j,t) + ty(i,j,t) + ta(i,j,t)$, где (i,j) – координаты пикселя и t – время, тренд $tr(i,j,t)$, сезонная составляющая и остаток ряда $ta(i,j,t)$. Каждый элемент временного ряда NDVI формируется под воздействием большого числа факторов (условия измерений, состояние атмосферы и поверхности), которые можно подразделить на три группы, формирующие: тренд (тенденцию) ряда; сезонные (циклические) колебания ряда и случайные факторы. Ожидаемое значение NDVI в любой день m принадлежит интервалу: $[tr(i,j,m) + ty(i,j,m) \pm ka * ta(i,j,m)]$, где ka – некоторый эмпирический коэффициент. Новое измеренное значение, выходящее за рамки интервала, следует считать изменением. Величина удаления от интервала позволяет построить относительную шкалу изменений.

Для практической апробации предлагаемого подхода, нами сформирована выборка спутниковых данных спектрорадиометра MODIS со средним пространственным разрешением за десять лет (2005 – 2014 гг). Данными являются ежедневные продукты MODIS: атмосферно скорректированный продукт глобального дневного поверхностного отражения (Surface Reflectance) 250 м MOD09GA/MOD09GQ для спутника Terra и MYD09GA/MYD09GQ для спутника AQUA.

На рис. 1 *а, б* приведена территории (40×40 пикселей) постройки одного из микрорайонов г. Томска (по осям обозначены номера пикселей, по оси абсцисс – номера пикселей по долготе, а ординат – по широте). На период начала строительства, изменения природной среды были минимальными и лишь только первый высотный дом и инфраструктура стройки отразилась в изменениях. Через четыре года в микрорайоне было построено около 10 домов различной высотности, и изначальное состояние природной среды существенно изменилось, что четко фиксирует предлагаемая нами методика. Обнаружено, что естественные изменения укладываются в диапазон значений в абсолютном выражении, а при появлении строительных или иных объектов (дороги, свалки и др.).

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

**МЕТОД МНОГОЧАСТОТНОГО
РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ**

*Г.В. Гившивили,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова*

Предлагается метод многочастотного радиопросвечивания ионосферы с геостационарных и/или высокоэллиптических КА и наземных автономных приемных модулей, альтернативный традиционному ме-

тоту внешнего зондирования ионосферы (ВнЗ). При всех бесспорных преимуществах последнего, ему присущ ряд специфических особенностей, ограничивающих его применение в целях оперативной (в реальном времени) диагностики и краткосрочного прогноза состояния ОКП. Главные из них таковы. Во-первых, большая скорость перемещения проекции низкоорбитальных КА вдоль земной поверхности ($8 \div 12$ км/с) не позволяет строго разделять временные и пространственные характеристики диагностируемой среды. Во-вторых, задержка между непосредственными измерениями параметров среды, сбросом данных в наземные пункты приема и первичной обработки информации с последующей выдачей результатов в аналитические центры составляет неопределенно долгое время. В-третьих, появление КА в зоне прямой видимости над каждым фиксированным пунктом наблюдений (или приема информации) происходит крайне ограниченное время ($20 \div 25$ мин), притом, вследствие смещения орбиты по долготе, не чаще одного раза в сутки.

Альтернативный подход состоит в том, что инструментом измерения становится не ионозонд, а система из одного многочастотного бортового передающего модуля (БПМ), устанавливаемого на геостационарном или высокоэллиптическом КА, и сети из k наземных приемных модулей (НПМ) с частотой настройки, перестраиваемой синхронно с бортовым БПМ. Таким образом регистрируются только сигналы радиопросвечивания, близкие к границе радиопрозрачности, не испытавшие полного внутреннего отражения. А основным источником информации становится не традиционная ионограмма, а ионограмма МРП, фиксирующая только сигналы радиопросвечивания

Благодаря высокой стабильности мощности излучаемых сигналов метод МРПИ представляет собой аналог многочастотного искусственного риометра. Кроме того, высота орбиты КА позволяет оценивать полное электронное содержание (ПЭС) в диагностируемой широтно-долготной области ионосферы с более высокой разрешающей способностью, нежели традиционным методом двухчастотного радиопросвечивания в УКВ диапазоне волн.

Энергетическая проблема создания устойчивой связи на трассе КА – земля решается благодаря тому, что положение КА над горизонтом

либо не меняется, либо меняется медленно. Поэтому многократное удлинение трассы в сравнении с ВнЗ компенсируется возможностью: а) существенного сужения полосы приемного устройства, б) накопления сигналов – работы в режиме, определяемом динамикой ионосферы, т. е. до 5 ÷ 10 мин. Расчеты показывают, что уверенный прием сигналов радиопросвечивания декаметрового диапазона, может осуществляться не только для умеренной, но и высокой солнечной активности.

Достоинства метода МРПИ заключаются в: относительной простоте реализации; использовании недорогой передающей и приемной техники и антенн; простой структуре ионограмм радиопросвечивания (РПС); однозначности регистрируемых характеристик; оперативности их обработки; автоматизации обработки и выдачи информации о текущем состоянии ионосферы в реальном времени, с обновлением каждые 5 – 10 мин.

Это позволяет оперативно строить временную развертку 3D карт спокойной и возмущенной ионосферы в диапазоне высот 80 ÷ 500 км. Тем самым, появляется возможность практически решить проблему оперативного мониторинга и контроля ионосферы над тем или иным регионом, в частности, в арктической зоне Российской Федерации в режиме 4D.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

*Е.М. Малитиков (1), С.А. Леденцов (2), А.А. Кудинов (2), А.К. Авгуцевич (3),
А.П. Краминцев (3), Д.В. Черняков (3), В.И. Шабуневич (4)
1 – Межгосударственный Комитет по распространению
знаний и образованию взрослых,
2 – ФКУ (НЦ УКС),
3 – ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ),
4 – АО «Корпорация «ВНИИЭМ»*

Для обнаружения возможности наступления катастрофических явлений путем проведения дифференциальной интерферометрии поверхности Земли, при которой применяется межвитковая интерферометрия по паре КРЛИ (комплексных радиолокационных

изображений), полученных на витках, разделенных по времени и образующих интерференционную пару, предлагается запись пары КРЛИ производить в соответствии с фазами приливных воздействий Луны и Солнца. А также проводить сравнение получаемых дифференциальных картин с эталонными интерферометрическими картинками и при обнаружении значительных отличий этих картин производить расчет параметров НДС (напряженно-деформированного состояния) земной коры и оценку опасности ее повреждений.

Оперативная оценка опасности деформирования исследуемой сейсмической зоны производится следующим образом. Величины изменений номинальных параметров НДС, например, величины изменений номинальных напряжений (деформаций) в коре Земли определяют расчетом или экспериментально. По интерферограммам изменений нормальных компонент векторов перемещений исследуемой сейсмоопасной зоны поверхности Земли определяют величины изменений изгибных составляющих напряжений (деформаций) у вершин трещин, разломов или других повреждений или особенностей. И далее находят максимальные величины напряжений (деформаций) вблизи дефектов как сумму номинальных их величин и величин изменений максимальных локальных изгибных составляющих напряжений (деформаций), и сравнивают полученные максимальные величины параметров НДС с допустимыми значениями.

Точный расчет изменения параметров НДС исследуемой сейсмоопасной зоны будет производиться параллельно с помощью комплекса программ метода конечных элементов, используя данные космических интерферограмм в качестве исходной информации.

Как примеры первых применений методики рассматриваются:

1. Землетрясение магнитудой 9 баллов в Японии, произошедшее 11 марта 2011 года
2. Землетрясение магнитудой 8,8 баллов в Чили, произошедшее 27 февраля 2010 года
3. Землетрясение магнитудой 7,9 баллов в Веньчуане, произошедшее 12 мая 2008 года

Цифровые карты смещений, составленные по результатам обработки спутниковых радиолокационных данных, позволяет

выявить смещения Земной поверхности по нормали к ней и оценить их опасность с точки зрения прочности коры Земли.

ГЕОДИНАМО И МАГНИТОГИДРОДИНАМИКА ФИГУРЫ ЗЕМЛИ В ГЕНЕЗИСЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

*А. А. Пономарев,
АО «НИИЭМ», г. Истра*

Предложена феноменологическая модель механизма катастрофических землетрясений на основе вихревой магнитогидродинамической (МГД) геодинамики. Модель основана на сведениях о новой структуре фигуры Земли, открытой в начале XXI века. Определена возможность прогноза места и времени землетрясений космическими средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Показана неосуществимость прогноза магнитуды без наземных наблюдений.

В начале 2000 гг, почти одновременно в разных странах, были начаты работы по привлечению космических средств ДЗЗ для прогноза землетрясений. Планировалось создание специальных космических систем (КС) – «GESS» в США, «EES» в Японии, «НЖ» в Китае и «Вулкан» в России. В состав КС должны были войти КА с радиолокационной, оптической и специальной геофизической аппаратурой. С меньшим размахом, на уровне отдельных КА, исследования планировались и в Европе. Все работы были постепенно свернуты, не достигнув успеха. Можно предположить, что во всех странах задача была поставлена из духа соперничества, «по недосмотру», без какого либо теоретического обоснования и без учета обнаруженных науками о Земле новых явлений.

В России тема прогноза ЗТ космическими средствами сохранилась на уровне поиска «предвестников» ЗТ в ионосфере. При этом задача разработки феноменологической модели механизма генерации землетрясений, поставленная еще в 1996 г научной сессией Отделения общей физики и астрономии РАН, оказалась забытой.

Открытия последних двух десятилетий в геофизике, геохимии и геологии принято считать революцией в науках о Земле. Интерпретация этих открытий с позиций электродинамики сплошной среды мо-

жет дать строгое обоснование механизма ЗТ, а, следовательно, и технологий прогноза.

Результаты глубинной томографии изменили парадигму Земли. Фигура Земли обрела новое, чрезвычайно сложное строение. Обнаружено, что пространство мантии неоднородно и разделено жесткими сферическими оболочками на множество слоев. Как минимум выделено три слоя – нижняя, средняя и верхняя мантия. С уровнями разделов 670 км, 1700 км и 2200 км, считая от поверхности Земли. Предполагается, что по сейсмическим неоднородностям число геосфер может быть увеличено (до шести и более). На границах разделов наблюдаются скачки вязкости, тепло и электропроводности. Зоны раздела геосфер являются поверхностями скольжения. Негладкая поверхность раздела жидкого ядра и мантии является источником флуктуаций гравитационного поля.

Все слои мантии пронизаны вертикальными потоками вещества разной мощности – «плюмами» и «суперплюмами». Суперплюмы восходят от жидкого ядра, плюмы от поверхностей раздела других слоев. Все плюмы обладают кумулятивными свойствами, прорывая оболочки разделов мантии. Характерные размеры плюмов: радиус потоков 100 – 400 км, радиус зон расширения (распада) у поверхности земной коры – от сотен до нескольких тысяч километров. Обнаружены и микроплюмы, диаметром порядка 1 км, восходящие от основания коры и «корней» континентов.

Заметим, что плюмам обязаны очертания материков, симметрии и ассиметрии рельефа Земли, происхождение рудных и нефтегазовых месторождений, инверсии магнитного поля.

Кроме плюмов томографией обнаружены образования шаровой формы (blobs), плавающие в мантии. Структура блобов неясна, известно лишь, что вязкость блобов в 100 раз превышает вязкость мантии. Температура блобов выше температуры окружающей мантии. Диаметр составляет от 500 км и более. В разных оценках блобы занимают от 30 % до 65 % объема мантии.

Динамику основных движений вещества в фигуре Земли характеризует геологический масштаб времени – время жизни плюмов миллионы и более лет. В тоже время обнаружены движения «реального» времени – вовлечение и лавинообразное обрушение (avalanche) в нисходящих потоках больших участков коры (slab, lump), на глубины сот-

ни и тысячи километров. Так, в известном цунами 26 декабря 2004 г рухнул участок коры, порядка 100 км по мощности. За неделю падения *слэб* пролетел «к центру Земли» несколько десятков километров. Могильником *слэбов* служит граница жидкого ядра и мантии.

Масштаб времени основного движения предопределил доминирование школы геологии в построении гипотез динамики тектонических процессов. Однако все попытки объяснить образование плюмов, перемещение вещества к поверхности Земли («*апвеллинг*») и обратное движение («*даунвеллинг*»), тепловой конвекцией и термохимическими реакциями признаны несостоятельными. Исчерпав все свои возможности тектонисты «нашли» источник энергии плюмов в силе Кориолиса.

Происхождение и устойчивость шаров-блобов, их место в геодинамике, также нерешенная проблема. Достоверным считается только, что блобы когенетичны Земле – по концентрации солнечных изотопов гелия и неона. Для сохранения устойчивости блобы должны обладать вращением и, следовательно, следует ожидать у них наличие собственного магнитного поля.

В оценках по сейсмике ядерных взрывов скорость вращения твердого ядра относительно мантии составляет около 1 град/год. По дрейфу магнитного поля вращение жидкого ядра относительно мантии оценивается как 0,2 град/год.

Наличие дифференциального вращения геосфер позволяет рассмотреть эффекты геодинамики на основе гидродинамической аналогии. При периоде $1/\omega$ изменения внешних сил, достаточно большом по отношению к времени релаксации τ ($\omega \tau \ll 1$), твердое деформируемое тело ведёт себя как обычная вязкая жидкость. Наоборот, при достаточно больших частотах ($\omega \tau \gg 1$) вязкая жидкость ведет себя как аморфное твердое тело. В малых промежутках времени эти тела упруго деформируются. В геодинамике сосуществуют все три случая. Источником внешних возмущений для фигуры Земли выступают силы приливного взаимодействия в системе Земля – Луна – Солнце.

Процесс массопередачи в геосфере, встречающий непреодолимые затруднения в гипотезах конвекции, сравнительно просто объясняется вихревым движением. Известно, что дифференциальное вращение коаксиальных цилиндров приводит к появлению в слое разделяющей их жидкости стационарного течения Куэтта. Если оба цилиндра вращаются в одну сторону, то при $\omega_1 R_1^2 > \omega_2 R_2^2$, где ω_1, ω_2 – угловые скорости

сти внутреннего и внешнего цилиндров, R_1, R_2 – радиусы цилиндров, движение *всегда неустойчиво* и зависит от вида возмущения. При осесимметричных возмущениях в течении Куэтта появляется вторичное стационарное течение – система парных тороидальных вихрей Тейлора. Вихри *стабилизируют* всё течение в целом.

В пространстве ограниченном концентрическими сферами вихри идеальной жидкости должны быть разомкнуты, начинаясь и заканчиваясь на поверхностях сфер – согласно свойствам кинематики движения в односвязной области. Трубки таких вихрей в своем развитии обычно приобретают спиральность и расширяются к устью. Радиус вихревого ядра в следе распада в несколько раз превышает радиус вихревого ядра потока.

Физические модели подтверждают выделенные нами особенности. В границах вложенных сфер вихри распространяются в направлении вращения внешней сферы и напоминают *разомкнутые* кольца Тэйлора. Отличие от цилиндрического движения состоит также в том, что вихри *наклонены* к плоскости экватора. Форма вихрей в сфере подобна хоботообразной трубке вихря Ранкина. При малых закрутках потока распад вихря спиральный, при больших идет распад баблом (пузырем).

Разные знаки вихрей в паре Тейлора приводят к перемещению вещества с поверхностей отрыва в противоположных направлениях. Заметим, что движение потоков жидкости в направлении от вращающейся внешней сферы к ядру противоречит физической интуиции. Считается, что такое направление является проявлением эффекта отрицательной вязкости вещества, вызванной турбулизацией потока. С отрицательной вязкостью связан перенос энергии в потоке по спектру – от пульсаций меньших масштабов к большим.

Турбулентное возмущение потока вихря вызывает перенос энергии от течения к возникающему *на вихре* волновому пакету возмущений Сквайра (цугу гармоник близких частот), обязательно большой амплитуды (Холла «физическое предпочтение больших возмущений»), сносимого от источника возмущений с трансзвуковой скоростью.

Хотя уровень амплитуды волн основной частоты может превосходить уровень шума турбулентности на пять порядков, при наличии шума движение становится непредсказуемым. Тем не менее, отличный от времени жизни вихря-плюма (играющего в геодинамике и ЗТ роль гидравлическо-

го канала) масштаб времени пакета волн Сквайра создает предпосылку прогноза прихода волн, бегущих по потоку.

МГД движение вещества в жидком ядре обычно исследуется в рамках проблемы геодинамо. Основным источником сведений о крупномасштабной динамике являются численные и физические модели. Все усилия моделирования направлены на опровержение теоремы «антидинамо» Каулинга. При этом ни одна из этих устаревших моделей не учитывает действительное строение фигуры Земли.

Несомненно, что стационарность (квазистационарность) магнитного поля Земли обеспечивают выбросы потоков плюмов и суперплюмов. Принято считать, что магнитное поле вморожено в жидкость ядра. Поле 500 Гс в ядре слишком слабо для обеспечения магнитной жёсткости, поэтому можно предположить, что жидкость ядра турбулизована - получая тем самым свойства сверхпроводника.

Известно, что энергия магнитного поля в ядре на три порядка больше его кинетической энергии, отсюда генерация плюмов может быть объяснена выталкиванием вещества ядра при возмущениях магнитного потока. Возмущение приводит к разрыву магнитных силовых линий, выбросу потока плюма и вынужденному магнитному пересоединению – подобно процессу коронального выброса вещества на Солнце. Пересоединение создает сильные электрические поля, ускоряющие вещество в исходящих струях. Кроме того, происходит генерация ударных МГД волн.

Н.А. Умов, при поиске физических источников в формуле Гаусса земного магнетизма, установил, что «восточно-азиатская аномалия находится в связи с положением осей шаровой функции 2-го порядка». Область этой аномалии, называемой еще как «Восточно-Сибирская», трассирует Сибирский суперплюм. Исходя из этого можно утверждать, что все суперплюмы формируют собственное дипольное магнитное поле.

Диссипация приводит к размораживанию силовых линий в плюме и аннигиляции вмороженного магнитного поля – радиальному, по расширяющемуся электромагнитному потоку, спаду магнитного поля и нарастанию электрического поля. Поэтому, можно утверждать, что появление возмущений электрического поля при ЗТ обязано явлениям МГД.

Аналогично, генезис блобов можно объяснить генерацией сферических вихрей Хилла, при коллапсе тороидального вихря Максвелла, на протопланетной стадии Земли.

Источником энергии большинства сильных (катастрофических) ЗТ без сомнения являются МГД события в жидком ядре Земли. Меньшую по мощности немагнитную гидродинамику оставим вне рассмотрения.

Магнитные пересоединения, являющиеся источниками суперплюмов, создают сильное турбулентное окружение как вблизи мест пересоединения, так и в исходящих струях плюмов. Среди возникающих скачков ряда МГД-величин с ЗТ можно связать ударные волны сжатия и разрежения, а также отрыв пограничного слоя, собственно после которого ламинарное течение и переходит в турбулентное.

Отрыву в явлениях МГД внимание не уделено. В гидродинамике по поводу отрыва слоя принято считать, что он движется вниз по потоку, причем «природа движущегося вниз по потоку отрыва остается загадкой». Известно, что при обтекании удлиненных тел, может образовываться область «мертвого воздуха», или, что тоже, «след вверх по течению», заполняющие вершину конуса ударной волны – явление, квалифицируемое как парадокс обратимости.

Магнитное поле консервирует вступающие в него возмущения – рассеяние их минимально и они сохраняются в потоке в течение длительного времени и на большой длине. Поэтому для ЗТ явление «затишья» перед фронтом ударной МГД волны можно рассматривать как приход «мертвого воздуха», отрыва турбулентного пограничного слоя, опережающего фронт ударной волны. Крупномасштабные пульсации (форшоки) в слое несомненно представляют явление перемежаемости.

Впервые гипотеза о том, что ЗТ порождаются на уровне жидкого ядра была выдвинута Э.В. Бороздичем. В гипотезе были связаны флуктуации массопотоков в мантийных каналах с коротковолновыми, от 10^3 с, возмущениями геофизических и геохимических параметров лито, гидро, атмо и ионосферы. В геодинамике явление получило название короткоживущих подкорковых локальных возмущений (КПЛВ). Э.В. Бороздичем особо отмечено, что деформации гравитационного поля под воздействием КПЛВ являются единственным источником сведений о ЗТ, не подверженным экранированию.

Волновой характер механизма ЗТ подтверждается обнаружением при катастрофических ЗТ «волн уплотнения (сжатия) в грунтах, по-

добных ударным волнам». Возмущения электрического поля в зоне ЗТ также регистрируются, но их источник считается невыяснен. Возмущения магнитного поля обнаруживаются только *postfactum*, как сопровождающие удар ЗТ.

Для прогноза ЗТ физический смысл задачи должен быть связан с математически содержательным понятием. Задать перемещение ударной волны в явном виде невозможно. А.А. Беляевым отмечена «физическая бесперспективность» непосредственного использования изменений потоков вещества, так как события в пространственной и временной окрестности ЗТ представляют собой размытое множество X . Система в таких случаях должна описываться вероятностной функцией распределения $P(x)$.

Готовящееся землетрясения может быть квалифицировано, как начало фазового перехода при изменении состояния равновесной термодинамической системы. Изменение фазы может быть установлено по точкам разрыва корреляционных функций, связывающих значения различных переменных состояния в области наблюдения. Линии точек разрыва разделяют области с качественно различными свойствами. При малых значениях активности системы распределение вероятности, для флуктуаций наблюдаемых параметров относительно среднего значения, асимптотически всегда будет гауссовым.

Для полуэмпирической интерпретации динамики бифуркационных физических систем, не имеющих строгой математической модели, Р. Гилмором предложено использовать качественные свойства решений уравнения Фоккера – Планка:

$$\frac{\partial}{\partial t} P = \nabla(P\nabla V) + \nabla^2(DP), \quad (1)$$

где $P(x)$ – вероятностная функция распределения, определенная над пространством переменных состояния, $V(x)$ – функция переменных состояния, D – шум (хаос флуктуаций).

Динамика (1) имеет две шкалы времени «быструю» T_1 , связанную с флуктуациями, и «медленную» T_2 , определяемую из условия $T_2^{-1} \gg dc/dt$, где c – скорость ударной волны. Исходя из статистики сильных ЗТ $T_2 \sim 10$ суток. Масштаб T_1 определяется из условия $T_2 \gg T_1$.

Появлению бифуркации предшествует появление в пространстве состояния $V(x)$ признаков – «флагов катастрофы». Отметим из свойств решений (1) три флага приближения системы к бифуркации, наблюдающиеся перед ЗТ: смягчение моды – «затишье» в значениях переменных состояния; дрейф $P(x)$ от распределения Гаусса к некоторому асимптотическому распределению, не зависящему от времени; появление аномально большой дисперсии.

Заметим, что по флагам можно определить только область и время ЗТ. Прогноз магнитуды сложнее. В турбулентной гидродинамике универсальной формулы для количественных характеристик корреляции давления и скорости в инерционной области (интервал от наибольшей кинетической энергии потока до её диссипации) не существует и, следовательно, прогноз магнитуды должен опираться на индивидуальные свойства участка земной коры, где ожидается ЗТ.

По инструментальным и информационным технологиям идентификация геофизических и геохимических параметров земной коры выходит далеко за пределы задачи прогноза ЗТ, вторгаясь в область разведки рудных и нефтегазовых месторождений. Область изменения «предвестников» катастрофических ЗТ обычно круговая, диаметром ≥ 100 км, поэтому космические средства ДЗЗ (гиперспектроскопия, в особенности), обладая универсальностью применения, в состоянии обеспечить наибольшую эффективность прогноза катастрофических ЗТ, при наименьших удельных затратах.

Прогноз ЗТ – указание места, времени и магнитуды сейсмического удара. Прогноз места и времени ЗТ эффективно достижим с помощью КА ДЗЗ, съемкой поверхности Земли и атмосферы приборами высокого спектрального разрешения – гипер и ультраспектрометрами.

Зондирование ионосферы требует исследования эффектов разных источников гравитационного, электрического и магнитного поля при ЗТ.

Количественный прогноз магнитуды ЗТ без наземных наблюдений в настоящее время неосуществим.

К ВОПРОСУ ЕДИНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАКРО- И МИКРОМИРА

*В.И. Шабуневич,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Большинство из тех, кому приходится изучать общую теорию относительности, бывают очарованы ее эстетической привлекательностью. Путем замены холодного, механистического взгляда Ньютона на пространство, время и тяготение на динамическое и геометрическое описание, включающее искривленное пространство-время, Эйнштейн сумел «влести» тяготение в фундаментальную структуру Вселенной. Перестав быть структурой, наложенной дополнительно, гравитация стала неотъемлемой частью Вселенной на ее наиболее фундаментальном уровне. Вдохнув жизнь в пространство и время, позволив им искривляться, деформироваться и покрываться рябью, мы получили то, что обычно называется тяготением.

Теория струн говорит, что все наблюдаемые свойства элементарных частиц являются проявлением различных типов колебаний струн. Петли в теории струн имеют резонансные частоты, подобные резонансным частотам струн скрипки или пианино, на которых они предпочитают колебаться, и которые наше ухо воспринимает как музыкальные ноты и их более высокие гармоники. Но, как мы увидим далее, вместо того, чтобы звучать на определенной музыкальной ноте, каждая из разрешенных мод колебаний струны в теории струн проявляется в виде частицы, масса и заряды которой определяются конкретным видом колебания. Электрон представляет собой один вид колебания струны, и-кварк – другой, и так далее. Вместо набора разрозненных экспериментальных фактов свойства частиц в теории струн представляют собой проявления одного и того же физического свойства: резонансных мод колебаний – так сказать, музыки – фундаментальных петель струны. Та же идея применима и к взаимодействиям, существующим в природе. Переносящие взаимодействия частицы также связаны с определенными модами колебания струны, и, следовательно, все – вся материя и все взаимодействия – объединяются под одной и той же рубрикой колебаний микроскопических струн – «нот», на которых могут звучать струны.

Расчеты трехмерных разномасштабных моделей Земли и других подобных объектов с помощью комплекса программ метода конечных элементов, а именно, модальный, гармонический и временной анализы моделей, позволяют существенно приблизиться к получению единой физической модели Макро и Микромира. При этом отмечается также факт обратно пропорционального, например, увеличения скорости

протекания всех процессов и явлений на малых моделях при уменьшении масштаба моделей. Это также может быть объяснением физики искривления пространства.

К ТЕОРИИ МЕХАНО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ: МАГНИТНАЯ ЛОКАЦИЯ ОЖИДАЕМОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ОЧАГА

*О.Б. Новик, С.В. Еришов, М.Н. Волгин, А.О. Новик, Ф.А. Смирнов,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова,
г. Москва, г. Троицк*

Магнитная локация сейсмического очага (МЛСО) была впервые осуществлена Ю.А. Копытенко с сотрудниками (С.-Птб. Филиал ИЗМИРАН). Именно, измеренному набором магнетометров (в сейсмичном регионе западной тихоокеанской субдукционной зоны) магнитному полю была сопоставлена система стрелочек, позволившая оценить координаты источника сейсмически генерированной электромагнитной (сейсмо-ЭМ) эмиссии и локализовать будущий сейсмический очаг. Для формулировки математической модели МЛСО используем:

1) известный по данным МТЗ *факт существования в сейсмичных зонах литосферы низкоомных структур* (характерный порядок размеров и глубин 10 км при электропроводности порядка 0,1 См/м), созданных поднятием из астеносферы в кору флюидов с расплавами металлов по многочисленным трещинам, возникшим из-за активного тектонического режима (геологическая теория металлогенеза);

2) *принципы теории магнито-термоупругости* для описания сейсмо-электромагнитного (ЭМ) взаимодействия в зонах литосферы с низкоомными структурами.

Мы предполагаем, что относительно слабые, т. е. упругие, сейсмические волны (*сейсмические возбуждения*) могут возникать в результате локальных сбросов напряжения, т. к. монотонный рост деформаций по всей зоне подготовки землетрясения (характерный размер порядка 1000 км) едва ли возможен. Деформация низкоомных структур

такими волнами в присутствии геомагнитного поля может приводить к сейсмо-ЭМ эмиссии, а измерение градиентов магнитных компонент группой магнитометров – к оценке азимута и координат источника эмиссии в очаговой зоне, т.е. к МЛСО.

Итак, мы исходим здесь из того, что предвестники землетрясений формируются упруго-ЭМ-тепловым (УЭМТ) взаимодействием полей в зонах литосферы с низкоомными структурами в качестве сейсмо-ЭМ преобразователей. УЭМТ-взаимодействие геофизических полей можно назвать и струнно-диффузионным взаимодействием, т. к. упругой компоненте взаимодействия соответствует 3Д струна, а ЭМ-тепловой – диффузия, причем, не только связанная с теплопроводностью, но и ЭМ диффузия, т. к. ЭМ процесс описываем в диффузионном приближении, ибо токи смещения пренебрежимо малы по сравнению с токами проводимости для рассматриваемых далее низкочастотных процессов (0,01 – 100 Гц) в литосфере с электропроводностью $\sigma_e > 0,0001$ См/м.

В публикациях авторов была развита математическая теория начально-краевых задач неклассических струнно-диффузионных систем дифференциальных уравнений и их дискретизаций с целью количественного описания УЭМТ-взаимодействия. В этих рамках рассматривается здесь и явление магнитной локации сейсмического очага.

**СТРУКТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОТОКОВ
ЭЛЕКТРОНОВ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА
ЗЕМЛИ И ДИНАМИКА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ РАДИАЦИИ
В ПЕРИОД МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ
в 2007 г. и 2009 г.**

*И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович,
ИКИ РАН, г. Москва*

*М.Н. Будяк, М.В. Кожухов, А.А. Мусалитин, В.Т. Семёнов,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
г. Москва*

Возможности длительной эксплуатации оборудования на космических аппаратах (КА), орбиты которых проходят вблизи экваториальной области внешнего радиационного пояса Земли (ВРПЗ), тесно связаны с интенсивностью потоков электронов ВРПЗ, увеличение радиа-

ционных нагрузок может приводить к нарушениям работы электронных систем: появлению поверхностных токов и возникновению спонтанных электрических разрядов. Структура потоков электронов ВРПЗ формируется под влиянием целого ряда конкурирующих процессов ускорения и потерь частиц, которые возникают внутри магнитосферы и на ее границе при воздействии потоков плазмы солнечного ветра (СВ). В работе анализируется динамика энергетических спектров электронов ВРПЗ в период минимума солнечной активности 23 солнечного цикла (2007 – 2009 г.

Исходный ряд данных (1) показывает значительные временные вариации потоков электронов, связанные с воздействием различного типа структур СВ в определенные периоды солнечной активности. Для выделения крупномасштабных временных структур в исходном временном ряду были удалены вариации с периодами меньше 20 суток (2) и с периодами меньше 40 суток (3). Отметим наиболее характерные особенности динамики потоков электронов: значительные вариации потоков электронов с разными временными масштабами, достаточно стабильные потоки в 2007 г. и 2008 г. и уменьшение \sim в 2,5 раза потока электронов $\geq 0,6$ мэВ в 2009 г. В докладе обсуждается структура энергетических спектров электронов ВРПЗ и динамика поглощенной дозы в 2007 г. и 2009 г. В эти годы структура потоков электронов ВРПЗ формировалась при воздействии на магнитосферу Земли двух типов потоков СВ: высокоскоростных потоков и потоков «медленного» ветра. В 2009 г. зарегистрированы самые низкие (за все время наблюдений) величины потоков электронов ВРПЗ. Такое «опустошение» электронных потоков ВРПЗ в 2009 связано с чрезвычайно низкими величинами межпланетного магнитного поля (~ 4 нТ) и скорости СВ (~ 364 км/с), что привело к чрезвычайно низкой геомагнитной активности (Кр индекс = 8,99, Dst индекс = -2,9), значительному уменьшению числа и мощности суббурь и ослаблению магнитосферной конвекции. В 2007 г. основным источником высокоскоростных потоков солнечного ветра (СВ) были корональные дыры. Рекуррентные потоки СВ со скоростью > 500 км/с наблюдались $\sim 30\%$ времени, средняя скорость СВ составила ~ 440 км/с. В 2009 г. корональные дыры исчезли, потоки СВ со скоростью < 400 км/с наблюдались $\sim 75\%$ времени, средняя скорость СВ составила 364 км/с. На рис. 2 для первых 90 дней 2007 г. представлена динамика потока электронов на ГСО

(диапазон энергии 24.1 кэВ – 2000 кэВ, 13 энергетических каналов, данные спутников LANL) и динамика скорости СВ.

По сравнению с 2007 г. потоки частиц для энергий 200 кэВ, 600 кэВ и 1600 кэВ в 2009 г. уменьшились соответственно ~ в 3, 4,5 и 10 раз. Структура среднего энергетического спектра электронов для 2007 г. сформирована, в основном, как суммарный эффект от ~ 30 возрастных потоков электронов, зарегистрированных в 2007 г. при воздействии высокоскоростных потоков СВ. Отметим, что при воздействии высокоскоростных потоков СВ баланс между процессами ускорения и потерями частиц приводит к наиболее эффективному наполнению релятивистскими электронами ВРПЗ. Годовая поглощенная доза для диапазона энергий электронов 24,1 – 2000 кэВ равна $\approx 175 \cdot 10^6$ рад (2007 г.) и $\approx 81,3 \cdot 10^6$ рад (2009 г.). Увеличение почти в 2 раза дозовой нагрузки в 2007 г. определяется возрастанием потока электронов с энергией < 400 кэВ. Преимущественное ускорение электронов с энергией > 600 кэВ при воздействии высокоскоростных потоков СВ нашло отражение в значительном увеличении (в 3.8 раза) годовой поглощенной дозы для диапазона энергий электронов 400 — 2000 кэВ ($\approx 2,49 \cdot 10^6$ рад в 2007 г и $\approx 6.56 \cdot 10^5$ рад в 2009 г.).

Электронный доступ к докладу: <http://d54x.ru/articles/02/201602.pdf>

МОНИТОРИНГ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НЕВИДИМОЙ СТОРОНЫ СОЛНЦА ИЗ ТРЕУГОЛЬНЫХ ТОЧЕК ЛАГРАНЖА

В.А. Шувалов, А.А. Яковлев,

Федеральное государственное унитарное предприятие

«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,

г. Королев

Известно, что среда обитания человека изменяет свой физический облик. Исторические факты убедительно подтверждают это утверждение. Однако, как показали исследования, за последние два-три десятилетия в динамике природных процессов произошли заметные изменения. Более того наблюдается интенсификация негативных явлений (наводнения, землетрясения, цунами, тайфуны и др.), что требует от специалистов объяснения причин возникновения разрушительных природных событий, а также создания средств минимизации рисков и

возможного ущерба. Поэтому усилия исследователей направлены на мониторинг состояния геофизических сред и выявление направлений изменчивости природных процессов (на Солнце, в гелиосфере и магнитосфере Земли).

Перспективная система мониторинга геофизической обстановки – как программа развития геофизических наблюдений космическими средствами – предложена в работах и включает четыре группировки: ионосферную, полярную, магнитосферную, геостационарную и внемагнитосферный КА в точке Лагранжа L1, получающий информацию о солнечных процессах. Однако, как показали исследования, внемагнитосферный КА не дает информации для построения заблаговременного (за 2 – 3 дня) и точного прогноза состояния космической погоды. То есть целесообразно дополнить перспективную систему мониторинга космическим аппаратом, расположенным в треугольной точке Лагранжа L4. Этот инструмент будет направлен на получение изображения той части поверхности Солнца, которая невидима из окрестности Земли. Из точки L4 сектор наблюдаемой поверхности Солнца составляет угол 60° . то есть развитие активных областей на поверхности сектора будут наблюдаться ~7 дней до появления их в зоне видимости из окрестности Земли. Таким образом, аппаратура КА определяет координаты и тренд развития активной области на поверхности, наблюдаемого из L4 сектора Солнца в течение 4 – 5 дней. Далее прогнозируются параметры выброса, направление потока плазмы, возможность достижения Земли и степень воздействия на магнитосферу, а также последствия этого воздействия за несколько дней до события.

Для решения задач мониторинга невидимой стороны Солнца аппаратный комплекс КА в точке L4 должен включать следующие приборы: изображающий телескоп солнечного диска в УФ, ИК и видимом диапазоне света; коронограф с углом зрения не менее 15 солнечных радиусов; магнитометр трехкомпонентный со скоростью измерений не менее 50 векторов в секунду; спектрометр плазмы для измерения потоков электронов с энергиями от нескольких эВ до 10 МэВ, протонов – от 10 кэВ до 200 МэВ, ионов (вплоть до железа) – до энергий 50 МэВ-нуклон; детектор пылевых частиц; детектор нейтронов.

Опыт создания внемагнитосферного КА и средства запуска в сторону Солнца имеются (полеты к Венере, проекты «Интергелиозонд», «Интербол»).

В докладе показано, что в настоящее время имеются технологические предпосылки и даже аналоги перечисленных приборов, что позволяет утверждать о возможности создания комплекса целевой аппаратуры КА для мониторинга невидимого сектора Солнца. Приводится баллистическая схема и средства выведения КА в точку L4, а также даны массогабаритные и технико-экономические оценки создания и эксплуатации космического комплекса.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ С БОРТА СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОСТАТА

Ю.П. Цветков¹, С.В. Филиппов¹, О.М. Брехов²

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк,

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет (МАИ)), г. Москва.

Традиционно зондирование строения земной коры магнитными методами выполняется по данным спутниковых и аэромагнитных съемок. Данные первых позволяют изучать строение литосферы только в глобальном масштабе (> 500 км), а данные аэромагнитных съемок обеспечивают зондирование только приповерхностного слоя земной коры (масштаб < 10 км). Толщина земной коры колеблется от 20 до 40 км, поэтому оптимальные высоты зондирования должны быть такого же порядка, т. е. 30 – 40 км. Эти высоты освоены стратосферными аэростатами, дрейфующими в кругосветных зональных воздушных течениях.

В ИЗМИРАН и МАИ создан уникальный измерительный комплекс – аэростатный магнитный градиентометр, позволяющий решать задачи зондирования Земли с подспутниковых высот. Измерительная база комплекса имеет длину 6 км и вертикально ориентирована по полю силы тяжести. Градиентометр разработан для применения на отечественных аэростатах типа ВАЛ-120МА и состоит из трех приборных контейнеров, равномерно разнесенных в пространстве вдоль вертикали в пределах измерительной базы. Каждый контейнер содержит про-

тонный магнитометр, навигационный GPS-приемник, бортовую ЭВМ сбора и пакетирования информации. Для передачи цифровых данных используются три модема спутниковой связи «ГлобалТел». Данные передаются на сервер, он-лайн доступный через сеть Интернет по FTP-протоколу. На борту аэростата, помимо трех приборных контейнеров, располагаются тросонакопители троса (6 км), исполнительные механизмы (пирозамки и др.), тормозные и спасательный парашюты.

В течении последних 20 лет было выполнено более 10 стартов аэростатов с градиентометром на борту по трассам Камчатка-Поволжье и Поволжье-Урал. Данные полетов используются для изучения глубинного строения земной коры, анализа погрешностей магнитных карт и моделей магнитного поля Земли, для верификации измерений на других носителях. Разработанный комплекс может быть использован для измерения градиентов других геофизических полей стратосферы (температуры, состава, кинематики атмосферы и др.).

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

*А.Л. Харитонов,
ФГБУН Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
Российской академии наук (ИЗМИРАН),
г. Москва,*

Автором разрабатывается технология дистанционного электромагнитного зондирования Земли (ДЭЗЗ), которая позволяет прогнозировать аварийные ситуации на потенциально опасных технических объектах. Для этого создана многоступенчатая система компьютерных программ для математической обработки и анализа данных дистанционного электромагнитного зондирования Земли из космоса. Разработанная технология дистанционного электромагнитного зондирования Земли включает многоступенчатую систему компьютерных программ обработки данных, которая позволяет выделять определенные преда-

варийные зоны в районах расположения потенциально опасных технических объектов (гидроэлектростанции, атомные электростанции, нефтегазопроводы), на которых проявляется усталость материала (микротрещины) в результате возникновения слабых сейсмических событий (с магнитудой $M < 2$), которые не выявляются в начальной стадии по данным традиционных наземных локальных методов контроля. Для построения многоступенчатой системы компьютерных программ математической обработки данных дистанционного электромагнитного зондирования Земли из космоса, включающей алгоритмы различных математических методов, таких как анализ и синтез гармонических составляющих сферического гармонического анализа, спектральный метод максимальной энтропии, метод естественных ортогональных компонент, вейвлет анализ и другие, необходимо рассмотреть физическую основу для применения вышеперечисленных методов ДЭЗЗ для решения поставленной задачи. Наблюдаемое на низкоорбитальных космических аппаратах (КА) «MAGSAT», «CHAMP», «SWARM» электромагнитное поле является следствием воздействия различных внешних и внутренних физических процессов (магнитных бурь, связанных с солнечно-магнитосферными процессами; сейсмических; геоэлектрических и некоторых других). Основными наиболее опасными для технических объектов процессами, часто вызывающими аварии, являются сейсмические, которые обычно проявляются в пределах тектонических разломов земной коры. Для выявления, по данным дистанционного электромагнитного зондирования Земли, таких сейсмоактивных разломов – основных источников аварийных ситуаций на технических объектах, мы использовали в основном данные ортогональных компонент вектора индукции полного электромагнитного поля или его аномального приращения. По данным дистанционного электромагнитного зондирования Земли может исследоваться электромагнитная структура крупных тектонических разломов даже скрытых под мощным слоем осадочных пород, морской воды в океанах или льда в Арктике и Антарктике, а с учетом сейсмических данных и можно выявить их связь с расположением гипоцентров землетрясений одновременно во всех географических районах Земли и с временной периодичностью анализа их изменения – несколько суток. Кроме того, разработанные технологии позволяют на основе дистанционного электромагнитного зондирования Земли про-

гнозировать с определенной степенью вероятности возникновение аварийных ситуаций (пожаров, волн цунами) на морских нефтедобывающих платформах в любой точке нашей планеты. В результате проведенных исследований можно заключить, что используя комплекс различных данных дистанционного электромагнитного зондирования Земли работающего в настоящее время на орбите Земли низкоорбитального космического аппарата «SWARM» можно ежедневно (при необходимости чаще) проводить поиск предаварийных участков потенциально опасных технических объектов одновременно на всей поверхности Земли, в том числе и на акваториях Северного Ледовитого и Тихого океанов.

СБОР И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

*В.В. Гончаров, М.Ю. Ерофеев, П.А. Филоненко, Ю.Е. Гончарова,
«НИИ КС имени А.А. Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ
им. М.В. Хруничева», г. Королёв*

Промышленная безопасность объектов ракетно-космической отрасли (ОРКО), как опасных производственных объектов, характеризуется состоянием защищенности от аварий на них и последствий их возникновения, являясь необходимым условием надежной и безопасной эксплуатации ОРКО.

Под действием природных и функциональных факторов ОРКО теряют свои эксплуатационные качества и разрушаются, что приводит к авариям, либо инцидентам, что недопустимо. В связи с этим основу надежной эксплуатации ОРКО составляет контроль их технического состояния.

Контроль технического состояния ОРКО осуществляется, в том числе, при экспертизе промышленной безопасности, которой предшествует обследование ОРКО. Экспертиза промышленной безопасности ОРКО проводится организациями, имеющими лицензии на проведение данной экспертизы. Количество таких организаций велико, как и велик перечень организаций, имеющих опасные производственные ОРКО.

Для оценки технического состояния нормативной документацией установлены четыре категории технического состояния технических

устройств, применяемых на опасном производственном объекте: исправное, работоспособное, неработоспособное, предельное. Для каждой категории технического состояния разработаны уровни дефектов и повреждений, при использовании которых можно сделать предварительное заключение о состоянии контролируемого объекта. Оценка их технического состояния включает в себя поиск дефектов, измерения и технический контроль диагностических признаков. Для диагностирования контролируемых объектов на практике применимы различные виды средств неразрушающего контроля, использующих различные по физической природе методы контроля. Использование того или иного вида контроля является прерогативой организации, осуществляющей экспертизу. При этом для ОРКО, находящихся за пределами назначенных показателей ресурсов, реализуется принцип «избыточности», что приводит к неизбежному удорожанию проводимой экспертизы для достижения требуемой достоверности.

В связи с вышеизложенным представляется актуальной задача сбора информации о промышленной безопасности ОРКО и ее автоматизированное размещение в базу данных и последующее ее использование в автоматизированном режиме. Сбор данной информации осуществляется с помощью разработанного программного комплекса по следующим видам: данные по организациям, имеющим технические устройства, применяемые на опасных производственных объектах; данные по техническим устройствам, применяемым на опасных производственных объектах; данные по квалификации персонала, обслуживающего технические устройства, применяемые на опасных производственных объектах; данные по организациям, имеющим лицензии на проведение экспертизы промышленной безопасности ОРКО; данные по квалификации персонала, осуществляющего экспертизу промышленной безопасности ОРКО; данные по методам, результатам обследования и экспертизы технических устройств, применяемых на опасных ОРКО.

Использование информации о промышленной безопасности ОРКО для расчета специально разработанных показателей позволяют: объединить по группам однотипные ОРКО; оптимизировать сроки обследования и экспертизы ОРКО; оптимизировать состав и последовательность применяемых методов контроля, избегая излишней «избыточности» при обследовании.

**ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ
АВРОРАЛЬНЫХ ЭМИССИЙ
И ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ
ИМАДЖЕРОМ АВРОВИЗОР-ВИС/МП
НА ПЕРСПЕКТИВНОМ КА МЕТЕОР-МП**

*А.К. Кузьмин¹⁾, М.А. Баньщикова²⁾,
Г.М. Крученицкий³⁾, А.М. Мерзлый¹⁾,
П.П. Моисеев⁴⁾, Ю.Н. Потанин³⁾, И.Н. Чувашиов²⁾*

*<sup>1)Институт космических исследований
Российской академии наук (ИКИ РАН),
г. Москва</sup>*

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

*<sup>3)Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО Росгидромет),
г. Долгопрудный</sup>*

*<sup>4)Научно-производственное предприятие
«Астрон Электроника» (НПП), г. Орел</sup>*

На примерах зарубежных результатов одновременных наземных фотометрических наблюдений и работы GPS приемников, проведенных в полярных областях, анализируются преимущества использования мелкомасштабных орбитальных изображений конкретных авроральных эмиссий для исследований причинно-следственных связей и процессов, приводящих к сцинтилляциям сигналов при протыкании авроральных структур. Геометрия одновременных наблюдений сцинтилляций сигналов навигационных систем и авроральных эмиссий с орбиты и поверхности Земли показана на рисунке. Рассматриваются особенности постановки орбитального эксперимента по оптическому дистанционному контролю состояния ионосферы Земли в составе гелиогеофизического комплекса аппаратуры ГГАК-МП на перспективном КА Метеор-МП. Представляются характеристики разрабатываемого аврорального имаджера Авровизор-ВИС/МП. Обсуждаются критерии выбора разноракурсной фотометрической модели съемки авроральных структур. Рассматриваются элементы специального диалогового ПО «Вектор-М»,

создаваемого для планирования и проведения орбитальных наблюдений, и обработки получаемых изображений к географическим и геомагнитным координатам с учетом данных навигации и контроля ориентации КА. Проводится сравнительный анализ экспериментальных возможностей аппаратуры с известными аналогами.

**СЕКЦИЯ 6.
АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА И
КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КА**

**ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
РАДИОУГЛОМЕРНОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ**

*А.В. Пичкалев, С.С. Красненко,
Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»
имени академика М.Ф. Решетнёва»,
г. Железногорск*

Главная проблема при разработке радиоугломерной аппаратуры (РУА) для определения пространственной ориентации КА по сигналам космических навигационных систем (КНС) ГЛОНАСС и GPS (особенно находящихся на орбитах с апогеем выше 5000 км – вне единого навигационного поля КНС) заключается в отсутствии соответствующего испытательного оборудования.

Для испытаний РУА требуется многолучевой имитатор радионавигационных сигналов (МИРНС), с числом выходов, соответствующих числу угломерных антенн РУА, при этом на каждом выходе должны формироваться сигналы полного видимого созвездия навигационных космических аппаратов (НКА) с фазовой задержкой, соответствующей положению угломерной антенны на КА. Для штатного функционирования РУА необходимо, как минимум, 3 антенны.

При определении требований к погрешности формирования сигналов в МИРНС необходимо исходить из погрешности определения фазового сдвига несущей частоты на различных угломерных антеннах РУА, которая определяется собственными вносимыми шумами, и варьируется в пределах от 1 до 3 градусов. Из этого следует, что по-

грешность формирования разности фазы несущей частоты навигационного сигнала на различных выходах многолучевого имитатора должна быть порядка 0,1 – 0,5 градусов. В реальных условиях работы РУА ее антенны кроме навигационных сигналов, поступающих непосредственно от НКА, принимают также сигналы, отраженные от деталей конструкции, на которой они установлены. Возникающая при интерференции этих сигналов погрешность определения разности фаз на различных угломерных антеннах (т.н. «погрешность многолучевого приема») составляет порядка 5 – 6 градусов. Но эта погрешность имитируется МИРНС в качестве отдельного параметра формируемой сигнальной обстановки и не снижает требований по точности воспроизведения фаз несущих.

Для эффективного использования МИРНС необходимо обеспечить компенсацию вносимой его трактами систематической погрешности. При этом суммарное значение случайной и неисключенной систематической погрешности не должно превышать 0,1 – 0,5 градуса.

Развитие магистрально-модульных систем в области генерации СВЧ-сигналов позволяет создавать модульные испытательные комплексы для СВЧ-аппаратуры. Так, например, специалисты компании «National Instruments» (NI) разработали для АО «ИСС» систему испытаний фазированной антенной решетки из 24 генераторов, воспроизводящих сигналы с фазовой задержкой относительно друг друга 4 – 6 пс. Для нее была использована новейшая технология высокоточной синхронизации (до 250 фс) векторных РХИ-генераторов, которая позволяет воспроизводить сигналы с фазовой разбежкой порядка 0,1 градуса на частоте 6 ГГц.

Специалисты NI макетировали МИРНС на векторных РХИ-генераторах сигналов для испытаний РУА низкоорбитальных КА АО «ИСС». Когерентная система из трех модулей, по их заявлению, обеспечивает перестройку фазы и погрешность установки на различных выходах в 0,05 градуса. Различие фаз на различных выходах МИРНС должно составлять менее 5 пс. Однако это не удалось проверить на радионавигационном сигнале из-за невозможности формирования собственной фазы сигнала для каждого НКА штатным ПО имитации КНС ГЛОНАСС и GPS на векторном генераторе NI. Необходима доработка GLONASS Toolkit и разработка специального ПО для радиогломерной имитации сигналов GPS.

Есть и еще одна проблема при создании МИРНС на базе векторного генератора, представляющего собой сверхбыстродействующий ЦАП, который при заданном векторе непрерывно формирует сигнал, подобный навигационному. Для непрерывности его формирования векторному генератору на входе необходим быстро изменяющийся цифровой код, который описывает алгоритм движения НКА по орбите. Для этого используется быстродействующий процессор с внешней памятью, куда записывается этот алгоритм. Однако формирование сигнала полного видимого созвездия НКА на РХИ-генераторе потребует практически всей вычислительной мощности встроенного РХИ-компьютера. Для нескольких выходов МИРНС придется разрабатывать специальную многопроцессорную вычислительную РХИ-систему или устанавливать для каждого векторного генератора собственный RAID-массив с записанным на него заранее рассчитанным сигналом с соответствующей фазовой задержкой. Такой МИРНС становится весьма громоздкой и дорогостоящей аппаратурой с очень сложным ПО.

В АО «ИСС» есть опыт успешной разработки модульного имитатора радионавигационных сигналов КНС ГЛОНАСС и GPS для аппаратуры радионавигации геостационарных КА. Модуль РХИе-5641R синтезирует радионавигационный сигнал во встроенной реконфигурируемой ПЛИС SX95T Virtex-5 и генерирует через ЦАП аналоговый сигнал, соответствующий полному видимому созвездию НКА, который затем переносится в необходимый диапазон преобразователем частоты вверх РХИ-5610.

Применение технологии высокоточной синхронизации к когерентной системе РХИе-модулей NI R-серии даст возможность синтезировать сигнал полного видимого созвездия НКА в ПЛИС, обеспечивая непосредственное управление его параметрами по данным цифровой информации, переданной в модуль, и корректируя его при необходимости в процессе работы. Это также позволит отказаться от внешних RAID-массивов или многопроцессорных вычислительных систем, ограничивая размеры МИРНС одним РХИ-шасси.

Таким образом, использование современных технологий позволит решить проблемы испытаний РУА, а также в кратчайшие сроки производить его доработку для новых видов навигационной аппаратуры.

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ АНТЕНН КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*В.С. Бочаров, А.Г. Генералов, Э.В. Гаджиев,
АО «ВНИИЭМ», г. Истра*

При проектировании бортовой антенной системы космических аппаратов (КА) возникает необходимость проведения наземных испытаний. Целью данных испытаний является проверка работоспособности не только бортовых антенн, но и бортовой аппаратуры в целом. По результатам испытаний в случае необходимости проходят работы по устранению выявленных неполадок.

Как правило, для проведения такого рода испытаний в части бортовых антенн требует вспомогательная антенна. Данная антенна должна удовлетворять следующим требованиям:

- обладать малогабаритной, невыступающей конфигурацией для проверки бортовых антенн как больших КА, так малых и сверхмалых КА;
- не оказывать существенного влияния на проверяемую антенну, например, входное сопротивление;
- обладать низкой стоимостью изготовления;
- обладать возможностью многократного использования;
- обладать простотой в эксплуатации, т. е. без дополнительных операций по настройке;
- обладать стабильностью характеристик.

В качестве таких антенн предлагается применение микрополосковых (печатных) антенн. Данный тип антенн соответствует предъявляемым требованиям к вспомогательной антенне, указанным выше.

В ряде случаев, например, при разработке УКВ МПА, возникает необходимость миниатюризации вспомогательной антенны. Разработанный и предложенный способ миниатюризации микрополосковых антенн УКВ диапазона, позволяющий уменьшить габариты антенны в 2 – 2,5 раза по сравнению с существующими аналогами, позволяет расширить возможность применения этих антенн в качестве вспомогательных. Данный способ миниатюризации не ухудшает характери-

ки направленности антенны (коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления).

В данной работе рассмотрен вариант построения вспомогательной микрополосковой антенны дециметрового диапазона для бортовой системы «КОСПАС–САРСАТ» для проверки приёмной антенны и аппаратуры.

ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЗЗ С КА НА ЗЕМЛЮ

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

Развитие технологий дистанционного зондирования Земли привело в настоящее время к появлению съемочной аппаратуры, создающей информационные потоки порядка сотен и тысяч Мбит/с. В настоящее время для передачи данных ДЗЗ с КА на Землю применяются радиолинии, работающие в X-диапазоне (8,0 ÷ 8,4 ГГц), использующие модуляцию QPSK и всенаправленные или параболические передающие антенны на борту. При таких технических решениях предельная скорость передачи информации, определяемая полосой частот, отведенной для линий связи Космос – Земля в X – диапазоне, составит ~ 400 Мбит/с.

Пропускная способность канала связи определяется формулой Шеннона:

$$V = W * \log (1+P_s/P_n) ; \quad (1)$$

где: V – пропускная способность канала связи;

W – ширина спектра сигнала, пропорциональная символьной скорости в канале;

P_s/P_n – отношение мощности сигнала к мощности шума.

Первый сомножитель в этой формуле определяет число символов, передаваемых в единицу времени, второй – количество информации, переносимое одним символом. Таким образом, достичь увеличения пропускной способности канала можно или увеличивая скорость передачи символов, при этом расширяя занимаемый диапазон частот, или увеличивая количество информации в одном символе, т. е. пере-

ходя на более сложные виды модуляции. Расширения диапазона частот при этом не требуется, но потребуются значительно большее увеличение энергетического потенциала линии. Для иллюстрации рассмотрим радиолинию, использующую модуляцию QPSK. Например, увеличение информационной нагрузки на символ с 2 до 4 бит приводит к потерям энергии канала, равным 4 дБ.

Следовательно, для увеличения скорости передачи информации без расширения занимаемой полосы частот и использования сложных видов модуляции необходимо изыскивать возможности создания дополнительных независимых каналов связи в этой же полосе частот. Одной из таких возможностей является, например, использование ортогональной поляризации для создания второго канала связи в той же полосе частот, что позволяет увеличить скорость передачи в два раза, при этом потребуются второй передатчик. Такие системы применяются на ряде зарубежных КА ДЗЗ.

Другой возможностью создания дополнительных каналов связи в той же полосе частот является создание многолучевых систем. Такая возможность появляется в связи с созданием и развитием территориальной сети приемных станций. Современная техника активных фазированных антенных решеток (АФАР) позволяет формировать одновременно несколько лучей, каждый из которых модулируется и направляется независимо и передает информацию на свою приемную станцию. В этом случае скорость передачи информации возрастает во столько раз, сколько приемных станций участвует в работе. Пределом этого увеличения является возможность пространственного разделения лучей, определяемая размером АФАР и количеством независимых излучателей в ней. В настоящее время известны АФАР, применяемые в самолетных РЛС X – диапазона, которые могут одновременно сопровождать до 20 целей.

В докладе рассматриваются ограничения, накладываемые на производительность таких систем современными возможностями технической реализации, а также формулируются основные задачи, которые необходимо решить при их создании.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОКОДЕТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

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

Интерферометрическая обработка радиолокационной информации является одним из наиболее перспективных способов получения цифровых моделей рельефа (ЦМР) земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. В основе интерферометрической обработки лежит анализ разности фаз сигнала в одноименных пикселях двух и более комплексных радиолокационных изображений, полученных с близких, но не совпадающих орбит. Интерферометрическая обработка включает следующие этапы:

- 1) определение параметров геометрического соответствия двух изображений;
- 2) трансформация второго изображения в геометрию первого;
- 3) формирование интерферограммы – фазоразностного изображения;
- 4) расчет интерферометрической базы;
- 5) вычитание из интерферограммы набега фазы плоского рельефа;
- 6) анализ когерентности – оценка уровня фазового шума;
- 7) фильтрация шумов на интерферограмме;
- 8) развертывание фазы – восстановление истинных значений фазы по ее значениям, свернутым по модулю 2π ;
- 9) пересчет развернутой фазы в высоту;
- 10) трансформация матрицы высот в картографическую проекцию.

В докладе показано, что для качественного выполнения большинства из перечисленных этапов необходимо приближенное знание рельефа. Так для высокоточного совмещения двух РЛИЗ при больших перепадах высоты рельефа становится недостаточно полиномиальной модели их геометрического соответствия, а метод корреляционно-экстремального совмещения из-за влияния спекл-шума дает ненадежные результаты. Следовательно, высокоточное совмещение РЛИЗ при больших перепадах высоты рельефа возможно только с использованием опорной приближенной модели рельефа, в качестве которой может служить глобальная ЦМР низкого разрешения.

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

Проиллюстрировано, что на крутых горных склонах оценка когерентности получается сильно заниженной из-за значительного набега фазы вдоль склона и что для правильной оценки когерентности необходим учет опорного рельефа.

Показано, что опорный низкодетальный рельеф может также использоваться при развертывании фазы для более точной оценки среднего уровня развернутой фазы на участках, окруженных крутыми склонами.

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

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БОРТОВЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ СВЧ ДИАПАЗОНА

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

Одной из актуальнейших проблем антенной техники является изыскание путей построения и практической реализации широкополосных и многодиапазонных антенных систем с широкоугольным электрическим сканированием, а в некоторых случаях и моноимпульсным режимом работы. Антенные системы мобильных радиоэлектронных комплексов радиолокации и связи также должны обладать высоким энергетическим потенциалом. Решение этих проблем способствует созданию нового поколения бортовых радиоэлектронных систем (РЭС) с интегрированием функций радиолокационной станции (РЛС), навигации опознавания и др., т. е. разработке интегрированного

радиоэлектронного комплекса (РЭК), выполненного в виде многорежимного комплекса с быстрым переключением антенных лучей.

В последнее десятилетие интенсивно развивалась теория и техника фазированных антенных решеток (ФАР). Существующая теория ФАР и активных фазированных антенных решеток (АФАР) позволяет рассчитывать ожидаемые характеристики таких систем, однако, дальнейшее развитие антенной техники требует создания конкурентоспособных РЭС с новыми характеристиками. В частности, к таким средствам можно отнести интегрированные бортовые комплексы РЛС, работающие одновременно на нескольких частотах или осуществляющие электрическое сканирование в секторе, превышающем $\pm 60^\circ$. Для расширения сектора сканирования и рабочей полосы частот применяются различные выпуклые, а также комбинированные антенные решетки. Возможно также применение купольных схем построения, сочетающих в конструкции плоскую и неплоскую антенную решетку из волноводных или диэлектрических линз, расширяющих сектор сканирования.

Из литературы известны широкополосные и совмещенные многофункциональные антенные решетки. Однако рассматриваемые антенны имеют сложную распределительную систему и не обеспечивают необходимые в настоящее время технические характеристики. Применение выпуклых ФАР (ВФАР), позволяет расширить рабочую полосу частот и увеличить расстояние между элементами без потери коэффициента усиления (КУ), уменьшить уровень коммутационных боковых лепестков и упростить согласование излучателей в антенной решетке. В процессе развития ВФАР были предложены и исследованы различные варианты размещения элементов: на цилиндрических, конических, сферических поверхностях, но ВФАР по-прежнему имеют большие габариты и число элементов существенно превышающее минимально необходимое.

Перспективным направлением создания бортовых антенных систем являются АФАР с пространственным размещением элементов и цифровым диаграммообразованием. В таких решетках упрощается схема формирования диаграммы направленности, а также создание ДН специальной формы или практическая реализация моноимпульсного режима работы при помощи цифровой системы формирования луча. Таким образом, АФАР обеспечивает высокую крутизну пеленгационных характеристик за счет пространственной схемы размещения элементов в апертуре и цифровой диаграммообразующей системы.

МОДУЛЬ ШТАНГИ ФМ–МП

*М.П. Гассиева, О.А. Моисеева, Ж.Н. Тимонова, А.С. Бурлова, М.П. Юнина,
В.Ю. Сарайкина, Г.В. Посажженникова, П.А. Бычкова, Н.С. Алексеева,
АО «ВНИИЭМ», г. Истра*

На борту космических аппаратов (КА) часто возникает необходимость в применении выносных элементов (штанг, кронштейнов и др.) для выведения целевой аппаратуры в работоспособное положение.

Модуль штанги ФМ–МП предназначен: для вывода узлов феррозондовых (УФ) УФ-6-1 и УФ-6-2 в условиях орбитального полёта в заданную точку пространства прямоугольной системы координат, однозначно ориентированной относительно КА; для обеспечения компоновки узлов феррозондовых УФ-6-1 и УФ-6-2 на КА под головным обтекателем и при транспортировании в контейнере в составе КА.

Габаритные размеры: в сложенном виде – $(280\pm 2)\times(328\pm 2)\times(2082\pm 5)$ мм; в раскрытом виде – $(240\pm 2)\times(1935\pm 5)\times(6205\pm 5)$ мм.

Масса: штанги ФМ–МП не более 7 кг (без учёта массы жгутов и датчиков УФ-6-1 и УФ-6-2); модуля штанги (штанга с элементами крепления к КА) не более 11 кг. Модуль штанги ФМ–МП обеспечивает компактное размещение штанги ФМ–МП с датчиками УФ-6-1 и УФ-6-2 на КА под обтекателем и при транспортировании в контейнере в составе КА с помощью устройств зачеховки. После срабатывания пирочек тяги в устройствах зачеховки отклоняются и отпускают штангу. При наземной эксплуатации используется имитатор пирочки.

Раскрытие штанги из сложенного положения осуществляется пружинно-канатной системой раскрытия, расположенной в механизме раскрытия, внутри штанг и заканчивающейся в концевой штанге устройством взведения механизма раскрытия. Фиксация штанг в рабочем положении осуществляется крючками, датчики РШ при этом должны замкнуться.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВСТРАИВАЕМОЙ ЭЛЕКТРОМАШИНЫ ДЛЯ ПРИВОДА НАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ

*В.Я. Геча, А.Б. Захаренко, С.А. Мартынова, Н.А. Красова
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Наиболее актуальным в настоящее время является создание высокоскоростных радиолиний космических аппаратов (КА) на основе направленных антенно-фидерных систем.

При проектировании АФС, в том числе опорно-поворотных устройств, необходимо учитывать ограничения, накладываемые требованиями к бортовой аппаратуре КА:

- с одной стороны, суммарная масса антенно-фидерной системы должна быть снижена;

- с другой стороны должна быть обеспечена достаточная жесткость конструкции АФС, которая не должна иметь резонансных механических частот ниже 40 Гц.

Конструкция антенно-фидерной системы (АФС) накладывает ограничение на диаметр приводного электродвигателя. Необходимо обосновать выбор внешнего диаметра встраиваемого электродвигателя исходя из максимизации низшей резонансной механической частоты антенно-фидерной системы, основанием которой он является.

Для расчета резонансных механических частот конструкции АФС БИС-СМ перспективного космического аппарата создана конечно-элементная модель (рис. 1).

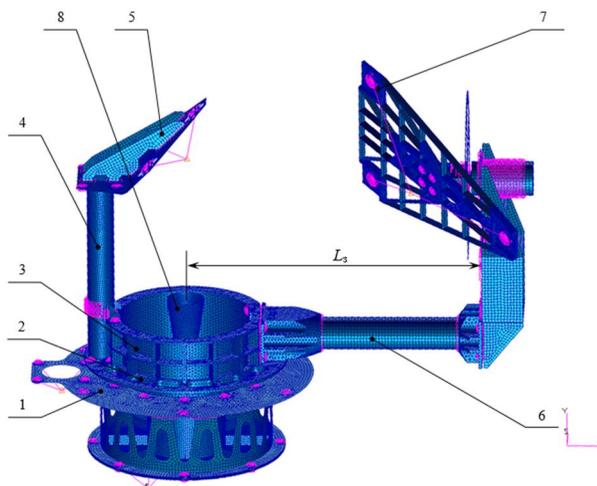


Рис. 1. Конечно-элементная модель электропривода антенно-фидерной системы

Крепление к корпусу космического аппарата осуществляется диском 1. Прямой электропривод поворота по углу азимута приводится во вращение многополюсным электродвигателем с дискретно-распределённой обмоткой и внешним ротором, установленный на месте 2 (рис. 2). К кольцевой ферме 3 крепятся кронштейн 4 контррефлектора 5 и кронштейн 6 крепления рефлектора 7. Электродвигатель 2 поворачивает на заданный угол места контррефлектор 5 и узел крепления рефлектора 7 вокруг оси облучателя 8, жестко закреплённого на волноводе. Второй электродвигатель поворачивает на заданный угол места узел крепления рефлектора 7.

Методика выбора оптимального диаметра электродвигателя.

Многополюсный электродвигатель с дискретно-распределённой обмоткой и внешним ротором находится у основания кольцевой фермы 3. Для снижения массы конструкции диаметр подшипника электродвигателя $D_{п}$, приблизительно равный диаметру внешнего ротора, соответствует диаметру кольцевой фермы 3. Этот диаметр подлежит оптимизации по критерию максимизации низшей резонансной механической частоты ($D_{п} = \text{var}$). Размер L_3 (рисунок 1), определяющий расстояние между рефлектором и контррефлектором, должен остаться неизменным при оптимизации ($L_3 = \text{const}$).

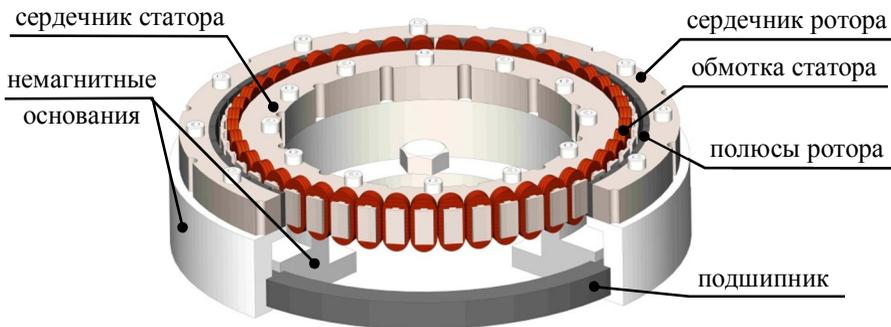


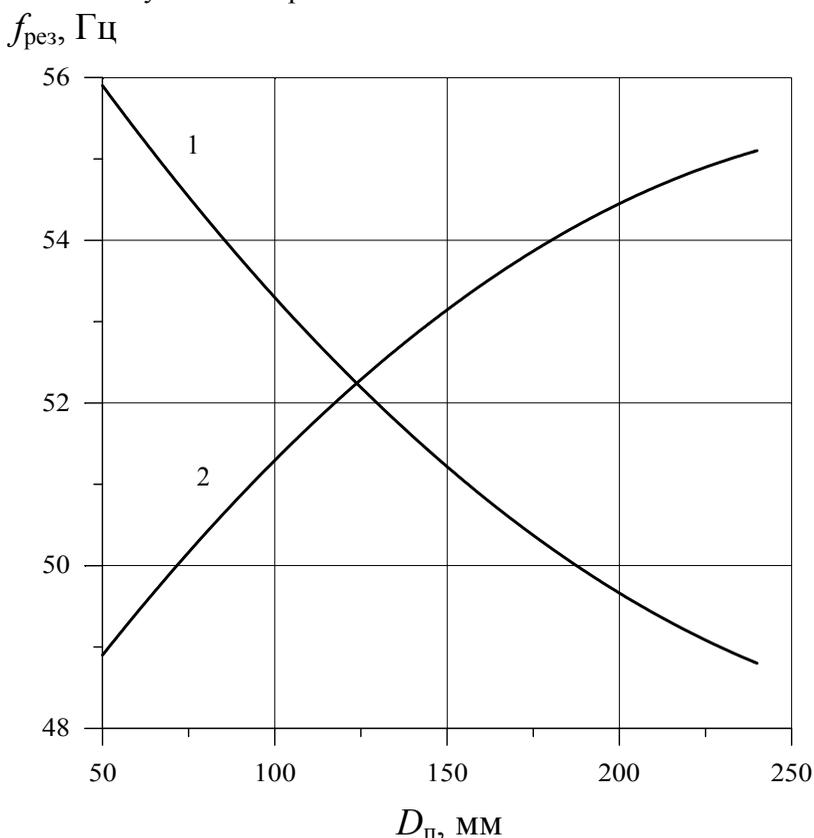
Рис. 2. Эскиз электродвигателя для азимутального привода направленной антенно-фидерной системы БИС-СМ

Результаты выбора оптимального диаметра электродвигателя. Результаты анализа упрощенных моделей АФС говорят о том, что с увеличением диаметра $D_{п}$:

- жесткость кольцевой фермы уменьшается,
- длина кронштейна уменьшается, а его жесткость увеличивается,
- изгибающий момент, действующий на кронштейн (в связи с уменьшением плеча, т.е. длины кронштейна) также уменьшается.

Проведённые расчеты показали, что низшими формами колебаний являются: поперечная (1) и продольная (2).

В связи с вышеперечисленным, при изменении диаметра $D_{п}$ низшие формы колебаний меняются местами (рис. 3). Таким образом, наиболее оптимальным является диаметр $D_{п} = 120$ мм, при котором наблюдается максимум низших резонансных механических частот.



1 – поперечная форма колебаний, 2 – продольная форма колебаний
Рис. 3. Зависимости частот низших форм колебаний от диаметра подшипника электродвигателя

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

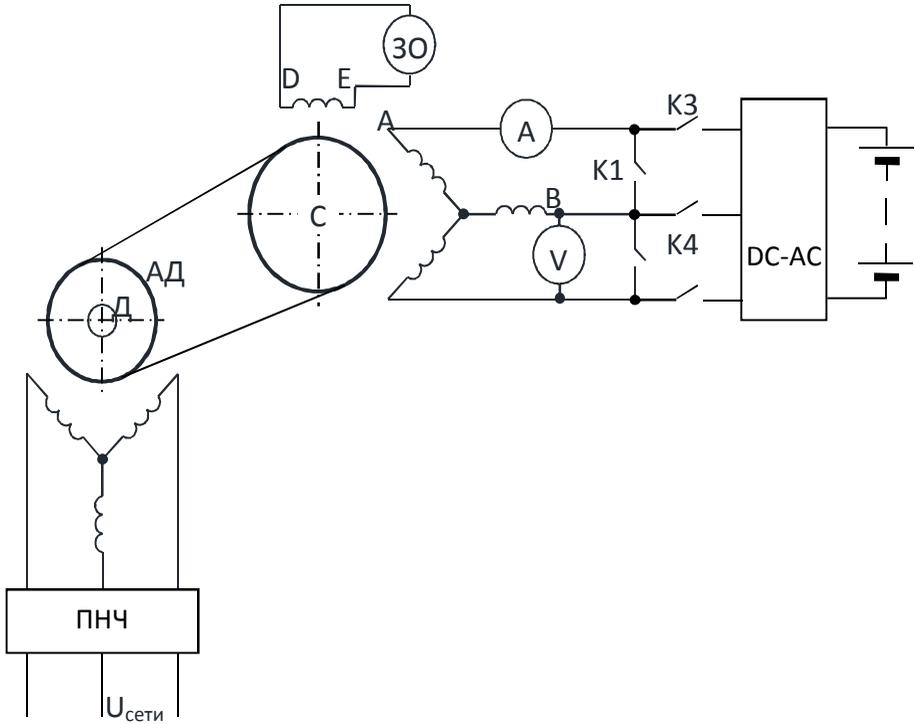
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ЭДС ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ДИСКРЕТНО-РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ОБМОТКАМИ И МАССИВНЫМ ЯКОРЕМ

*В.Я. Геча, А.Б. Захаренко, С.А. Мартынова,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Создание надежных устройств космического назначения требует разработки новых конструкций многополюсных электрических машин. Наилучшие характеристики надежности обеспечивают дискретно-распределённые обмотки (ДРО) статора. Недостатком электромашин с ДРО являются большие добавочные потери. Расчет КПД, в том числе добавочных потерь, а также дифференциального рассеяния является одним из основных вопросов методики расчета электрических машин с ДРО. Поскольку на гармонический состав потокосцепления и ЭДС любой электрической машины оказывает влияние насыщение магнитной системы, реакция якоря, гармонический состав напряжения сети и др., адекватно его можно определить только экспериментально.

Для экспериментального определения гармонического состава ЭДС электрической машины с дискретно-распределённой обмоткой, был создан стенд (рис.1).

С помощью стенда определен гармонический состав ЭДС электрической машины с дискретно-распределённой обмоткой и проанализирован полученный результат на предмет соответствия (или различия) гармонического состава ЭДС, полученного экспериментальным и расчетным путем (рис.2).



ПНЧ – преобразователь напряжения и частоты, ДМ – датчик момента, АД – приводной асинхронный двигатель, СМ - синхронная электрическая машина с дискретно-распределённой обмоткой, ЗО – запоминающий осциллограф, K1, K2, K3, K4, K5 – выключатели, DC-AC – инвертор напряжения

Рису. 1. Схема стенда для экспериментального исследования синхронной магнитоэлектрической машины с дискретно-распределённой обмоткой

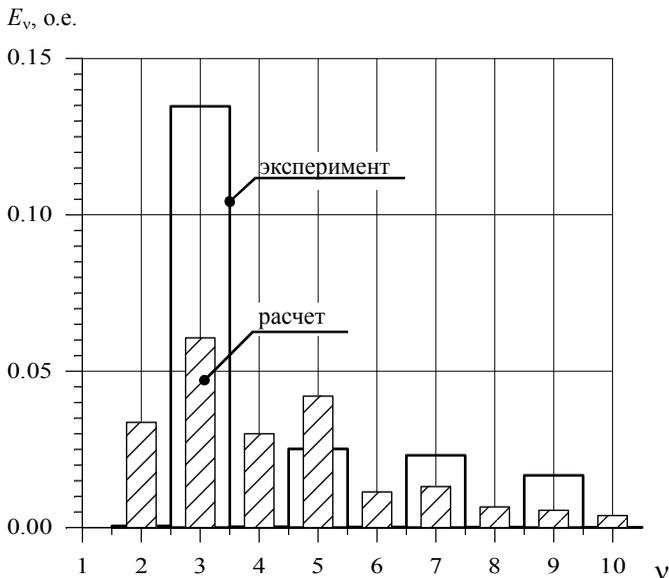


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные коэффициенты гармонического ряда для ЭДС для режима короткого замыкания

Поскольку экспериментальный гармонический состав ЭДС существенно отличается от расчетного, по экспериментальным данным было введено уточнение в формулы для расчета добавочных потерь и дифференциального рассеяния.

Для машины с числом зубцов $z = 27$, пар полюсов $p=12$ и числом пазов на полюс и фазу $q=3/8$, для режимов нагрузки и короткого замыкания формулы для добавочных потерь и дифференциального рассеяния приобретают вид, приведённый в таблице.

С применением уточненных формул выполнены расчеты добавочных потерь и дифференциального рассеяния новых конструкций электрических машин с ДРО и массивным якорем с числом пазов на полюс и фазу $q=3/8$.

Формулы для расчета добавочных потерь и дифференциального рассеяния приобретают вид

Величина, формула	Режим	Эксперимент	Расчет
Добавочных потерь $\Sigma P_{cm.v}$ $\Sigma P_{cm.v} = P_{cm.1} \sum_v \left(\frac{E_v}{E_1} \right)^2 \frac{1}{v^{0.7}}$	Короткое замыкание	0,004 $P_{ст1}$	0,011 $P_{ст1}$
	Холостой ход	0,008 $P_{ст1}$	-
Коэффиц. магн. пров. дифференциального рассеяния λ_D $\lambda_D = (\lambda_{II} + \lambda_{JI}) \sum_v \frac{\Psi_v}{\Psi_1}$	Короткое замыкание	0,062 ($\lambda_{II} + \lambda_{JI}$)	0,061 ($\lambda_{II} + \lambda_{JI}$)
	Холостой ход	0,045 ($\lambda_{II} + \lambda_{JI}$)	-

МЕХАНИЗМ РАСКРЫТИЯ ЗВЕНЬЕВ ШТАНГ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

М.П. Гассиева, О.А. Моисеева, А.С. Бурлова, Ж.Н. Тимонова, АО «НИИЭМ», г. Истра

Механизм раскрытия звеньев штанг космических аппаратов (КА) применяется на борту КА для раскрытия штанг значительной длины (в раскрытом положении 5 – 6 метров), состоящих из 3-х колен, с целью вывода установленных на штанге приборов в определенную точку относительно КА. При одновременном раскрытии 3-х колен штанги наблюдается сложная динамика движения конструкции: вокруг оси вращения корневого колена происходит вращение всех трех колен штанги, отличающихся по массе, с меняющейся степенью раскрытия относительно друг друга; первоначальные центры масс каждого колена и конструкции в целом меняют свои координаты относительно осей вращения своего колена и конструкции в целом относительно оси вращения корневого колена. Отрицательные моменты, возникающие при описанном движении: скачкообразное изменение угловой скорости каждого колена; неравномерность движения конструкции в целом; возникновение вибраций; угловая скорость максимальной величины на момент останова, т.к. разница между энергией пружинного привода и энергией необходимой для преодоления сил сопротивления раскрытию идет на ускорение раскрытия штанги.

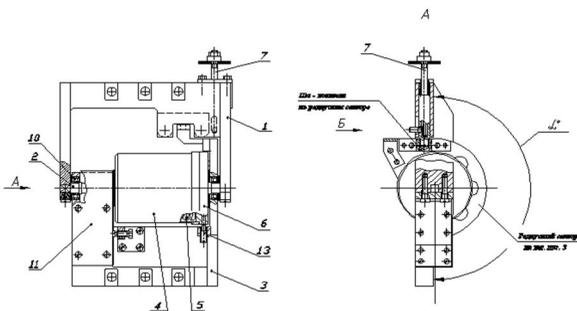
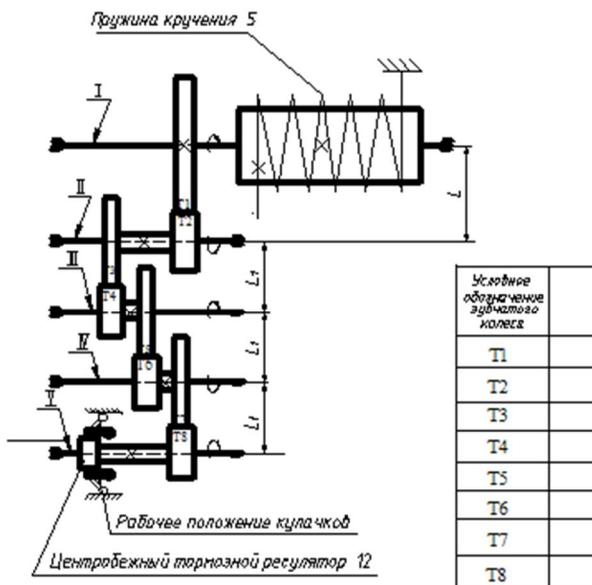


Рис. 1. Общий вид механизма в раскрытом положении



1. Общее передаточное число gearов: $I=I_1 \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot I_4=256$.

Рис. 2. Кинематическая схема мультипликатора

Результатом отрицательных вышеперечисленных моментов являются значительные динамические нагрузки на конструкцию, которые могут привести к разрушению.

В предлагаемом механизме раскрытия звеньев штанг КА, представленный на рис. 1, существенным признаком, влияющим на снижение динамических нагрузок, является работа мультипликатора с центробежным тормозным регулятором.

Центробежные тормозные регуляторы предназначены для выравнивания скорости вращения рабочей оси механизма, находящейся под воздействием, в нашем случае – пружины кручения, и раскрывающейся, меняющей свои габаритные размеры и центр масс конструкции.

Центробежный тормозной регулятор (поз. 12 рис. 2) установлен на вале V мультипликатора. Мультипликатор (поз. 11 рис. 1) – малогабаритное устройство точной механики. На кинематической схеме (рис. 2) показана взаимосвязь зубчатых колес.

Габаритные размеры механизма мм: в сложенном положении – 80×134×120; в раскрытом положении – 80×134×165. Масса: 0,99 кг

Механизм имеет датчик раскрытия, срабатывающий при фиксации раскрытия на заданном угле раскрытия.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ.....	3
СЕКЦИЯ 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ, ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ.....	11
СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ И СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	41
СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ.....	104
СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	146
СЕКЦИЯ 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО	176
СЕКЦИЯ 6. АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КА.....	200

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

Подписано в печать 10.05.2016.
Тираж 150 экз.