



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

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



МОСКВА
2018

Тезисы докладов Шестой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – 146 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
ШЕСТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ»**

**ОПЫТ АО «КОРПОРАЦИЯ «ВНИИЭМ» ПО СОЗДАНИЮ,
ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПОДДЕРЖАНИЮ
ОБЪЕДИНЕННОЙ ГРУППИРОВКИ ДЗЗ МАЛЫХ И СРЕДНИХ
КА ТИПА «КАНОПУС-В» И «МЕТЕОР-М»**

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

Уважаемые участники конференции, товарищи, друзья!

От имени организационного комитета, Корпорации ВНИИЭМ, разрешите Вас приветствовать и поздравить с началом работы шестой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли»!

На гостеприимной площадке ВНИИЭМ всем желающим принять участие в работе конференции уже стало тесновато, поэтому в этом году работа конференции организована здесь, в конгресс-центре комплекса Измайлово.

Проблема развития космических систем дистанционного зондирования Земли, создания новых, в том числе малых, КА, систем наземной обработки космической информации, создания новых алгоритмов ее обработки, вызывает растущий интерес со стороны специалистов различных областей.

Результаты дистанционного зондирования играют важную роль для социально-экономического развития всех стран, поэтому, коллеги, наша с Вами работа, как и тема нынешней конференции, действительно является актуальной и крайне важной, все больше

аспектов нашей жизни непосредственно зависит от наблюдений Земли из космоса.

Для нашего предприятия тематика дистанционного зондирования Земли является основной, хотя и не единственной. В настоящее время на орбите Земли находятся 9 наших КА ДЗЗ, в этом году на орбиту успешно выведено 3 аппарата ДЗЗ – включая КА «Канопус-В» № 3 и № 4, планируются пуски еще 3 КА.

В этом году на пленарном заседании и 6 секциях запланировано заслушать 79 докладов, в работе конференции примут участие представители 56 российских и 5 зарубежных организаций.

Желаю Вам успешной работы и интересных научных результатов!

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ,
ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

*В. А. Мироничев,
Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»,
г. Москва*

**ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
ИЗ КОСМОСА – ОСНОВА СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА
«ЦИФРОВАЯ ЗЕМЛЯ»**

*В. А. Заичко,
Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»,
г. Москва*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗНОВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ДЗЗ

С. В. Серебряков,
Акционерное общество «Роскартография», г. Москва



КОНЦЕПЦИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ И ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

А. В. Карелин, Е. М. Твердохлебова,
В. А. Шувалов, А. А. Яковлев,
ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королев

Энергетика и масштабы природных процессов, их взаимодействие и взаимовлияние определяют известные сложности в решении задач наблюдения и разработки моделей для построения прогнозных оценок изменчивости природной среды. Геофизические и гидрометеорологические процессы выделяются на этом фоне динамичностью, большей

активностью, подвижностью и чувствительностью к внешним воздействиям. Геофизические среды являются транзитерами солнечно-земных взаимодействий, оказывающих прямое воздействие на энергетический баланс планеты.

Для решения задач прогнозирования изменения состояния геофизических сред необходимо располагать измерительными инструментами для определения количественных данных о параметрах геофизических явлений и процессов, которые могут быть получены путем регулярных наблюдений с привлечением космических средств.

Поскольку степень достоверности прогнозных оценок изменчивости природной среды зависит от количества измеряемых параметров и времени наблюдения определяющих процессов возникает необходимость в создании космической системы (КС) мониторинга геофизической и гидрометеорологической обстановки (ГФМО).

Основы концепции КС мониторинга (как и любой КС) разрабатываются исходя из её назначения – регулярного определения данных ГФМО.

Состав гидрометеорологических и геофизических объектов, явлений, процессов, задачи мониторинга и баллистическое построение КА с требуемой целевой аппаратурой позволяют сформировать структуру единой КС мониторинга ГФМО. КС включает шесть группировок КА:

- внемагнитосферную (2 КА в окрестностях точек либрации $L1$ и $L5$ системы «Солнце – Земля»); КА в точке $L1$ должен оснащаться аппаратурой для контроля Солнца и солнечной активности и комплексом климатологических приборов для мониторинга альbedo Бонда и теплового баланса Земли; КА в точке $L5$ должен оснащаться аппаратурой для прогноза геоэффективных процессов на невидимой с Земли части Солнца и солнечной активности;

- геостационарную (3 КА на геостационарной орбите); КА предназначены для получения изображений низкого разрешения облачности, снежного покрова суши, ледового покрова поверхности морей и океанов, контроля солнечной активности и альbedo Земли в интересах изучения глобальных изменений климата, потоков заряженных и нейтральных частиц;

- магнитосферную (3 КА на ВЭО: 2 КА – на орбите типа «Молния» и 1 КА – на орбите типа «Тундра»); 2 КА предназначены для картографических изображений облачности и подстилающей поверхности Арктики в различных диапазонах спектра и контроля основных пара-

метров полярной ионосферы, верхней атмосферы, магнитосферы, электромагнитных излучений природного и антропогенного характера, а также обзора авроральной области в УФ, видимом и ИК диапазонах; 1 КА предназначен для контроля основных параметров магнитосферы, включая магнитопаузу, полярной ионосферы, электромагнитных излучений природного и антропогенного характера;

– ионосферную (8 КА на орбитах высотой 600 – 800 км в восьми околополярных орбитальных плоскостях, равномерно разнесенных относительно направления на Солнце); КА предназначены для контроля параметров ионосферы с помощью радиолокатора;

– гидрометеорологическую (8 КА на ССО высотой 650 – 900 км); 4 КА предназначены для получения многозональных изображений, включая радиолокационные, в целях мониторинга и прогноза гидрометеорологической обстановки; 4 КА предназначены для анализа и прогноза состояния акватории морей и океанов; все 8 КА оснащаются аппаратурой контроля параметров верхней и средней атмосферы, волновой активности, электромагнитных полей, потоков ионизирующей радиации, потоков заряженных и нейтральных частиц;

– радиозатменную (16 КА на околополярных орбитах высотой 600 – 800 км); КА предназначены для мониторинга ионосферы и атмосферы методом радиозатменного зондирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ УФ-СВЕЧЕНИЯ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЛОМОНОСОВ»

*П. А. Климов от имени коллаборации «Ломоносов»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования*

*«Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына*

Орбитальный детектор «ГУС», запущенный в составе научной аппаратуры спутника «Ломоносов» 28 апреля 2016 г. с космодрома Восточный представляет собой телескоп-рефлектор, состоящий из зеркала-концентратора френелевского типа большой площади (2 м²), фотоприемника, расположенного в фокальной плоскости зеркала, системы отвода фотоприемника для защиты от прямого попадания

солнечных лучей в случае потери ориентации аппарата и датчика солнечной засветки. Фотоприемник представляет собой матрицу из 256 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) типа Hamamatsu R1463 с электроникой для обработки и анализа сигналов. Диапазон длин волн в котором производится измерение составляет 240 – 400 нм и определяется полосой пропускания светофильтров (УФС1) и квантовой эффективностью ФЭУ. Использование большого зеркала-концентратора и ФЭУ позволяет достичь высокой чувствительности прибора и временного разрешения 0,8 мкс. Телесный угол обзора ячейки составляет 10^{-4} стер, что в атмосфере соответствует наблюдению квадрата $5 \text{ км} \times 5 \text{ км}$ при высоте орбиты 500 км, а все поле зрения детектора составляет $\pm 4,5$ град.

Система последовательных цифровых осциллографов, реализованных в ПЛИС модулей фотоприемника позволяет производить наблюдения с разным временным разрешением 0,8 мкс, 24,6 мкс, 0,4 мс и 6,6 мс. Это дает возможность измерять как медленные пространственные вариации УФ-свечения (авроральный овал, антропогенные источники на поверхности Земли), так и быстрые явления (молнии, высокоатмосферные транзиенты, метеоры и пр.).

За время работы детектора на орбите были проведены измерения во всех режимах работы. В первом режиме зарегистрированы события–треки от частиц космических лучей (КЛ) низких энергий, кандидаты в широкие атмосферные ливни от КЛ предельно высоких энергий, получены интересные данные о пространственно-временной структуре высоко атмосферных транзиентных явлениях типа эльв. Эльв – это кратковременная вспышка света (УФ в том числе) длительностью менее 1 мс, которая представляет собой расширяющееся кольцо толщиной ~ 10 км и диаметром до ~ 300 км на высоте 80 – 90 км. В литературе такое кольцо обычно наблюдается в единственном числе. В эксперименте ТУС при большой статистике наблюдаются необычные события, состоящие из пары колец, см. рис. 1, и более.

В области грозовой активности наблюдается большая доля ярких вспышек с длительностью более 200 мкс и на осциллограмме они представляют собой монотонный рост сигнала в области развития явления. Интересным оказался факт наблюдения мощных вспышек с резким фронтом нарастания сигнала и медленным спадом вдали от молниевых разрядов (по данным наземных сетей наблюдения молний). Примеры событий обоих типов приведены на рис. 2.

Дальнейший отбор, классификация и детальный анализ событий на спутнике Ломоносов позволит определить природу необычных транзиентных УФ-свечений вне грозовых областей.

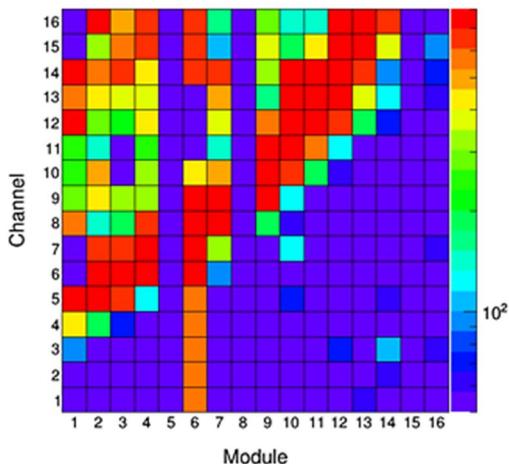


Рис. 1. Пример события типа «эльв» со сложной пространственно-временной структурой. Цветом показана интенсивность сигнала в ячейках фотоприемника в кодах АЦП

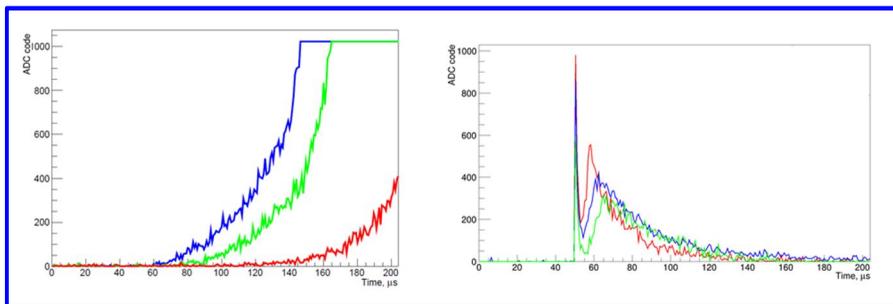


Рис. 2. Примеры временных профилей УФ вспышек (в нескольких пикселях, амплитуда сигнала в кодах АЦП, время – микросекунды). Слева: зарегистрированной над грозой, справа: вдали от гроз

**СЕКЦИЯ 1.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ,
ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ**

**ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ
МОДЕРНИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
В ПЛАНИРУЕМЫЙ ПЕРИОД**

*В. А. Ламзин, В. В. Ламзин, Ю. А. Матвеев,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва*

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

В докладе приводится формулировка задачи: при заданной целевой нагрузке и векторе параметров наземного сегмента определить параметры космического сегмента, а также программу модернизации проекта с тем, чтобы эффективность КС ДЗЗ была не ниже заданной, а суммарные приведенные затраты на модернизацию проекта системы в планируемый период были минимальными. Вектор варьируемых параметров включает параметры модификации космического аппарата (КА).

Предполагается, что параметры базового объекта известны, а рассматриваемый временной интервал больше временного интервала существования базовой системы. Критерий поиска решения задачи – суммарные приведенные затраты на реализацию программы модернизации КС ДЗЗ. При формировании соответствующей проектной модели учитываются особенности заменяемых подсистем. При решении задачи проводится оптимизация (оценка) параметров модификаций КА с учетом особенностей проектно-конструкторских решений заменяемых подсистем. При комплексной оптимизации выбирается рациональная программа модернизации проекта КС ДЗЗ.

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

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

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

БАЛЛИСТИКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КА ДЗЗ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ПОЛОСАХ ОБЗОРА

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

Рассматриваются варианты баллистического проектирования систем радиолокационных КА ДЗЗ, предназначенных для периодического наблюдения наземных объектов в полосах обзора в заданном широтном диапазоне, что может быть реализовано при условии обеспечения беспрерывного покрытия полосами обзора межвиткового интервала на широте нижней границы заданного диапазона. При этом рассматривается наиболее интересный случай, когда КА имеет возможность проводить съемку с обоих бортов без предварительного разворота КА по углу рыскания на 180° . Полосы обзора будут в этом случае формироваться за счет программного разворота КА по каналу крена в диапазоне углов $\pm (\gamma_1, \gamma_2)$ от местной вертикали и электронного перенацеливания луча диаграммы направленности бортового радиолокационного комплекса (БРЛК) в границах $\pm (\gamma_1, \gamma_2)$. Ширина полосы обзора при съемке каждым бортом с околорысковых орбит будет составлять в линейном измерении $b = H (\operatorname{tg} \gamma_2 - \operatorname{tg} \gamma_1)$, а величина мертвой зоны между левой и правой полосами обзора будет $d = 2H \operatorname{tg} \gamma_1$, где H – средняя высота рабочей орбиты и $\gamma_2 > \gamma_1$.

Особенность выбора параметров рабочих орбит (в частности драконического периода обращения), состоит в рациональном перекрытии мертвых зон любой из двух полос обзора без увеличения времени одноразового покрытия межвиткового интервала полосами обзора. Такое перекрытие возможно, если $b \geq d$, что выполняется при усло-

вии $\operatorname{tg} \gamma_2 \geq 3 \operatorname{tg} \gamma_1$. Можно показать, что перекрытие мертвых зон реализуется при смещении трасс через сутки (если кратность орбиты равна $m = 1$) или через двое суток (если кратность орбиты равна $m = 2$) на величину $\Delta L_m = (b_\varphi + d_\varphi) / 2$, где b_φ и d_φ – проекции соответственно b и d вдоль трассы на широту φ нижней границы заданного широтного диапазона. Однако, в случае, когда на околоземной орбите функционирует только один КА ДЗЗ радиолокационного наблюдения (КА ДЗЗ РЛН), использование однократной орбиты приводит не только к перекрытию мертвых зон, но и двойному покрытию полосами обзора части межвиткового интервала. В то же время при использовании двухкратной орбиты имеет место однократное покрытие межвиткового интервала и за меньший период времени, чем при использовании однократной орбиты. Таким образом, для одиночного КА ДЗЗ РЛН в качестве рабочей орбиты, следует использовать двухкратные орбиты.

Преимущество использования двухкратных орбит, связанное со спецификой наблюдения поверхности Земли в двух полосах обзора, наводит на мысль о целесообразности использовании орбитальной системы в составе двух КА ДЗЗ РЛН, расположенных в одной плоскости орбиты, разнесенных по аргументу широты на 180° и движущихся по околокруговым орбитам с одним и тем же драконическим периодом обращения. Такая система обеспечит одноразовое покрытие межвиткового интервала суммарными полосами обзора с рациональным перекрытием мертвых зон и естественных дыр между соседними полосами обзора разных КА за двое суток при указанном выше смещении трасс $\Delta L_m = (b_\varphi + d_\varphi) / 2$ через m суток. При этом более простым вариантом построения двухспутниковой орбиты представляется использование орбит с $m = 1$.

Дальнейшее сокращение периода одноразового безразрывного покрытия и соответственно повышение периодичности наблюдения возможно путем увеличения числа КА ДЗЗ РЛН, расположенных в одной орбитальной плоскости. Анализируя взаимное расположение восходящих узлов орбит двух спутниковой системы КА ДЗЗ РЛН на межвитковом интервале в первые и во вторые сутки, нетрудно заметить, что однократное покрытие межвиткового интервала полосами обзора можно выполнить в течение одних суток четырьмя КА ДЗЗ РЛН, если восходящие узлы орбит первой пары КА ДЗЗ РЛН, разнесенных по аргументу широты на 180° , и узлы орбит второй пары КА ДЗЗ РЛН,

также разнесенных по аргументу широты на 180° , поставить на межвитковом интервале на расстоянии $(b_\phi + d_\phi) / 2$.

Полученную несимметричную четырех спутниковую систему КА ДЗЗ РЛН можно считать базовым элементом в более сложных системах, обеспечивающих периодичность наблюдения наземных объектов лучше, чем раз в сутки.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

*Л. А. Ведешин,
ИКИ РАН, г. Москва*

Основоположник теоретической космонавтики К. Э. Циолковский писал: «Человечество не останется вечно на Земле, но, в погоне за светом и пространством, сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околоземное пространство».

Оптические наблюдения ученых за планетами Солнечной системы ведутся уже сотни лет. Однако окружающая Землю атмосфера не позволяла с высокой точностью определять многие характеристики планет. С появлением космической техники и радиоастрономии появилась возможность проведения научных исследований за пределами атмосферы Земли, а также начать дистанционное зондирование планет с помощью автоматических межпланетных станций (АМС).

За прошедшие годы Россия и США запустили в космос 226 АМС (включая пролетные миссии) к Меркурию, Венере, Луне, Марсу, Юпитеру, Сатурну, Урану, Нептуну, Плутону, Царере, Фобосу, к астероидам и кометам. Первой АМС была советская станция Луна-1, которая была запущена в 1959 г. и пролетевшая вблизи Луны. В СССР и России работы по созданию АМС велись в РКК «Энергия» и на заводе им. С. А. Лавочкина. Были разработаны и успешно запущены несколько десятков станций к Луне, Марсу, Венере, Фобосу и др.

Дистанционное зондирование планет в отличие от исследований Земли из космоса более сложная задача, которая состоит из нескольких этапов: выведения АМС на орбиту Земли, перелета к планете, выхода на орбиту планеты и посадки на поверхность спускаемого аппарата или транспортного средства. Межпланетная станция является сложной автоматической системой, оснащенной системой видеона-

блюдения, управления и передачи информации на Землю, а также системой взятия проб грунта и доставки его на Землю. Полет АМС к планетам Солнечной системы является подготовительным этапом для полета человека на эти планеты. США и Россия ведут работы по созданию пилотируемого космического аппарата для полета на Луну и Марс.

В настоящее время в ряде стран разрабатываются космические проекты по освоению природных ресурсов астероидов и комет путем высадки автоматических аппаратов для добычи полезных ископаемых и доставки их на Землю. Технологии запуска и посадки на астероиды, навигации, удаленного контроля, роботостроения, инструментального анализа и передачи информации позволяют уже сегодня успешно и экономически доступно оперировать разведочными зондами и возвращать материал для детального изучения в земных лабораториях.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Ю. С. Луценко, М. М. Матюшин,
ФГУП «Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения»,
г. Королев*

Создание и развитие космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) нельзя осуществлять отдельно от вопросов управления этими системами, иначе их потенциал не будет использоваться полностью.

В связи с намеченными планами развития до 2025 – 2030 гг. группировки КА ДЗЗ, вопросы совершенствования управления космическими объектами (КО), как никогда становятся актуальными. Несбалансированное изменение задач, функций, связей может привести не к улучшению системы, а к ее деградации. Например, традиционный подход к управлению КО, когда по мере создания новых группировок КА росло число операторов КА, непосредственно участвующих в текущем (оперативном) управлении, ведет к усложнению структуры системы, росту количества центров принятия решений и в конечном ито-

ге к ухудшению качества управления. Это типичный случай, когда структура системы входит в противоречие с задачами ее развития.

Управление КО описывается такими важнейшими понятиями как система, структура, технология управления. Понятие системы характеризует полный набор образующих ее компонент и отражает ее изменчивость, в то время как понятие структуры отражает неизменность связей, устойчивость. Технология управления отражает информационные и энергетические потоки в рамках системы управления, т.е. система и ее структура являются ограничениями для технологий управления. Объектами управления (системами ДЗЗ) в нашем случае являются отдельные космические аппараты (КА), орбитальные и космические группировки КА ДЗЗ (ОГ КА ДЗЗ и КГ КА ДЗЗ).

В рамках системного подхода предложены конструктивные определения самой системы управления, объектов управления, технологии управления, предложена их классификация.

Совершенствование управления необходимо рассматривать по следующим направлениям: элементы системы управления, структура системы управления, технологии управления.

В рамках этих направлений к ключевым элементам управления можно отнести следующие:

- аппаратура КА и пространственно-временная структура КО;
- средства управления и приема целевой информации, их пространственная структура;
- структура (организационная) центров управления и уровень автоматизации процессов управления.

К направлениям совершенствования аппаратуры КА следует отнести:

- унификация аппаратуры приема-передачи управляющей информации;
- необходимые углы прокачки лучей антенных систем для осуществления связи с геостационарными КА (прием информации управления и передача целевой и контрольной информации);
- разработка и установка многолучевых антенных систем передачи целевой информации (для КА с высокоинформативными приборами ДЗЗ);
- установка на всех КА аппаратуры навигации по данным глобальных навигационных систем;

– решение бортовыми средствами задач определения параметров полета КА и выполнения ими целевых задач.

К направлениям совершенствования аппаратуры средств управления и приема целевой информации относятся:

- унификация приемо-передающей аппаратуры;
- повышение скорости приема информации;
- разработка многолучевых антенных систем приема-передачи целевой информации (для КА с высокоинформативными средствами ДЗЗ);

- совершенствование аппаратуры ретрансляции КА системы «Луч» в части скорости приема-передачи информации.

К направлениям совершенствования организационной структуры системы управления можно отнести:

- создание единого центра планирования всех средств управления и приема целевой информации;
- сосредоточение всех центров управления в рамках одной организации.

К направлениям совершенствования пространственно-временных структур других подсистем следует отнести:

- разработка единого перечня рекомендуемых ПВС для КА, орбитальных и космической группировок ДЗЗ;
- установка наземных средств на северных территориях страны, с развитой инфраструктурой, а также на международных территориях присутствия России.

В части автоматизации процессов управления главным направлением является автоматическое решение следующих взаимосвязанных задач:

- планирование работы целевой аппаратуры;
- планирование задействования средств управления и приема целевой информации с учетом заявок от разных операторов КА;
- подготовка и контроль подготовки в ЦУП КА информации управления;
- коррекция управления по результатам оперативного анализа телеметрической информации;
- обмен данными внутри системы управления.

Совместная и согласованная по времени реализация изложенных направлений совершенствования ключевых элементов управления

позволит осуществить переход от линейных технологий управления к адаптивным (ситуационным), обеспечить глобальную управляемость КА ДЗЗ и практически любой разумный уровень оперативности управления. Для решения проблемы повышения эффективности космической системы ДЗЗ необходимо провести комплексную научно-исследовательскую работу с задействованием головных организаций ракетно-космической промышленности и решить ряд технических вопросов с учетом имеющегося опыта в других отраслях промышленности.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МИКРОСПУТНИК ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ «АУРИГА»

*А. С. Малинин, Д. В. Дмитриев, П. В. Кудряшов,
А. Е. Милов, С. В. Иосипенко, Н. С. Парцевский, В. Е. Шмагин,
ООО «Даурия – спутниковые технологии»,
г. Москва*

В последнее десятилетие микроспутники сделали заметный скачок от чисто студенческих проектов, нацеленных исключительно на образовательные цели, к полномасштабным коммерческим и научным проектам, способным решать широкий спектр прикладных и научных задач. Микроспутники, в том числе разработанные в стандарте CubeSat, запускаются уже сотнями штук на одном средстве выведения, как это было осуществлено в феврале 2017 г., когда на одной индийской ракете PSLV было выведено на орбиту 103 микро и нано-спутника. При этом следует отметить, что по прогнозам на 2018 – 2019 гг. более 60% микроспутников будут запускаться с целью дистанционного зондирования Земли. Как пример группировок микроспутников, которые решают задачи мониторинга и зондирования Земли, можно привести такие группировки, как Dove и Lemur, которые насчитывают десятки и сотни спутников, обеспечивая глобальное покрытие поверхности Земли и оперативность получения данных. В данной обстановке роста популярности микроспутников и группировок на их основе для решения задач ДЗЗ, компанией ООО «Даурия – спутниковые технологии» разработан КА дистанционного зондирования Земли «Аурига».

Спутник «Аурига» разработан в рамках мирового стандарта микроспутников CubeSat и имеет форм-фактор 16U. В качестве полезной

нагрузки в составе КА «Аурига» размещена оптико-электронная система, представляющая собой камеру высокого пространственного разрешения оптического диапазона. Уникальными отличиями микро-спутника являются его компактные габариты и небольшая масса в сочетании с производительностью оптико-электронной системы (ОЭС) и высоким пространственным разрешением камеры. При габаритных размерах КА $250 \times 250 \times 450$ мм и массе всего 20 кг он способен отснять и передать на наземные средства приёма данные ДЗЗ в объёме до 550 тыс. км² в сутки. При этом пространственное разрешение ОЭС с целевой солнечно-синхронной орбиты высотой 600 км составит 2,8 м на пиксел в надир с полосой захвата 28 км.

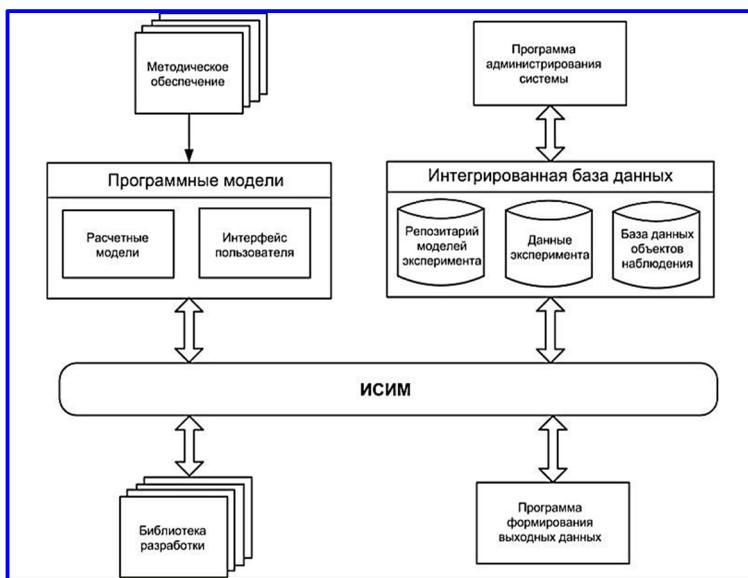
В докладе будут рассмотрены проблемы, решённые в ходе разработки спутника, а также представлены его тактико-технические характеристики и принципы его функционирования.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

*А. А. Кащеев,
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – ОКБ «Спектр», г. Рязань*

Проектирование космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) сопряжено с необходимостью исследования их функционирования под влиянием различных факторов с целью анализа и подтверждения целевых показателей космических систем наблюдения (КСН) на соответствие выполнения требований тактико-технического задания. Проводить достаточно полное теоретическое исследование подобного объекта является затруднительным из-за сложности математического описания последнего. Экспериментальные исследования, обеспечивающие получение исчерпывающей информации, во многом не осуществимы на стадии разработки и связаны со значительными затратами времени и средств.

Наиболее экономичным и доступным вариантом решения задачи является создание интегрированной системы анализа и подтверждения целевых показателей КСН поверхности Земли, основу которой составляет имитационное моделирование на персональных электронно-вычислительных машинах.



Архитектура интегрированной системы анализа и подтверждения целевых показателей КСН поверхности Земли

В основе создаваемой системы лежат следующие принципы построения, обусловленные требованиями открытости и возможности наращивания дополнительными программными модулями:

- *переносимость* – разрабатываемое программное обеспечение должно позволять при минимальных изменениях функционировать на различных аппаратных и программных платформах;

- *масштабируемость* – система должна обеспечивать возможность увеличения вычислительных ресурсов с учетом роста моделируемой космической группировки системы наблюдения;

- *модульность* – составные части системы должны обеспечивать возможность наращивания функциональных возможностей путем добавления программных модулей, что в свою очередь обеспечит высокую степень гибкости архитектуры разрабатываемого программного обеспечения;

- *системность* – моделирование должно осуществляться как совокупность взаимодействующих программно-математических моделей.

Упрощенная архитектура системы приведена на рисунке.

Ядром системы является интегрированная среда имитационного моделирования (ИСИМ), которая предназначена для управления про-

граммными моделями и обеспечения взаимодействия с составными частями системы (рисунок).

В качестве методического обеспечения используются формальные описания математических моделей целевой работы составных частей КА ДЗЗ, выполненные в виде алгоритмов.

Программные модели реализуют математические модели на языках высокого уровня и состоят из расчетной части и интерфейса пользователя (рисунок).

Программа «Формирование выходных данных» обеспечивает возможность представления результатов моделирования в текстовом, графическом и картографическом видах (рисунок).

Ключевым элементом архитектуры системы является библиотека разработки, представляющая собой набор абстрактных классов, реализующих программные интерфейсы, через которые осуществляется взаимодействие между программными моделями.

Схемы моделирования, а также входные и выходные данные каждого эксперимента, записываются в интегрированную базу данных (рисунок), управление которой осуществляется программой администрирования системы.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ С ПРИБОРАМИ СВЧ-РАДИОМЕТРИИ

*И. А. Барсуков, М. И. Гаврилов, А. Н. Егоров, А. М. Стрельцов,
И. В. Черный, Г. М. Чернявский,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

Главным преимуществом приборов пассивной СВЧ-радиометрии является всепогодность и независимость получаемых данных от освещенности (времени суток). Одним из главных недостатков СВЧ – приборов является низкая разрешающая способность (по сравнению, например с оптическими средствами) – десятки километров. Однако достижения последних лет показывают направления развития зарубежных бортовых приборов с целью уменьшения геометрического разрешения на поверхности Земли.

Кроме этого, сложность космической техники требует решения не только технических проблем, но и применение новых конструктивных и системных решений.

Основные современные тенденции развития космических систем ДЗЗ с приборами СВЧ-радиометрии приведены на рисунке.

Очень интересные решения реализуются при создании сканирующего СВЧ-радиометра для наноспутника EON-MW (*Earth Observing Nanosatellite*) в формате 12U. В рамках программы **EUMETSAT Polar System (EPS)** создается новое поколение КА (EPS Second Generation), на которых устанавливаются новые приборы европейского производства:

- **MWS (Micro-Wave Sounder)** – микроволновый радиометр-зондировщик: 24 канала в диапазоне: 23 – 229 ГГц; полоса обзора – 1700 км; пространственное разрешение: 17 – 40 км.

- **ICI (Ice Cloud Imager)** – микроволновый радиометр: 3 каналов в диапазоне 183 ÷ 670 ГГц; полоса обзора – 1700 км; разрешение – 15 км

- **MWI (Micro-Wave Imager)** – микроволновый радиометр-сканер: 28 каналов в диапазоне 18 ÷ 190 ГГц; полоса обзора – 1700 км; разрешение – 10 км.

При разработке СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ для КА «Метеор-М» № 2-3 и № 2-4 и перспективного СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ-МП также реализованы новые конструктивные и технические решения и для их своевременной реализации необходимо только ритмичное финансирование.



ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ С ПРИБОРАМИ СВЧ-РАДИОМЕТРИИ:



КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ИОНОЗОНД-ТГК»: ОПИСАНИЕ И ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

*С. А. Пулинец, И. С. Данилов, Н. В. Турищева, Н. О. Кобельков,
О. В. Кузякина, А. В. Коломин,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

В рамках запланированного на 2021 год космического эксперимента «Ионозонд-ТГК» на Российском сегменте Международной космической станции и транспортном беспилотном космическом корабле серии «Прогресс МС», АО «Корпорация «ВНИИЭМ» разворачивает работы по СЧ ОКР, в ходе которых должен быть разработан бортовой ионозонд «ЛАЭРТ-М».

Основной целью выполнения работ является создание перспективного бортового ионозонда «ЛАЭРТ-М» (далее «ЛАЭРТ-М»), обеспечивающего выполнение различных научно-прикладных задач. При проведении космического эксперимента (далее КЭ) планируется установить приемную часть «ЛАЭРТ-М» на Международной космической станции (МКС) (далее «ЛАЭРТ-М-МКС»), установить «ЛАЭРТ-М» на ТГК «Прогресс-МС» (далее «ЛАЭРТ-М-ТГК»). Время проведения КЭ на МКС и ТГК – соответственно один год и 30 дней.

Бортовой ионозонд «ЛАЭРТ-М-ТГК», устанавливаемый на ТГК «Прогресс МС», предназначен для импульсного зондирования ионосферы с целью получения научной информации о состоянии окружающей космической плазмы и передачи научной информации на наземные станции приема и ионосферные пункты наблюдения.

Бортовой ионозонд «ЛАЭРТ-М-МКС» предназначен для приема сигналов электромагнитных излучений в диапазоне рабочих частот ионозонда, а также для приема сигналов импульсного зондирования ионосферы, излучаемых наземными ионозондами «Парус-А» и бортовым ионозондом «ЛАЭРТ-М-ТГК».

В состав аппаратуры, устанавливаемой на МКС, входят: дипольное АФУ с функцией приема; рамочное АФУ; предусилители; блок электроники; блок управления и хранения информации; комплект кабелей.

В состав аппаратуры, устанавливаемой на ТГК «Прогресс-МС», входят: дипольное АФУ с функцией приема-передачи; предусилители; блок электроники; блок широкополосного усилителя; широкополосное

согласующее устройство; блок управления и сброса научной информации; комплект кабелей.

Основные технические характеристики ионозонда ЛАЭРТ-М представлены в таблице.

Тактико-технические характеристики ЛАЭРТ-М

Характеристика	Единица изм.	Значение	ЛАЭРТ-М-МКС	ЛАЭРТ-М-ТГК
Диапазон частот	МГц	от 0,1 до 20	+	+
Шаг перестройки	кГц	от 10 до 100	+	+
Длительность приема на каждой частоте	мс	от 5 до 30 мс	+	+
Длительность цикла измерения	с	от 3 до 30	+	+
Пространственное разрешение по высоте	км	не хуже 10 км	+	+

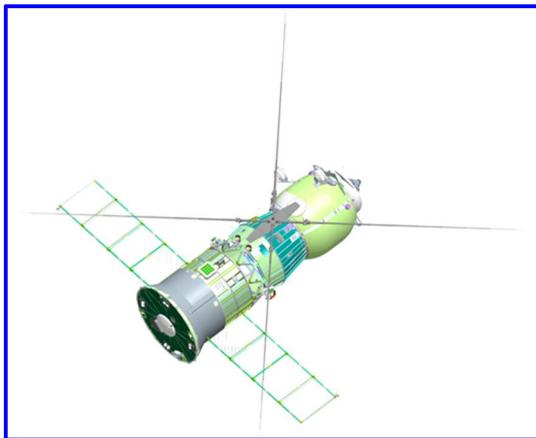


Рис. 1. ТГК «Прогресс-МС» с АФУ ЛАЭРТ в раскрытом положении

Общий вид ТГК «Прогресс-МС» с размещенным ионозондом ЛАЭРТ-М-ТГК представлен на рис. 1.

В ходе космического эксперимента будет реализован метод бистатистического зондирования. Схема бистатистического зондирования представлена на рис. 2. Отраженный зондирующий импульс с бортового

ионозонда «ЛАЭРТ-М-ТГК» будет приниматься и обрабатываться как бортовым ионозондом «ЛАЭРТ-М-МКС», так и приемной частью «ЛАЭРТ-М-ТГК». Синхронизация работы «ЛАЭРТ-М» для бортового ионозонда «ЛАЭРТ-М-МКС» для осуществления обратного трансionoсферного зондирования обеспечивается по сигналам секундной метки навигационной аппаратуры МКС.

В ходе проведения КЭ планируется получить следующие научно-прикладные результаты:

- исследовать в условиях космического полета характеристики «ЛАЭРТ-М», построенного на основе отечественных материалов и технологий с целью совершенствования конструкции и оптимизации режимов работы;
- исследовать возможность приема отраженного от ионосферы сигнала с помощью магнитной антенны;
- отработать методы трансionoсферного и обратного трансionoсферного зондирования;
- провести исследования структуры ионосферы на высотах близких к высоте максимума концентрации электронов;
- отработать раскрытие и выдвижение АФУ ЛАЭРТ-М в условиях невесомости;
- выработать требования к системе глобального оперативного контроля состояния ионосферы Земли с использованием низкоорбитальных КА.

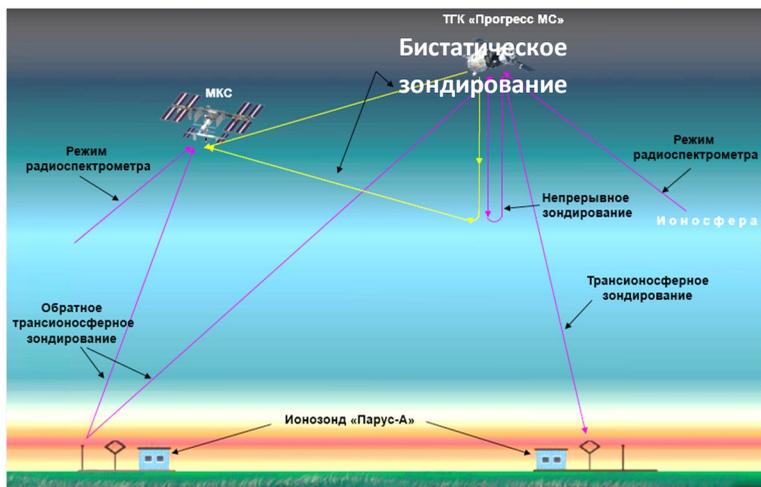


Рис. 2. Схема бистатического зондирования

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Н. И. Мурашко¹, А. В. Андреевко²,

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск

*²Республиканский центр управления и реагирования
на чрезвычайные ситуации МЧС
Республики Беларусь, г. Минск*

В рамках научно-технической программы Союзного государства «Мониторинг – СГ» создана экспериментальная система аэрокосмического мониторинга обнаружения чрезвычайных ситуаций по данным дистанционного зондирования Земли и авиационного наблюдения (система АКС-ЧС). Система АКС-ЧС включает опытные образцы программных комплексов спутникового мониторинга (ПКСМ), авиационного мониторинга (ПКАМ), построения карт высот местности (ПК-ПКВ) по данным спутникового и авиационного мониторинга и спектрональный многоканальный авиационный комплекс (АПК «СПЕКТР»). В настоящее время программные комплексы ПКСМ, ПКАМ, ПК-ПКВ переданы в опытную эксплуатацию в Республиканский центр управления и реагирования на чрезвычайные ситуации МЧС Республики Беларусь (РЦУРЧС). АПК «СПЕКТР» предназначен для получения многоканальных спектрональных авиационных снимков высокого разрешения видимого и инфракрасного диапазонов.

Источниками информации для программных комплексов ПКСМ и ПК-ПКВ являются данные белорусского космического аппарата (БКА) и российского космического аппарата серии «Канопус». Достоинство программного комплекса ПКСМ заключается в высокой степени автоматизации (не менее 95%) обнаружения изменений на местности по одновременным космическим снимкам. При этом в качестве эталонного могут быть использованы снимки как БКА, так и КА серии «Канопус». Это позволит в ближайшее время использовать российско-белорусскую спутниковую группировку для мониторинга в интересах сельского хозяйства, экологии окружающей среды, обнаружения чрезвычайных ситуаций.

Программный комплекс ПК-ПКВ позволяет создавать в интерактивном режиме карты высот местности по данным дистанционного наблюдения, которые необходимы для прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций.

АПК «Спектр» позволяет получать растровые высокого пространственного разрешения снимки местности в заданных спектральных (видимый, инфракрасный, включая тепловой) диапазонах. При этом решается проблема совместного использования космических и авиационных данных дистанционного наблюдения Земли. Как известно, в Белоруссии погодные условия позволяют осуществлять космическую съемку не более 60 дней в году. При использовании одного спутника дистанционного зондирования Земли заданный район мониторинга можно наблюдать не более 2-х дней в году. В тоже время, например для мониторинга сельскохозяйственных культур необходимо получать не менее одного снимка в неделю. Достоинством космических снимков района мониторинга является большая ширина охвата территории, которая составляет не менее 20000 м., а АПК «СПЕКТР» позволяет производить съемку территории шириной до 3000 м с пространственным разрешением 0,3 м.

Разработанная в ОИПИ НАН Беларуси технология аэрокосмического мониторинга позволяет использовать преимущества использования спутниковых и авиационных данных для обнаружения чрезвычайных ситуаций. Данные ДЗЗ, полученные БКА и КА серии «Канопус» используются в качестве эталонных снимков района мониторинга. Авиационные снимки, спектральные характеристики которых соответствуют эталонным снимкам космических аппаратов, используются в качестве текущих. Экспериментальная система АКС-ЧС обеспечивает совместную обработку спутниковых и авиационных снимков с целью обнаружения чрезвычайных ситуаций и изменений на местности.

Проблема эффективного использования системы аэрокосмического мониторинга в Республике Беларусь может быть решена при выполнении следующих условий:

– использование спутниковой группировки для дистанционного зондирования Земли в интересах мониторинга чрезвычайных ситуаций. При этом количество спутников группировки с учетом погодных

условий должно быть достаточным для съемки территории Белоруссии за 1 – 2 дня;

– повышение пространственного разрешения целевой аппаратуры космических аппаратов до уровня не более 0,5 м в панхроматическом режиме;

– использование в ближайшей перспективе для мониторинга чрезвычайных ситуаций и их последствий на местности всепогодной целевой аппаратуры в микроволновом (радиолокационном) диапазоне;

– создание спектрозональной целевой аппаратуры высокого пространственного разрешения для беспилотных летательных аппаратов с возможностью передачи видеоданных на расстояние не менее 150 км.

Целесообразно создать информационно-аналитическую платформу аэрокосмической системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, которая должна решать задачи:

– автоматизированного формирования требований к составу и характеристикам данных ДЗЗ, необходимых для решения задач мониторинга чрезвычайных ситуаций;

– формирование заказа данных ДЗЗ в соответствии с заданными потребителями требованиями по предоставлению сервисов и поставке тематических продуктов;

– формирование банка геоинформационных и тематических продуктов, созданных с использованием данных ДЗЗ и данных распределенных информационно-аналитических систем.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЗЗ

С. Н. Волков¹, С. А. Золотой², И. В. Минаев³,

^{1, 3}АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

²УП «Геоинформационные системы», г. Минск, Беларусь

Успешный опыт эксплуатации космических аппаратов «Канопус-В» № 1 и Белорусского КА (БКА), созданных АО «Корпорация «ВНИИЭМ» в кооперации с белорусскими предприятиями, и высокий уровень качества получаемых материалов космической съемки дали толчок к развитию новых интеграционных связей Госкорпорации «Роскосмос» с предприятиями Республики Беларусь.

Данному процессу также способствовали объективно возрастающие потребности органов управления и экономики в высокоточной геопространственной информации, а также интенсивное развитие мирового геоинформационного рынка, увеличение числа государств, обладающих космическими аппаратами ДЗЗ высокого разрешения, массовое внедрение геоинформационных и навигационных сервисов в повседневную деятельность организаций и граждан.

Учитывая мировые тенденции по созданию космических аппаратов высокого и сверхвысокого пространственного разрешения в категории малых спутников, АО «Корпорация «ВНИИЭМ» совместно с белорусскими предприятиями ОАО «Пеленг» и Унитарным предприятием «Геоинформационные системы» проработан облик перспективного космического аппарата дистанционного зондирования Земли на основе научно-технического и технологического заделов, полученных при создании космических аппаратов БКА и «Канопус-В», имеющих летные квалификации и успешно функционирующих на орбите.

Предлагается создать перспективный российско-белорусский космический аппарат ДЗЗ на современных инновационных технологических принципах в устойчивой кооперации российских и белорусских предприятий, обеспечивающий съемку с пространственным разрешением и производительностью, превышающими характеристики существующей группировки КА.

В рамках проекта российская сторона будет осуществлять разработку космического комплекса, с обеспечением запуска КА на орбиту. Белорусскими предприятиями будут разработаны оптико-электронная съемочная система. На спутнике будет установлена телекомандная радиолиния и радиолиния передачи целевой информации, адаптированные к НКУ и НКПОР, созданными в Республике Беларусь. Все работы будут выполняться с максимальным использованием электронно-компонентной базы российского и белорусского производства.

На спутнике будут реализованы различные режимы съемки, в том числе: стереосъемки, видеосъемки и широкозахватной съемки. Кроме того, будет реализована возможность гиперспектральной съемки, а также инфракрасной съемки для проведения атмосферной коррекции с целью повышения качества целевой информации.

Предлагаемый проект создания КА ДЗЗ высокого разрешения по совокупности показателей будет обладать неоспоримыми конкурент-

ными преимуществами на мировом рынке по критерию «цена-качество» и, следовательно, высоким экспортным потенциалом.

Компоновка КА и его массогабаритные характеристики позволят обеспечивать парный запуск спутников на РН типа «Союз-2», что также повышает его коммерческую привлекательность.

Предлагаемый проект российско-белорусского космического аппарата высокого пространственного разрешения отвечает современным тенденциям развития космических средств ДЗЗ и своими характеристиками соответствует лучшим мировым образцам КА ДЗЗ.

Создание перспективного КА с целевой аппаратурой высокого разрешения позволит России и Беларуси выдвинуться в мировые лидеры по созданию современных высокодетальных и малозатратных космических аппаратов и космических систем ДЗЗ.

АНАЛИЗ ОРБИТАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ КА «МЕТЕОР-МП» И «КАНОПУС-В-ИК»

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

В технических заданиях (ТЗ) на разработку перспективных космических систем из КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), как правило, фигурирует требование обеспечить регулярное наблюдение заданной области земного шара с фиксированной периодичностью повторения. На самом деле это требование и теоретически, и практически невыполнимо. Суть в том, что на каждом локальном участке земной широты и тем более заданного широтного пояса в целом в процессе работы любой космической системы (КС) будет возникать не один, а множество самых разных перерывов между очередными моментами съемки или иного зондирования.

В связи со сказанным для адекватной оценки эффективности использования КС ДЗЗ нужно находить и анализировать полный состав всех перерывов обзора вместе с частотами их возникновения на произвольной широте и заданном широтном поясе в целом.

Для решения данной задачи была предложена и опубликована в ряде статей в журналах «Космические исследования» и «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ» специальная «векторная модель обзо-

ра Земли». Она позволяет в статичном, наглядном и удобном для аналитического представления и исследования виде отобразить на плоскости в системе координат географическая долгота (в радианах) – время (в драконических периодах обращения ИСЗ, т. е. витках) все перерывы обзора и их частоты на произвольно фиксируемой широте Земли. Модель пригодна для любой, сколь угодно большой и сложной по орбитальному построению КС ДЗЗ.

В данной работе модель обобщается и расширяется для полноценного учета всех нюансов, связанных с учетом условий солнечной освещенности, как в отдельные дни, так и за длительные многомесячные периоды съемок. Это сделано с целью практического использования векторной модели и универсальной компьютерной программы на ее основе для анализа и выбора орбитального построения перспективных КС ДЗЗ из спутников «Метеор-МП» и «Канопус-В-ИК», разрабатываемых и совершенствуемых на нашем предприятии.

Упомянутая компьютерная программа рассчитывает КС из нескольких десятков КА ДЗЗ практически мгновенно. Это открывает широкие возможности для сравнения многочисленных вариантов орбитального построения многоспутниковых систем и поиска среди них наиболее эффективных.

Однако, возникает еще одна проблема, связанная с тем, как именно использовать весь набор перерывов обзора вместе с их частотами для оценки эффективности сравниваемых вариантов. Первым и давно применяемым показателем является максимальный перерыв обзора. Разумеется, он легко выделяется среди полного состава перерывов при расчетах с помощью вышеуказанной компьютерной программы. Однако, вполне очевидно и наглядно вновь подтверждается на примерах в данной работе, что он не дает адекватного представления об эффективности решения большинства конкретных задач ДЗЗ.

В связи с этим будут применяться еще два новых критерия: 1) «эффективный период» обзора и 2) «частота (вероятность) ошибок обзора».

Первый критерий уже встречался в последних статьях по данной теме. Это условно одинаковый для всех точек заданной области Земли период повторения наблюдений. Он определяется так, чтобы потери, т. е. негативный эффект, появляющийся в процессе использования реальной КС ДЗЗ из-за всех перерывов обзора, был равен аналогичному

эффекту при постоянном перерыве обзора, который называется «эффективным периодом».

Второй критерий, именуемый «частотой (вероятностью) ошибок (обзора)», вводится впервые и будет актуальным, по крайней мере, для КС ДЗЗ на основе КА «Метеор-МП» и «Канопус-В-ИК». Ошибки обзора возникают при нарушении требований по обеспечению съемки любого участка заданной области Земли за время, не превышающее то, которое вытекает из конкретной цели ДЗЗ.

Например, в ТЗ на КС «Метеор-МП» предписано обеспечить наблюдения в каждом из интервалов времени, одинаковых по длительности и повторяющихся регулярно через 3 часа. Одной из целевых задач КС «Канопус-В-ИК» является обнаружение мало-размерных очагов лесных пожаров (ОЛП) за очень короткое время с момента возгорания, которое по имеющимся данным не должно превышать 2-х часов.

Оба рассмотренных критерия можно рассчитать, только зная весь набор перерывов обзора вместе с частотами их появления.

В данной работе, используя разработанную векторную модель и компьютерную программу на ее основе для вычисления вышеуказанных критериев эффективности обзора, получены конкретные рекомендации по выбору орбитального построения перспективных космических систем из 4-х КА «Метеор-МП» и 5 – 6 КА «Канопус-В-ИК».

СОЗДАНИЕ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ

*Р. Н. Ахметов, Н. Р. Стратилатов,
В. И. Абрашкин, А.В. Никитин,
АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»,
г. Самара*

В настоящее время широкое применение во всём мире получили космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Многие развитые страны занимаются разработкой малых космических аппаратов (МКА) ДЗЗ. Информация, получаемая с таких аппаратов, используется для решения многих хозяйственных и научных задач мониторинга окружающей среды в различных областях, таких как картографирование, землеустройство, контроль загрязнения окружающей среды, сельское хозяйство, поиск полезных ископаемых, лесозаготов-

ка, контроль заповедных районов, мониторинг чрезвычайных ситуаций и другие.

Опытно-технологический малый космический аппарат (ОТ МКА) «АИСТ-2Д» был создан в Ракетно-космическом центре «Прогресс» в рамках направления по созданию малых КА ДЗЗ. Он предназначен для отработки и сертификации целевой аппаратуры ДЗЗ, обеспечивающей аппаратуры и их программного обеспечения для дальнейшего использования в перспективных разработках, а также для проведения большого количества научных экспериментов.

ОТ МКА «АИСТ-2Д» – это уникальный аппарат как для АО «РКЦ «Прогресс», так и для рынка малых аппаратов в целом. МКА включает в себя инновационную аппаратуру для наблюдения поверхности Земли, а также научную аппаратуру для изучения околоземного космического пространства и его влияния на приборный состав, материалы и покрытия конструкции платформы. На борту МКА размещена оптико-электронная аппаратура высокого разрешения «Аврора». Научная аппаратура представлена принципиально новыми разработками ученых и специалистов Самарского университета. Особенностью рассматриваемого МКА является также то, что вся бортовая аппаратура, включая оптико-электронный комплекс, разработана и изготовлена в России, преимущественно на отечественной электронно-компонентной базе.

Запуск ОТ МКА «Аист-2Д» был произведен 28 апреля 2016 г. с космодрома «Восточный» РН «Союз-2» этапа 1а с БВ «Волга» совместно с КА «Ломоносов» (разработчик – ОАО «Корпорация ВНИИЭМ») и автономным модулем научно-технологической аппаратуры «Контакт – Наноспутник».

В ходе летных испытаний космического комплекса «Аист-2» была подтверждена работоспособность космической платформы при подготовке к пуску, во время пуска, при управлении в полете и получении целевой и научной информации. Бортовая аппаратура платформы ОТ МКА «Аист-2Д» успешно обеспечила решение задач управления, баллистико-навигационного обеспечения МКА, контроль функционирования целевой, научной и бортовой аппаратуры МКА совместно с наземными средствами управления и приёма и обработки информации (НСУПОИ), снабжение электроэнергией, поддержание теплового режима МКА.

МКА функционирует на солнечно-синхронной околокруговой орбите с высотой 490 км. Разрешение на местности целевой аппаратуры (ЦА) в панхроматическом режиме – 2 м, в мультиспектральном режиме – 6 м. Полоса захвата для аппаратуры видимого диапазона – 40 км, Скорость передачи целевой информации на наземный пункт приема – 150 Мбит/с, Срок существования – не менее 3-х лет. Масса МКА – 530 кг.

Конструкция МКА состоит из сотовых панелей, которые крепятся к алюминиевой раме. На панелях корпуса внутри и снаружи размещается бортовая аппаратура (БА).

В состав БА МКА входят целевая, научная и обеспечивающая аппаратура. В состав обеспечивающей аппаратуры входят:

- бортовая система контроля и управления (БСКУ) для управления БА и обеспечения сеансов связи с наземным комплексом управления;
- система управления движением для обеспечения управления угловым движением МКА;
- система электропитания для обеспечения электрической энергией БА;
- система обеспечения теплового режима для обеспечения требуемого теплового режима БА.

В АО «РКЦ «Прогресс» развёрнуты наземные средства управления, получения и обработки информации, которые позволяют обеспечить:

- управление МКА на основе временного метода путем выдачи команд и исходных данных в БА средствами БСКУ;
- функционирования наземного комплекса управления с использованием навигационной информации, полученной на борту МКА;
- планирование работы ЦА МКА;
- приём целевой информации с МКА и передачу её потребителям;
- обработку информации ДЗЗ и ее хранение.

В настоящее время в РКЦ «Прогресс» разрабатываются проекты МКА с перспективной ЦА на базе ОТ МКА «Аист-2Д».

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*В. М. Макаров,
Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»,
г. Москва*

Космические аппараты дистанционного зондирования Земли (далее – КА ДЗЗ) с начала 1960-х гг. успешно применяются в мирных и

военных целях ведущими странами мира. Российской Федерацией в последнее время ведется разработка КА ДЗЗ, которые должны отвечать современным требованиям, предъявляемым к их системам и целевой нагрузке. Практика создания и эксплуатации КА ДЗЗ показывает, что основными направлениями их развития являются: наращивание потенциала полезной нагрузки; увеличение их функциональной сложности; увеличение сроков активного существования.

Рассмотрены основные группы факторов, которые определяют обоснованный выбор проектных решений и методов обеспечения заданных в технических заданиях требований к характеристикам назначения и технико-эксплуатационными характеристиками КА ДЗЗ: условия эксплуатации (взаимодействие с внешней средой); внутреннее строение (структура); общесистемные, интегральные свойства.

КА ДЗЗ как объект исследования, с точки зрения анализа условий его функционирования, основных особенностей построения и применения, представляет собой сложную невосстанавливаемую систему, которая характеризуется: большим числом элементов; сложными взаимосвязями между ними; изменяемой в процессе эксплуатации структурой, функционирующей в условиях длительного воздействия ионизирующих излучений. К надежности и техническим характеристикам этой системы предъявляются повышенные требования. При этом, поскольку КА ДЗЗ на начальном этапе создается в единичном экземпляре, его наземная отработка проводится последовательно по уровням иерархии: сначала должны проводиться испытания комплектующих элементов, затем – испытания узлов, блоков, приборов, далее – автономные и комплексные испытания изделий и систем, и наконец – испытания КА ДЗЗ в целом.

Проанализированы особенности проведения наземных отработочных испытаний КА ДЗЗ и их систем.

Отмечено, что наиболее перспективным и экономически выгодным решением является построение КА ДЗЗ в негерметичном исполнении по свободонесущей схеме, которое приводит к существенному увеличению воздействий ионизирующих излучений космического пространства на электронные элементы и изделия КА ДЗЗ, входящие в его состав и работающие в условиях открытого космоса, следовательно,

их испытания должны быть форсированными.

С целью раскрытия содержания статистического плана контроля введено понятие математической модели контроля или оперативной характеристики. Рассмотрены идеальная и реальная оперативная характеристика плана контроля, вероятности ошибок 1 и 2 рода как характеристики достоверности контроля.

Проведен анализ основных существующих методов планирования и проведения выборочного контроля и возможности их использования для контроля надежности КА ДЗЗ и его изделий на этапе наземной отработки показавший, что характерным для этих методов является следующее: методы не учитывают иерархию КА ДЗЗ; не привлекается накопленная предварительная информация, полученная на более ранних этапах по результатам контроля изделий, входящих в состав КА ДЗЗ; используются различные целевые функции для планирования и проведения контроля; не учитывается влияние условий космического пространства на надежность электрорадиоизделий и электронных изделий КА ДЗЗ; не учитывается тот факт, что для подтверждения заданных требований к показателям и техническим характеристикам составных частей и КА ДЗЗ в целом их наземные испытания при отработке должны быть форсированными; все методы выборочного контроля рассматривают партии и выборки только одинаковых изделий, в то же время при отработке изделий КА ДЗЗ реально присутствуют совокупности разных изделий.

Показано, что изменяя номенклатуру контролируемых параметров каждого изделия и номенклатуру контролируемых изделий из совокупностей, можно влиять на последствия принимаемых решений и уменьшать, соответственно, затраты на контроль и потери, связанные с рисками принятия ошибочных решений. В этом случае при наличии соответствующей целевой функции, содержащей затраты на контроль и потери, появляется возможность построения взаимосвязанных статистических планов контроля надежности и технических параметров изделий КА ДЗЗ по уровням иерархии.

Развитие методов планирования и проведения контроля в данном направлении при наземной отработке представляет собой важную и актуальную научную задачу. Решение этой задачи связано с разработкой новых математических моделей и методов, использование которых позволит учесть: результаты проведенного анализа КА ДЗЗ как объекта иссле-

дования; выявленные особенности организации его наземной обработки; результаты анализа основных существующих методов планирования и проведения выборочного контроля КА ДЗЗ и его изделий; специфику контроля надежности и технических параметров изделий КА ДЗЗ различных иерархических уровней на этапе их обработки.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЗЗ

*С. А. Золотой¹, И. В. Минаев²,
И. С. Волков², Т. И. Переходова²,*

¹УП «Геоинформационные системы», г. Минск, Беларусь

²АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

В результате реализации Национальной программы исследования и использования космического пространства в мирных целях на 2008 – 2012 гг. создана Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ), сформирован научно-технический задел для ее развития и создания в Республике Беларусь (РБ) современных космических и информационно-коммуникационных технологий. С запуском Белорусского космического аппарата (БКА) 22 июля 2012 г. Республика Беларусь вошла в число мировых космических государств.

В настоящее время создана единая наземная инфраструктура и сложилась устойчивая белорусско-российская кооперация организаций, обеспечивающая надежное управление космическими аппаратами «Канопус-В» и БКА. Создан научно-технический задел на базе организаций Российской Федерации и Республики Беларусь.

Построение наземной инфраструктуры и запуск БКА – первый этап решения задачи по созданию Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли. На следующем этапе в 2016 – 2020 гг. планируется реализация мероприятий по развитию созданной системы дистанционного зондирования Земли и формированию многоуровневой системы дистанционного зондирования Земли (МБКСДЗ), включающей космический, авиационный и наземный сегменты.

Основными задачами при создании БКСДЗ являлись:

- создание космической системы ДЗЗ, удовлетворяющей потребность в картах масштаба М 1: 50000 на собственную и сопредельные территории и обеспечение их оперативного обновления;
- обеспечение окупаемости проекта;
- создание космической отрасли РБ, включая производство элементов космических систем (целевая аппаратура, производство микросхем для космоса), технологий обработки космической информации, предоставление различных сервисов для ГИС-приложений.

Таблица 1

Этапы создания БКСДЗ

2003 – 2006 гг.	2007 – 2013 гг.	2013 – 2017 гг.
Создание БелКА и наземного пункта приема космической информации	Создание БКА, центра управления полетом КА, командно-измерительного пункта для управления БКА, модернизация наземного пункта приема космической информации, создание оптоволоконных каналов связи с министерствами (13 министерств)	Успешная эксплуатация БКСДЗ, обеспечение полной окупаемости проекта, доходы существенно превысили расходы

Таблица 2

Народнохозяйственные задачи и задачи национальной безопасности, решаемые БКСДЗ

БКА (разрешение 2,1 м)	РБКА (сверхвысокое разрешение)
1. Создание и обновление топографических и навигационных карт (М 1: 50000: наземная инфраструктура, наличие мостов, дорог, каналов, границы территории)	Создание и обновление планов стратегических объектов (состояние мостов, дорог, зданий, техники)
2. Экологический мониторинг, мониторинг лесов, с/х угодий, пожаров, оценка площадей, прогноз урожая	Детальный мониторинг лесов, с/х угодий, загрязнений

Основными задачами при создании МБКСДЗ являются:

– обеспечение потребителей материалами космической, авиационной съемки и результатами наземных измерений для создания карт и планов масштабного ряда от М 1: 5000 до М 1: 50000 и мельче (стереосъемка, объектовая съемка);

– обеспечение развития космической отрасли на период до 2030 года.

Общая характеристика основных этапов создания БКСДЗ представлена в докладе и табл. 1 и 2 (БелКА – первый белорусский КА; РБКА – разрабатываемый экспериментальный российско-белорусский КА).

МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ ОЦЕНКИ ЗНАЧЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Г. Г. Молоканов,
ВА РВСН им. Петра Великого, г. Москва*

Для решения задач оперативного мониторинга и корректировки оценочных значений эффективности применения ракетно-космических систем, многоэтапный процесс их создания и целевого применения описывается совокупностью показателей, отражающих его исходное состояние и состояние по результатам выполнения каждого из этапов. Поскольку предлагаемый способ предназначен для прогнозной оценки эффективности многоэтапных процессов, данные показатели носят вероятностный характер, то есть являются случайными величинами, значения которых зависят от заранее неизвестных неконтролируемых случайных факторов и решений, принимаемых на каждом из этапов. Построение полной вероятностной модели многоэтапного процесса является затруднительным, так как требует совместной оценки вероятности значений всех показателей многоэтапного процесса. Поэтому для оценивания прогнозной эффективности многоэтапного процесса предлагается представить состояние многоэтапного процесса на каждом из этапов в виде соответствующего множества классов и использовать значения условной вероятности наступления ситуаций, соответствующих классам состояния многоэтапного процесса, в зависимости от класса его состояния на предыдущем этапе.

Методика оценивания и корректировки оценочных значений эффективности применения ракетно-космических систем предусматривает выполнение следующих этапов.

1. Формализованное описание многоэтапного процесса группами показателей, характеризующими каждый из его этапов.

2. Классификацию вариантов исходного состояния многоэтапного процесса. Для этого множество значений показателей исходного состояния многоэтапного процесса разбивают на непересекающиеся подмножества, соответствующие классам, таким образом, чтобы каждый из классов мог быть идентифицирован при контроле многоэтапного процесса. Результатом выполнения данного этапа является множество классов исходного состояния многоэтапного процесса.

3. Классификацию результатов реализации промежуточных этапов многоэтапного процесса. Для этого множество значений показателей промежуточных состояний многоэтапного процесса разбивают на непересекающиеся подмножества, таким образом, что каждому классу соответствует своя задача принятия управленческого решения.

4. Классификацию результатов реализации конечного этапа многоэтапного процесса. Для этого множество значений показателей конечного состояния многоэтапного процесса разбивают на непересекающиеся подмножества, таким образом, что каждому классу соответствует различная вероятность достижения целей многоэтапного процесса.

5. Оценивание априорной вероятности наступления ситуаций, соответствующих классам исходного состояния многоэтапного процесса. Данная вероятность характеризует данные о процессе, полученные до начала его контроля и прогнозной оценки эффективности. В случае отсутствия таких данных ситуации, соответствующие классам исходного состояния многоэтапного процесса, считаются равновероятными.

7. Анализ соответствия вариантов решений и ситуаций. Для этого для каждой из ситуаций, соответствующих классам исходного и промежуточных состояний многоэтапного процесса, рассчитывается значение функции полезности управленческих решений. Далее на основе значений функции полезности управленческих решений с применением методов теории вероятности и теории игр определяют вероятность своевременного и правильного принятия решений при условии того, что процесс на j -м этапе находится в i^j -м классе состояния.

7. Вычисление вероятности наступления ситуаций, соответствующих классам промежуточных состояний многоэтапного процесса. Данная вероятность является условной и рассчитывается исходя из того, что принято своевременное и правильное решение и процесс находится в определенном состоянии по результатам предыдущего этапа.

8. Вычисление вероятности наступления ситуаций, соответствующих классам конечного состояния многоэтапного процесса.

9. Вычисление априорной вероятности достижения целей многоэтапного процесса

10. Формирование прогнозных признаков классов исходного состояния многоэтапного процесса. Данные признаки используются для идентификации класса исходного состояния многоэтапного процесса при его контроле и прогнозной оценке эффективности и формируются таким образом, чтобы была известна условная вероятность их проявления в зависимости от класса исходного состояния многоэтапного процесса.

Получение информации о текущих значениях прогнозных признаков классов исходного состояния многоэтапного процесса.

12. Вычисление апостериорной вероятности реализации исходного состояния многоэтапного процесса.

13. Расчет прогнозного значения показателя эффективности многоэтапного процесса.

Таким образом, за счет классификации состояний исследуемого процесса, расчета условных вероятностей наступления ситуаций, соответствующих классам состояний, и пересчета вероятности достижения целей процесса при получении информации о прогнозных признаках обеспечивается возможность прогнозной оценки эффективности с учетом неопределенности ситуаций, возникающих при реализации этапов многоэтапных процессов, последствий принятия решения на различных этапах многоэтапных процессов и текущей информации о состоянии процесса.

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

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ СТОЙКОСТИ
АППАРАТУРЫ КА, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО НА
ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ**

*В. А. Хатулев, А. Н. Загорков, О. В. Михеев, А. Е. Ошкин,
АО «Государственный космический научно-производственный центр
им. М.В. Хруничева», г. Москва*

В процессе функционирования космического аппарата (КА) бортовая аппаратура должна надежно сохранять свою работоспособность с заданной надежностью в течение всего срока службы КА.

Одним из факторов, воздействующих на бортовую аппаратуру КА, является ионизирующее излучение космического пространства (ИИКП). Воздействие ИИКП на бортовую аппаратуру осуществляется в виде дозовых и одиночных эффектов на электронную компонентную базу (ЭКБ). В данной работе рассматриваются только дозовые эффекты.

Целью работы являлось показать зависимость требуемого уровня стойкости аппаратуры КА и ЭКБ в составе ее от толщины защиты стенок приборов бортовой аппаратуры, а также связь стойкости с массой аппаратуры.

Задачей работы являлось получение численных характеристик данных зависимостей и выработка рекомендаций для их обоснования.

Использование материалов статьи позволяет сделать предварительную оценку требуемого уровня стойкости ЭКБ (на этапе эскизного проектирования) и дать оценку необходимой массы приборов и оборудования КА в целом.

Показано, что снижение уровня стойкости ЭКБ приводит к существенному увеличению, как массы аппаратуры, так и массы всего КА в целом. При этом, зная первоначальный уровень стойкости ЭКБ в аппаратуре, можно определить его вариант размещения внутри или снаружи КА.

**РАЗРАБОТКИ АО «НИИ КОМАНДНЫХ ПРИБОРОВ» ДЛЯ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ДРУГОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*А. Р. Мкртычян, Н. И. Башкеев, Д. И. Акашев, С. Н. Вишталъ,
АО «Научно-исследовательский институт командных приборов»,
г. Санкт-Петербург»*

АО «НИИ командных приборов», специализацией которого является создание прецизионной аппаратуры систем управления подвижных объектов различного назначения, в 2017 г. отметило 50-летний юбилей.

В настоящее время основными направлениями деятельности организации в части аппаратуры систем управления движением космических аппаратов (КА) является разработка и изготовление электромеханических и магнитных исполнительных органов: силовых гироскопических комплексов (СГК), комплексов управляющих двигателей-маховиков (УДМ), магнитных систем сброса кинетического момента (МССКМ); для систем электроснабжения – разработка и изготовление устройств поворотных солнечных батарей (УПСБ).

Силовые гироскопические комплексы организация разрабатывает с 1969 г., когда были выданы первые требования на изделие со стороны АО «РКЦ «Прогресс», и на настоящий момент является единственным разработчиком такой аппаратуры для систем управления высокودинамичных КА в России. За прошедшие годы разработан унифицированный по кинетическому моменту (КМ) ряд СГК, диапазон которого изменяется в соответствии с требованиями времени. КМ СГК актуального унифицированного ряда, находящихся на различных этапах жизненного цикла, варьируются от единиц Н·м·с до 2000 Н·м·с. В части диапазонов управляющих моментов СГК реализованы характеристики: в СГК с КМ 250 Н·м·с – $\pm(0,018 \div 37,5)$ Н·м; в СГК с КМ 100 Н·м·с – $\pm(0,012 \div 100)$ Н·м; в СГК с КМ 5 Н·м·с – $\pm(0,0015 \div 1,5)$ Н·м.

Комплексы УДМ АО «НИИ командных приборов» начало разрабатывать в 1995 году по ТЗ, выданному ПАО «РКК «Энергия», в насто-

ящее время накоплен опыт работы с пятью головными организациями, использующими в составе своих систем управления КА комплексы УДМ. Удачно выбранный номинал кинетического момента – $18 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ (максимальный управляющий момент $\pm 0,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$, минимальный $\pm 0,001 \text{ Н}\cdot\text{м}$) – позволил обеспечить применение нескольких модификаций разработанного комплекса УДМ в 13 космических программах, наиболее заметные из которых – КА «Ямал-100» и «Ямал-200» (наработка в натуральных условиях 14,5 лет), КА «Спектр-Р» проекта «Радиоастрон».

Для разгрузки накопленного КМ электромеханических исполнительных органов несколькими головными организациями-разработчиками КА применяются разработанные АО «НИИ командных приборов» МССКМ и силовые магниты. Магнитные моменты силовых магнитов унифицированного ряда – от $60 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ до $500 \text{ А}\cdot\text{м}^2$. В новых разработках используется феррозондовый датчик собственного изготовления.

Начало четвертому направлению деятельности института, разработке УПСБ в обеспечение служебных систем КА, положено в 1995 году также по заказу ПАО «РКК «Энергия». Первые два штатных УПСБ эксплуатировались в составе вышеупомянутого КА «Ямал-100» разработки РКК «Энергия» начиная с 1999 г. Основным заказчиком УПСБ на протяжении более двадцати лет остается ПАО «РКК «Энергия». Управление скоростью привода в наиболее современных разработках – регулируемое (ранее осуществлялось релейно посредством трех команд). Количество силовых транзитных цепей в УПСБ – 4, токи от 35 А до 55 А. Электроника имеет четырехкратное «холодное» резервирование.

В настоящее время организация активно проводит работы по импортозамещению. Новые изделия, заменяющие морально устаревшие и имеющие в составе конструкции ЭЖБ импортного производства или расширяющие соответствующие унифицированные ряды, создаются с использованием исключительно отечественной электронной компонентной базы. Импортозамещение реализовано в комплексе УДМ и УПСБ (изделия прошли полный цикл отработки и выведены в составе КА «Ангосат» на орбиту, прошли тестовые включения). В 2018 году ОКР, направленные в том числе на реализацию импортозамещения, проводятся по СГК с КМ 250, 100, $5 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ и МССКМ с магнитным моментом $1000 \text{ А}\cdot\text{м}^2$.

Все изделия разработки АО «НИИ командных приборов» взаимодействуют с системами управления КА посредством магистрального последовательного интерфейса по ГОСТ Р 52070-2003. Для перспективных изделий рассматривается интерфейс SpaceWire. Обеспечиваемый срок

активного существования КА ДЗЗ, в основном, составляет 5 – 7 лет. В отдельных случаях (перспективные КА ДЗЗ и связи и орбитальные станции) срок активного существования составляет 10 и более лет.

Учитывая проведенные работы по импортозамещению и большой опыт в разработке и изготовлении аппаратуры для служебных систем КА, АО «НИИ командных приборов» готово к работам по созданию аппаратуры различного назначения для перспективных КА.

МЕТОДИКА УМЕНЬШЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАКЕТАХ ДЛЯ БОРТОВЫХ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*В. В. Орешко, В. А. Благодарев,
АО «Российские космические системы», г. Москва*

Сформулирована задача перераспределения информативности бортовых радиотелеметрических систем (БРТС) при нештатных и аварийных ситуациях.

В статье «Научно-методические основы системного подхода к построению информационно-измерительного комплекса» (Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2014 г., т. 1, вып. 1, с. 68 – 77, авторы: Хромов О. Е., Благодарев В. А.) отмечается, что датчики двигательной установки опрашиваются обычно с частотой 50 Гц и 100 Гц, однако для того, чтобы получить информацию о поведении двигательной установки в аварийной ситуации, частота опроса соответствующих датчиков должна быть увеличена до 200 - 400 Гц.

Однако при существующих способах размещения информации о состоянии измеряемых параметров в транспортных кадрах увеличение частоты опроса для большинства датчиков не имеет смысла, так как длительность кадрового цикла и так уже в 4 раза больше цикла опроса ЛКА. То есть совокупная информативность всех ЛК значительно выше, чем информативность радиоканала. В настоящее время для согласования информативности подсистемы сбора сообщений (ПСС), т. е. совокупности всех ЛК, и информативности радиоканала используется ограниченное количество программ опроса, которые для информации каждого датчика определяют положение и частоту ее повторения в кадре. При этом в случае нештатного функционирования изделия может потребоваться более высокая частота опроса датчика, для

которого в программе заложена низкая частота, ведь все возможные ситуации предусмотреть невозможно. Таким образом, возникает задача разработки алгоритмов обработки информации в БРТС, которые будут определять:

- наличие избыточности информации от малоинформативных датчиков и ее снижение;
- перераспределение пакетов информации от датчиков в транспортных кадрах БРТС в случае возникновения нештатной или аварийной ситуации.

Предложена методика формирования адаптивной структуры данных в информационных пакетах для БРТС, основанная на применении адаптивного разностного алгоритма с прореживанием (АРАсП) Этот алгоритм позволяет изменять количество измерений, передаваемых в пакете в зависимости от поведения контролируемого сигнала. Чем меньше изменяется сигнал во времени, тем больше измерений помещается в пакете датчика.

Алгоритм разработан на основе предложенного в статье «Алгоритмы устранения избыточности информации, передаваемой от бортовых телеметрических систем на Землю» (Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2017 г., т. 4, вып. 2, с. 75 – 84. Орешко В. В.) адаптивного разностного алгоритма (АРА), который позволяет уменьшить избыточность, возникающую вследствие неудачно выбранной шкалы измерений.

Адаптивный разностный алгоритм с прореживанием (АРАсП) дополнительно позволяет снизить избыточность, вызванную завышенной частотой опроса. Совокупный максимальный коэффициент снижения избыточности для АРАсП формируется путем перемножения коэффициента сжатия АРА на максимальный коэффициент прореживания.

КОНСТРУКЦИЯ И КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДУЛЬНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДАТЧИКОВ ASTROgyro

*Ф. Шу, Й. Эрих, Й. Ридель, Ф. Алэндорф,
Т. Харламмерт, Т. Йакобс, М. Рёслер,
Йена-Оптроник ГмбХ, Отто-Эппэништейн-Штрассе 3, Германия*

Сегодняшние телекоммуникационные спутники характеризуются централизованным слиянием параметров астроориентации на основе

индивидуальных входных данных от отдельных датчиков системы управления ориентацией и орбиты КА (АОС). В такой конфигурации звездный датчик не имеет прямого доступа к широкополосным данным гироскопа, потому что гироскоп передает предварительно обработанные угловые скорости или совмещенные скоростные даны с низкой периодичностью исключительно к бортовому компьютеру. Очевидно, что всякая гибридизация сенсорных данных, которая ограничивается обработкой в бортовом компьютере, не в состоянии развернуть те уникальные возможности этих двух видов навигационных датчиков.

ASTROgyro (AGY) представляет собой модульную инерционную базовую систему астронавигации которая содержит два звездных датчика и два гироскопических инерционных базовых единиц (IRU, каждая 3 оси).

Обе системы дополняются друг друга в соответствии со своими специфическими возможностями.

В результате этого ASTROgyro улучшает операционные возможности, производительность, безотказность и качество измерения угловой скорости и позиции для выполнения задач системы определения и контроля положения КА.

Для ASTROgyro IRU были выбраны вибрационные гироскопы Кориолиса из-за их низкой структурной сложности и высокой надежности. Гироскоп работает со скоростью 20 град./сек с угловым случайным прохождением $<0,01$ град / $\sqrt{ч}$ (на ось) и эквивалентным уровнем шума $<0,4$ угл. сек (1σ на ось). Неустойчивость смещения порядка $<0,12$ град/час (1σ , на ось) элиминирована на уровне системы ASTROgyro при поддержке результатов измерений полученных от звездного датчика. С этой целью гироскоп передает информацию о скорости с частотой обновления 150 Гц в звездный датчик для калибровки и слияния данных. Полученный в результате 30 Гц-овый малошумящий выходной сигнал без дрейфа затем дополняет стандартный 10 Гц-овый поток данных звездного датчика.

В специальной квалификационной кампании недавно внедренный AGI был подвергнут обширному тестированию и успешно доказал свою пригодность к требовательным условиям в околоземных и геостационарных орбитах. В этом документе описываются основные функции и параметры ASTROgyro, а также дизайн системы. Особое внимание уделяется результатам квалификационных испытаний

ASTROгуго, как и одиночного гироскопа, а также всей системы под воздействием механических нагрузок и термоваккуума, тестирования электромагнитной совместимости в контексте общих требований к космическим миссиям для приборов данного класса.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОСМИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В РАДИОДИАПАЗОНЕ

*В. В. Виленский¹, С. Э. Зайцев¹, Л. Г. Король¹,
Р. О. Русаков¹, С. Г. Макин², Л. И. Нехамкин²,
В. С. Рябиков², В. Н. Платонов³, А. В. Сумароков³*

¹АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов

²АО «НИИЭМ», г. Истра

³ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия»

им. С. П. Королева», г. Королев

Рассматривается управление ориентацией перспективного космического аппарата с двухстепенными силовыми гироскопами в качестве основных исполнительных органов. Аппарат предназначен для съемок заданных районов земной поверхности в радиодиапазоне. Предполагается, что съемки могут проводиться в диапазонах углов $\pm 55^\circ$ по крену. Для осуществления переориентации при перенацеливании аппарата на другой объект съемки требуется обеспечить проведение разворота на 110° за 60 с, на 35° за 30 с и на 25° за 15 с. Для выполнения съемок требуется обеспечение стабилизации угловой скорости аппарата в диапазоне $\pm 0,001^\circ/\text{с}$.

Для обеспечения высокой маневренности КА в процессе проведения съемок в качестве исполнительных органов системы управления угловым движением были выбраны двухстепенные силовые гироскопы. Их использование позволяет резко увеличить возможности углового маневрирования, по сравнению с системой управления движением использующей маховики. В работе рассмотрена предлагаемая кинематическая схема установки силовых гироскопов и приводится закон управления скоростями прецессии их подвеса. Приводятся методы избегания сингулярности матрицы грамма и способы обеспечения перераспределения векторов кинетических моментов отдельных гироскопов.

скопов, относительно неизменного суммарного вектора для избегания попадания гиросистемы в особые точки. В контуре управления ориентацией аппарата выбраны параметры управления, и параметры фильтра управляющего момента, обеспечивающие заданные технические характеристики во время проведения разворотов и стабилизации.

Для исследования возможностей обеспечения требований к данному космическому аппарату было проведено математическое моделирование. В работе приводятся результаты моделирования разворотов КА по крену на углы 110° , 35° и 25° . Моделирование проводилось как для штатного управления с использованием четырех силовых гироскопов, так и рассматривался нештатный вариант управления при использовании только трех гироскопов из четырех. Приведенные результаты математического моделирования подтверждают возможность обеспечения требуемых разворотов за указанное время и обеспечение необходимых точностей стабилизации рассматриваемого космического аппарата в процессе съемок.

НАЗЕМНАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА И ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ ASTRO APS НА КА «КАНОПУС-В-ИК», КА «КАНОПУС-В» №№ 3, 4

¹*П.В. Столяренко,*

²*Ehrich Joerg Joachim, менеджер проектов,*

¹*АО «Корпорация «ВНИИЭМ», Москва,*

²*Jena-Optronik GmbH, Йена, Германия*

Звездные датчики Astro APS производства Jena-Optronik (см. рис.) впервые использовались АО «Корпорация «ВНИИЭМ» при работе над проектом создания КА «Канопус-В-ИК». Данное оборудование было выбрано в связи со своими высокоточностными характеристиками для использования на низкоорбитальных космических аппаратах ДЗЗ.

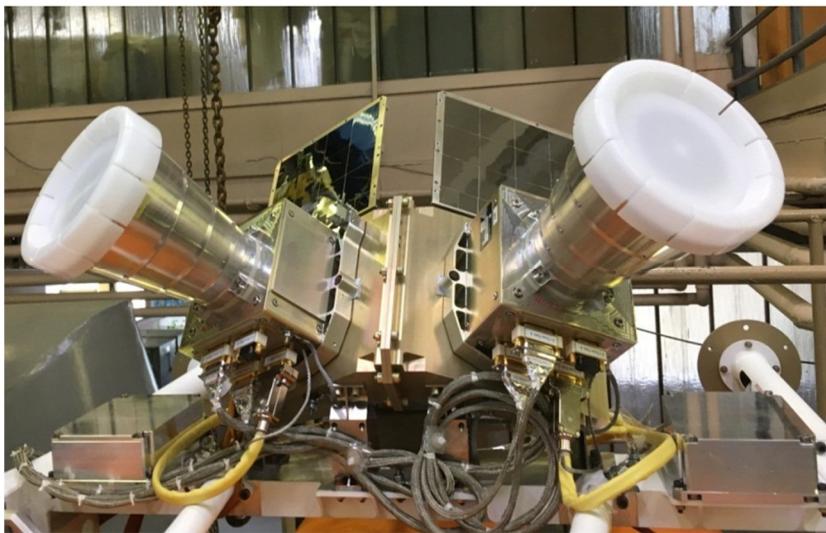
Входной контроль и наземные электрические испытания звездных датчиков Astro APS не выявили замечаний к функционированию приборов.

В процессе интеграции звездных датчиков с интерфейсом МКО в систему КА потребовалось создание особой задачи в ПО БВС, основном звене кластера БКУ.

При интеграции звездного датчика на платформу КА типа «Канопус-В» решены вопросы:

- подача питания на звездный датчик с задействованием «импульсного» входа;
- передача секундной метки в звездный датчик;
- реализация программно-командного обмена между БВС и ЗД Astro APS;
- установка системы отвода тепла.

Модификация Astro APS для КА «Канопус-В-ИК», КА «Канопус-В» № № 3 – 6 использует двухэтапное включение прибора. Датчик имеет два входа 28 вольт и включается путем подачи питания на основной вход питания, затем подачи 28 вольт на «импульсный» вход (для активации работы ВИП в ЗД).



Звездные датчики Astro APS

Сигнал секундной метки LVDS передается от БВС через мостовое устройство системы ориентации.

Задача поддержки звездного датчика Astro APS, реализованная в ПО БВС, работает в событийном режиме по МКО. После запуска задача попадает в рабочий цикл, в котором блокируется на чтении сообщений из очереди, выделенной для данной задачи. СОС КА работает в 1-секундном цикле управления, поэтому ЗД также

настроен на выдачу потока данных с частотой 1 Гц (при имеющейся модификации в 10Гц).

Помимо встроенного в звездный датчик термоэлектрического охладителя на КА установлена пассивная система отвода тепла - радиатор для каждого ЗД.

Автоматизация работы с ЗД посредством дополнительной модификации ПО БВС заключалась в:

- созданию механизма снятия дампа изображения, что позволяет провести интегральную оценку характеристик изображения матрицы ЗД по фрагментам;

- реализации механизма парирования ошибок синхронизации ЗД при разовом пропадании секундной метки, что помогает детектировать кратковременные переходы на использование внутренней секундной метки ЗД.

На этапе ЛИ проведены следующие работы по каждой модели ЗД:

- первоначальная проверка работоспособности;
- проверка функционирования терморегуляторов;
- оценка изображения с матрицы ЗД.

Дополнительно при выполнении ЛИ КА «Канопус-В-ИК» ввиду ошибки, вероятность детектирования которой при испытаниях на имитаторе КА сводилась к нулю, осуществлена инверсия знака скалярной части кватерниона путем закладки патча в ПО БВС.

По результатам летных испытаний ЗД Astro APS на КА «Канопус-В-ИК», КА «Канопус-В» № № 3, 4, на каждом из которых было установлено 2 модели, подтверждены общие характеристики оборудования, указанные в спецификации:

- Точность $< 4.3 \text{arcsec } 3\sigma$;
- звездный каталог обеспечивает перекрытие с количеством > 16 звезд по всей орбите (за исключением случаев засветки);
- угол исключения засветки Солнцем 26 градусов;
- отсутствие засветок Луной (подтверждено при углах более 16 градусов);
- время по инициализации режима отслеживания ориентации < 10 секунд;
- поддержание температуры ЗД в пределах заданной температуры (20 градусов Цельсия) за счет использования термоэлектрического охладителя с пельтье-элементом;

– токопотребление 140 – 180 мА.

Оценки ошибок по крену, тангажу и курсу в режиме точной орбитальной ориентации КА при отсутствии засветки звездных датчиков Солнцем находились в пределах допуска и не превышали 5 угловых минут. При попадании Солнца в запрещенную зону ЗД имеет место кратковременное ухудшение точности оценки ориентации до уровня 10 угловых минут. Данные требования соответствуют требованиям, предъявляемым в ТЗ на КА.

Функциональность и производительность ЗД Astro APS проверена на ЛИ КА «Канопус-В-ИК», КА «Канопус-В» № № 3, 4. Тестирования на функциональность выполнены во время первых включений ЗД и проведены без каких-либо замечаний. Точность измерения ориентации и угол исключения засветки Солнцем подтвердили и превысили в положительную сторону требования, указанные в спецификации ЗД ASTRO APS.

Возможной рекомендацией к усовершенствованию звездных датчиков Jena-Optronik может являться доукомплектование их памятью для хранения изображения с матрицы и разработкой соответствующих механизмов их съема и хранения.

По результатам испытаний отмечено, что применение звездных датчиков Astro APS фирмы Jena-Optronik существенно повышает точность стабилизации КА, по сравнению с предыдущими аналогами, используемыми на данной платформе, а характеристики выше и соответствуют заявленным. Поэтому имеется высокая степень целесообразности применения ЗД Astro APS на платформе типа «Канопус-В» при аналогичном исполнении БКУ.

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЗАТРАТ НА НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

*Ю. Г. Пичурин,
«НИИ КС имени А.А. Максимова» –
филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Королев*

Выбор заказчиком лучшего образца унифицированной космической платформы (УКПл) на конкурсной основе, наряду с техническими ха-

рактиками, предполагает оценку затратного механизма на данную разработку.

В настоящее время отсутствует модель оценки затрат на новую разработку унифицированных космических платформ с учетом значений базовых составляющих технического уровня.

Для разработки такой модели интерес представляет группа нормативно-параметрических методов, к которым относятся методы прогнозирования затрат по малой статистике.

Эти методы предполагают наличие изделия-аналога, в роли которого, как правило, выступает предыдущее по времени разработки, серийно освоенное изделие данного типа техники, принадлежащее к той же классификационной группе, аналогичное по назначению, схемным и конструктивно-технологическим решениям, а также по условиям процесса его создания.

Широкое распространение в этой группе методов получил метод аналога, сущность, которого заключается в том, что затраты на новое изделие определяются в результате пересчета затрат на изделие-аналог с учетом степени отличия их важнейших параметров.

Перспективное изделие, на которое подлежат оценке, можно охарактеризовать вектором показателей:

$$\vec{x}_{пер} = (x_{пер1}, x_{пер2}, \dots, x_{перb}).$$

Если известны затраты на изделие-аналог ($C_{ан}$) и соответствующие ему значения показателей:

$$\vec{x}_{ан} = (x_{ан1}, x_{ан2}, \dots, x_{анb}),$$

то затраты на перспективное изделие:

$$\vec{C} = \vec{C}_{ан} * K(\vec{x}_{пер}, \vec{x}_{ан}),$$

где K – безразмерный коэффициент пересчета.

Научно-технический прогресс, результатом которого является создание новых продуктов, предполагает снижение цены на единицу полезного эффекта. Практика ценообразования должна исходить из

условия, при котором происходит относительное удешевление цены единицы параметра нового изделия по сравнению базовым. Для того чтобы соблюдалось это условие, при расчете цены на новое изделие применяется специальный коэффициент торможения, величина которого зависит от группы товаров и находится, как правило, в пределах от 0,9 до 0,97.

Модель расчета цены новой УКПл с учетом коэффициента торможения (K_T) выглядит следующим образом

$$C_{пер} = C_{ан} * K(\vec{x}_{пер}, \vec{x}_{ан}) * K_T.$$

На практике широкое распространение получил ряд способов определения коэффициента пересчета, приведенных в, например:

$$K = \frac{1}{b} \sum_{k=1}^b \frac{\varphi_k(x_{пер.k})}{\varphi_k(x_{ан.k})},$$

где: $k = \overline{1, b}$ – количество учитываемых показателей в модели затрат;
 α_k – k -й коэффициент весомости влияния параметра $x_{пер(ан).k}$ на затраты;
 $\varphi_k(x_k)$ – некоторая функция, описывающая преобразование соответствующего показателя x_k в зависимости от характера его влияния на полезность изделия данного типа и в итоге на затраты.

Особенности рыночных отношений определяют введение в состав лимитной стоимости коэффициента $K'(t_H)$, учитывающего инфляционные процессы, для его определения можно использовать информацию по удорожанию не только групп космической техники, но и всей продукции промышленного производства в стране, либо другие доступные данные: месячный уровень инфляции, изменение курса доллара и др.

Таким образом, модель расчета лимитной стоимости новой разработки имеет следующий вид:

$$\vec{C} = \vec{C}_{ан} * K(\vec{x}_{пер}, \vec{x}_{ан}) * K_T * K'(t_H).$$

Знание прогнозной стоимости новых разработок, выступающей в качестве дополнительной информации, позволяет заказчику более обоснованно и достоверно выбрать лучшую разработку.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОГ КА ДЗЗ

*В. С. Марков, М. В. Ерешко, Л. А. Гришанцев,
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы», г. Москва*

Комплексное целевое планирование позволяет эффективно использовать ресурс ОГ КА ДЗЗ и ППИ с целью проведения спутниковой съемки в соответствии с интересами потребителей целевой информации.

В работе проведена систематизация технических характеристик бортовой аппаратуры КА, которые применяются при решении целевых задач. Указанные параметры могут быть использованы в качестве исходных для моделирования функционирования разнотипных КА ДЗЗ, с целью решения задач автоматизированного комплексного планирования работы ЦА и оптимизации выполнения заявок.

При систематизации показаны как уникальные для каждого КА технические характеристики, так и общие, характерные всем КА ДЗЗ, которые применяют при разработке плана работы ОГ КА ДЗЗ.

Предложена концепция, в которой потребитель данных заказывает продукт, получаемый из данных ДЗЗ, указывая её унифицированные параметры. Информация о необходимых ограничениях и параметрах бортовой аппаратуры разнотипных КА ДЗЗ и их ЦА для планирования съемки с целью получения требуемых данных, исходя из заказанного продукта, поступает автоматически в контур планирования Оператора КС ДЗЗ.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЭМС- ДАТЧИКОВ И ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

*Д. М. Урманов,
ООО «Совтест АТЕ», г. Курск*

В последние годы широкое развитие на мировом рынке получают различные микроэлектромеханические системы (МЭМС). Важными преимуществами датчиков основанных на МЭМС-технологиях явля-

ются малые габариты, низкий уровень электропотребления, высокая надежность, возможность интеграции в сложные системы и широкая сфера применения.

В связи с вышесказанным в докладе рассматриваются основные потенциальные сферы применения МЭМС на российском рынке. Рассказывается об особенностях разработки и производства современных высокоточных инерциальных МЭМС-датчиков. Анализируется возможность их применения на подвижных и неподвижных объектах – на земле, в небе и в космосе. Представляется опыт по развитию на основе МЭМС беспроводных автоматизированных систем технического мониторинга различных объектов и инерциальных навигационных систем.

РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ И АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*В. А. Зеленцов¹, С. А. Потрясаев¹, Б. В. Соколов¹,
В. Ю. Скобцов², С. А. Кореняко², Л. И. Кульбак², Д. С. Ким²,
Е. Д. Николаеня², Н. В. Лапицкая³, Е. Н. Вакульчик³, Р. В. Саксонов⁴*

*¹Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
(СПИИРАН), г. Санкт-Петербург,*

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси (ОИПИ),

*³Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники (БГУИР),*

⁴Геоинформационные системы (ГИС), Минск, Беларусь

В современных условиях для обеспечения требуемой степени автономности, качества и оперативности управления такими сложными объектами (СЛО) как бортовая аппаратура (БА) малых космических аппаратов (МКА) необходимо обеспечить модельно-алгоритмическое описание процессов смысловой интерпретации состояний их функционирования и на этой основе решить задачи комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов оценивания, и многокритериального анализа БА МКА в различных условиях обстановки.

В представляемом докладе излагается решение данных актуальных задач на основе применения прикладной теории управления структурной динамикой СЛО (СПИИРАН), а также методик оценки показателей надежности и интеллектуального анализа данных функционирования

ния БА МКА (ОИПИ). В рамках партнерских проектов программы Союзного государства «Мониторинг СГ» в СПИИРАН, разработан экспериментальный образец распределенного программно-моделирующего комплекса многокритериального оценивания, анализа и прогнозирования значений показателей надежности и живучести БА МКА с учетом факторов космического пространства, а также управления их конфигурацией на различных этапах жизненного цикла (ПМК). В состав ПМК (СПИИРАН) был интегрирован как распределенный сегмент экспериментальный образец комплекса методик и программных средств для оценки надежности БА МКА (КПС ОН БА МКА), разработанный в ОИПИ.

В рамках разработанного в СПИИРАН российского сегмента распределенного комплекса выделяются взаимосвязанные методики и программные модули (ПМ) для решения следующих задач:

- ПМ «Надежность и критичность отказов» – для многокритериального оценивания и анализа структурной надежности и критичности отказов бортовых систем МКА и ФЭ БА МКА;
- ПМ «Радиация» – для расчета поглощенных доз электронов и протонов естественного и искусственного радиационного пояса Земли, солнечных космических лучей в произвольной заданной точке МКА;
- ПМ «Техническое состояние» – для оценивания показателей надежности и технического состояния элементов БА МКА на основе анализа значений параметров телеметрии;
- ПМ «Резервирование» – для расчета необходимого уровня структурной избыточности и оптимального резервирования элементов БА МКА для обеспечения требуемого уровня ее надежности и живучести;
- ПМ «Структурная реконфигурация» – для управления структурной реконфигурацией БА МКА в штатном режиме и нештатных ситуациях;
- ПМ «Функциональная реконфигурация» – для аналитико-имитационного моделирования сценариев перераспределения функций между бортовым и наземным комплексами управления МКА;
- ПМ «Многокритериальность» – для многокритериального анализа интегральных показателей надежности БА МКА.

Белорусский сегмент распределенного ПМК представлен экспериментальным образцом КПС ОН БА МКА, который предназначен для оценки показателей надежности и работоспособности, анализа данных функционирования БА МКА на основе следующих методик и ПМ:

- Методика и ПМ интервальной оценки показателей надежности БА МКА предназначены для интервальной оценки показателей надежности для разных типов резервирования и режимов работы элементов БА на основе модели структурных схем надежности.

- Методика и ПМ интеллектуального анализа данных функционирования БА МКА предназначены для анализа данных телеметрии и функционирования БА МКА путем предобработки данных, выделения потенциальных состояний анализируемых устройств с помощью кластеризации/классификации и прогнозной оценки среднего количества отказов по кластерам-состояниям устройства и всему временному ряду. ПМ включает компоненты нейросетевого анализа, отбора существенных признаков, потоковой динамической кластеризации и прогнозной оценки. Интегрирован модуль 2D- и 3D-визуализации результатов анализа данных.

- Методика и ПМ логико-вероятностной оценки показателей надежности БА МКА предназначены для анализа надежности и живучести системы на основании ее логической схемы работоспособности с возможностью учета влияния тепломеханических воздействий среды.

Разработанный распределенный программный комплекс реализован на базе сервис-ориентированной веб-архитектуры и модульного подхода к построению программно-математического обеспечения.

Решение поставленных задач в нем представлены несколькими альтернативными вариантами методической и программной реализации, имеющими свою специфику. Применение сервис-ориентированной архитектуры и модульного подхода обеспечивает возможность дальнейшего развития комплекса как с российской, так и с белорусской стороны.

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

**ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО
КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА**

*А. Е. Шустов, С. Е. Улин, К. Ф. Власик, В. М. Грачев, В. В. Дмитренко,
К. В. Кривова, А. С. Новиков, З. М. Утешев, И. В. Чернышева,
Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», г. Москва*

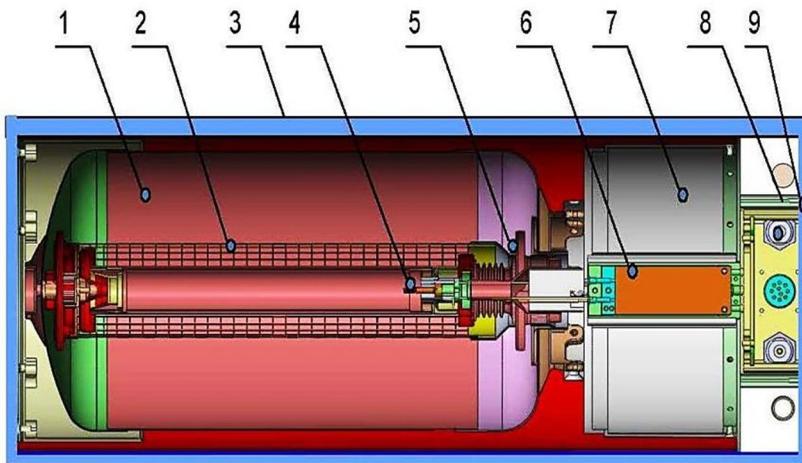
1. Введение. В конце прошлого века на орбиту Земли были запущены несколько десятков космических аппаратов (КА) с ядерными источниками энергии, для которых время баллистического существования после их увода на орбиту захоронения (900 – 1000 км) составляет несколько сотен лет. Однако в случае разрушения этих аппаратов некоторые радиоактивные обломки могут попасть в верхние слои 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. Для обнаружения и идентификации радиоактивных объектов космического мусора можно использовать различную аппаратуру, в частности гамма-, рентгеновские, нейтронные, инфракрасные, оптические и другие спектрометры. Наиболее информативными среди них для регистрации потенциально опасных радиоактивно космических объектов являются гамма-спектрометры.

2. Гамма-спектрометр. Гамма-спектрометр с высоким энергетическим разрешением, созданный в НИЯУ МИФИ, 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 (SiPM). Общая схема гамма-спектрометра приведена на рисунке.

Основные физико-технические характеристики детектирующего блока: 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; масса рабочего вещества (ксенона) – 1,5 кг; потребляемая мощность ≤ 15 Вт; напряжение питания + (24 – 27) В; рабочий температурный диапазон (0 – 80 С); габариты ~200 × 200 × 500 мм³; вибро-акустическая устойчивость до 100 дБ; гарантийный срок годности ≥ 10 лет.



Принципиальная схема детектирующего блока ксенонового гамма-спектрометра:

- 1 – цилиндрическая импульсная ионизационная камера; 2 – экранирующая сетка; 3 – герметический кожух; 4 – анод; 5 – керамический гермоввод;**
- 6 – зарядочувствительный усилитель; 7 – источник высоковольтного питания; 8 – электроника; 9 – сцинтилляционная антисовпадательная защита**

Для повышения чувствительности данную аппаратуру можно изготовить в виде нескольких (5 – 6) независимых детектирующих блоков и расположить их на внешних плоскостях КА, что обеспечит чувствительную поверхность $\sim 1 \text{ м}^2$. В этом случае, имеется возможность обнаруживать радиоактивные объекты на расстоянии $\sim 100 \text{ км}$. Расчеты показывают, что если установить гамма-спектрометрическую аппаратуру, например, на КА с высотой орбиты $\sim 1000 \text{ км}$, то его сближение с известными потенциально опасными радиоактивными объектами будет происходить примерно 1 – 2 раза в месяц.

Заключение. Для эффективного обнаружения и диагностики радиоактивно опасных объектов космического мусора необходимо создание новой гамма-спектрометрической аппаратуры с максимально возможной чувствительной площадью на базе ксенонового гамма-спектрометра. Это позволит эффективно обнаружить и идентифицировать радиоактивные и делящиеся материалы на борту КА.

Для уточнения параметров орбиты обнаруженных КА с различными радиоизотопными и ядерными установками на борту, а также увеличения достоверности измерений, целесообразно данные исследования проводить одновременно на нескольких космических аппаратах-инспекторах.

ПРОБЛЕМЫ КАЛИБРОВКИ ПОЛНОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ РСА

*М. В. Сорочинский, А. И. Захаров,
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН, Московская обл., г. Фрязино*

Несмотря на достигнутый в течение последнего десятилетия прогресс в создании радиолокационных средств аэрокосмического базирования, предназначенных для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), процесс их совершенствования интенсивно продолжается. Тем не менее, не удастся создать устройства, параметры которых существенно не искажали бы результаты измерений, получаемых с применением таких датчиков. Выходом из данной ситуации является уточнение фактических параметров радиолокационных систем в режиме их нормальной эксплуатации на орбите, что достигается периодической

калибровкой устройств. В связи с этим процесс калибровки является неотъемлемо частью общей проблемы получения данных о характеристиках подстилающей поверхности методами ДЗЗ.

Наиболее сложным представляется калибровка полнополяризметрических радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА). Для ее осуществления необходимы дорогостоящие полигоны, оснащенные определенным набором эталонных отражателей. Большое количество находящихся на орбите РСА и их многообразие как по конструктивному исполнению, так и по характеристикам приводит к необходимости изыскивать общую модель, описывающую численно любой РСА с возможностью в дальнейшем по его параметрам скорректировать результаты конкретных измерений. В качестве такой модели может служить линейный четырехполюсник, свойства которого полностью описываются четырьмя коэффициентами, характеризующими прямое прохождение сигналов на HH- и VV-поляризациях через HH- и VV-каналы и перекрестным прохождением с HH-канала на VV-канал и с VV-канала на HH-канал. Иногда эти коэффициенты подвергают нормировке, в результате чего калибровка оказывается относительной в отличие от предыдущего случая, когда она абсолютная.

Для абсолютной калибровки теоретически достаточно разместить на калибровочном полигоне три эталонных отражателя с различными матрицами рассеяния (например, трехгранный уголкового отражатель и два двухгранных с различной ориентацией ребра).

В связи с тем, что спутник пролетает над калибровочным полигоном не на каждом витке орбиты, косвенно о работоспособности РСА в отдельные моменты времени можно судить по величине измеренной им ЭПР какого-нибудь яркого природного или промышленного объекта с известными стабильными отражательными характеристиками. В качестве таких могут выступать, например, отдельные хозяйственные постройки, радиотехнические антенны, нефтяные платформы на Каспии и т. п. В докладе рассмотрены отражательные свойства некоторых из них.

В качестве калибровочных отражателей могут быть использованы и протяженные объекты, обладающие пространственной однородностью. К ним относятся джунгли р. Амазонки, хвойные леса Канады, районы пустыни Сахары, области ледников Антарктиды и т. п. Заметим, что кроме условия однородности знание конкретных численных характеристик таких поверхностей не

требуется. Протяженные объекты позволяют осуществить полную калибровку полнополяриметрических РСА, однако доступными для измерения оказываются только относительные параметры модели-четырёхполюсника. Чтобы осуществить абсолютную калибровку, необходимы дополнительные измерения с использованием какого-либо эталонного точечного отражателя.

Дополнительные трудности возникают при калибровке полнополяриметрических РСА L-диапазона, где существенным образом сказывается влияние эффекта Фарадея, вызывающего вращение плоскости поляризации при прохождении радиоволн через ионосферу. Это приводит к тому, что если на полигоне в момент калибровки не известно фарадеевское вращение, то измерение параметров РСА становится невозможным вследствие их зависимости от угла поворота плоскости поляризации. Чтобы устранить такую зависимость, измерение внутренних параметров РСА приходится выполнять в условиях отсутствия фарадеевского вращения, что имеет место в районах, близких к экватору, в частности, в джунглях р. Амазонки. В дальнейшем, при корректировке получаемых изображений необходимо учитывать фарадеевское вращение для данного конкретного района на момент радиолокационной съемки.

Отмеченные трудности можно преодолеть, воспользовавшись инвариантами, не зависящими от фарадеевского вращения, которые составлены из некоторых комбинаций параметров РСА. В качестве таких инвариантов выступают разности элементов первого и второго и суммы третьего и четвертого столбцов матрицы параметров, введенных Висбеком (Wiesbeck W., Riegger S. A complete error model for free space polarimetric measurements // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1991. – Vol. 39, № 8. – P.1105 – 1111). Численное значение каждого из инвариантов может быть измерено в процессе калибровки РСА по обычным методикам, не учитывающим эффект Фарадея. Результаты этих измерений дают возможность составить систему нелинейных уравнений относительно оценок неизвестных внутренних параметров РСА, которые могут быть получены в результате решения такой системы численными методами. Оцененные внутренние и измеренные в присутствии эффекта Фарадея параметры РСА позволяют определить и величину фарадеевского вращения.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ АППАРАТУРЫ ДЗЗ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

*В. С. Анашин, П. А. Чубунов, Г. А. Протопопов,
Филиал АО
«Объединенная ракетно-космическая корпорация» –
«Научно-исследовательский институт
космического приборостроения», г. Москва*

Ионизирующие излучения космического пространства (ИИ КП) является главенствующим фактором, ограничивающим срок активного существования (САС) космических аппаратов (КА), что подтверждается многолетней статистикой сбоев и отказов бортовой аппаратуры (БА) как зарубежных источников, так и отечественных. Воздействие ИИ КП приводит к возникновению в электронной компонентной базе (ЭКБ) из состава БА ряда дозовых и одиночных эффектов.

Мировой опыт обеспечения стойкости БА к воздействию ИИ КП заключается, в том числе, в использовании в БА только квалифицированной ЭКБ по стойкости к воздействию ИИ КП путем проведения соответствующих испытаний, преимущественное применение ЭКБ, квалифицированной производителем и др.

Порядок гарантированного обеспечения и подтверждения высоких САС РЭА КА (по критерию стойкости к воздействию ИИ КП на уровне ЭКБ) включает в себя ряд мероприятий, которые должны быть изложены в программе обеспечения стойкости (ПОСТ), сроки выполнения которых соответствуют плану-графику создания РЭА КА. Следует отметить, что основным документом, подтверждающим стойкость ЭКБ к воздействию ИИ КП, является протокол испытаний (или исследований, подтверждающий нечувствительность ЭКБ к определенным видам эффектов).

Особенности обеспечения стойкости РЭА ДЗЗ к воздействию ИИ КП связаны, прежде всего, с условиями функционирования КА ДЗЗ, а именно: незначительное (по сравнению с навигационными и геостационарной орбитами) воздействие электронов, сравнимые уровни воздействия протонов с максимальными уровнями (на орбите ~3000 км),

что усложняет применение экранирования для снижения дозовых нагрузок, требования по стойкости к тяжелым заряженным частицам (ТЗЧ) к ЭКБ ниже, чем для навигационных и геостационарной орбит, наличие вклада протонов в суммарное число одиночных эффектов.

Также особенность обеспечения стойкости РЭА ДЗЗ к воздействию ИИ КП заключается в наличии в РЭА ДЗЗ оптических материалов и оптоэлектронных приборов, в особых режимах функционирования (повышенная или пониженная температура), слабая защищенность некоторых критичных элементов. Это приводит к необходимости контроля стойкости ЭКБ к воздействию ИИ КП по эффектам смещения (оптоэлектронные изделия один из наиболее чувствительных функциональных классов к данному виду эффектов), сбоям (в ПЗС матрицах) и тиристорному эффекту (повышенная чувствительность ЭКБ при высоких температурах).

С целью анализа и оценки правильности и эффективности использования ЭКБ при разработке, изготовлении и модернизации РКТ в части вопросов применения ЭКБ проводится экспертиза отчетных документов по этапам ОКР. В соответствии с Положением о ГНИО РКП по применению ЭКБ, для решения задач ГНИО по ЭКБ в части ИИ КП привлекается филиал АО «ОРКК» – «НИИ КП» (ведущая организация ГК «Роскосмос» по контролю и обеспечению стойкости ЭКБ к воздействию ИИ КП, головная организация Межведомственного центра радиационных испытаний ЭКБ по номенклатуре Роскосмоса), в том числе для согласования отчетных документов в части стойкости ЭКБ к воздействию ИИ КП (ПОСТ, программы-методики и протоколы испытаний и др.). При этом, оптимальное решение проблем по контролю и обеспечению стойкости РЭА (в т. ч. ДЗЗ) к воздействию ИИ КП заключается в привлечении филиала АО «ОРКК» – «ОРКК» к данным работам, в частности, к проведению испытаний ЭКБ (обладание испытательными средствами, позволяющими проводить испытания ЭКБ всех функциональных классов и всех конструктивно-технологических исполнений ко всем возможным видам одиночных и дозовых эффектов (в т. ч. единственными в России испытательными средствами по контролю стойкости к ТЗЧ)); анализу стойкости РЭА КА (в том числе с учетом реальных характеристик ИИ КП), разработке и согласованию ряда отчетных документов до проведения приемки этапов ОКР.

КМОП ВИДЕОКАМЕРА КОСМИЧЕСКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРИБОРАХ СПЕКТРОСКОПИИ КА ДЗЗ

*В. Муаллем¹, К. В. Бердичевский²,
¹3DPLUS, Франция
²ООО «ЭСДИЭС», г. Санкт-Петербург*

Компания 3D PLUS в рамках НИОКР разработала новую КМОП-камеру для космических применений. Работа была выполнена по заказу Национального центра космических исследований Франции (CNES). Для обеспечения максимальной компактности конструкция камера была разработана с использованием объёмных технологий компании 3D PLUS. Также при разработке камеры особое внимание было уделено обеспечению ее высокой стойкости к воздействию радиации для широкого спектра научных применений, таких как обзор земной поверхности, мониторинг состояния КА и носителя, звездные датчики.

Камера 3DCM681 была разработана с использованием 3D-технологий и представляет из себя куб объёмом $35 \times 35 \times 25$ мм³, в котором на 4 уровнях размещены её компоненты. Верхний уровень содержит КМОП датчик изображения, который является основным элементом камеры. Датчик состоит из 2048×2048 пикселей размером 5,5 микрон. Каждый пиксель основан на архитектуре pin-фотодиода с несколькими транзисторами. Этот датчик полностью цифровой, он содержит микроконтроллер, регистры, 2048 АЦП и может передавать информацию, используя 16 выходов LVDS. Частота кадров зависит от количества битов АЦП и составляет 12 кадров/сек (12 битов) или 16 кадров/сек (10 битов). Стойкость цифровой части датчика в отношении одиночных эффектов (SEE) была оценена CNES и была признана удовлетворительной в части SEU и требующей дополнительной защиты для снижения SEL. Красный, зеленый и синий цветные фильтры размещены в оптической системе над каждым пикселем с использованием распределения массива Байера. Микролинзы нанесены в верхней части каждого пикселя. Эти оптические элементы фокусируют падающий на пиксель свет для того, чтобы улучшить квантовую эффективность пикселя.

На втором уровне компонентов размещена ПЛИС на 3 млн. вентилей с низкой потребляемой мощностью, стойкостью к накопленной

дозе 30 крад и невосприимчивостью к одиночным эффектам. ПЛИС выполняет функцию интерфейса камеры с другими системами. ПЛИС может хранить изображения в ОЗУ, расположенном на том же уровне и выполняет предварительную обработку изображений. Также имеется ПЗУ для обеспечения загрузки регистров состояния датчика изображения и хранения каталога звезд в случае применения камеры в составе звездных датчиков. Для управления камерой используется последовательный интерфейс, для передачи изображения с выхода камеры используется интерфейс LVDS.

Следующий уровень компонентов камеры содержит PGA, который поддерживает любые типы интерфейсов передачи данных от LVDS до SpaceWire в зависимости от программирования ПЛИС.

Входное напряжение питания камеры от 4,5 до 9 В. В составе камеры имеются четыре стабилизатора напряжения (3,3 В, 2,5 В, 2,1 В и 1,5 В) для питания датчика, генератора, ПЛИС и памяти.

Камера выпускается в космическом исполнении.

МИКРОВОЛНОВАЯ РАДИОМЕТРИЯ ПОВЫШЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*М. В. Данилычев, Д. М. Ермаков,
В. А. Калошин, Б. Г. Кутуза, В. П. Саворский,
Институт радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН, г. Москва*

Однолучевые радиометрические системы (РМС) с пространственным сканированием главного лепестка диаграммы направленности антенны (ДНА) являются основным типом современных спутниковых радиометров. Стремление к максимально возможной чувствительности в элементе пространственного разрешения привело к использованию апертурных антенн и механического способа сканирования как основного варианта конструкции. Получение радиометрической информации о сканируемом пространстве осуществляется методом последовательного опроса строк, возникающих при поступательном движении спутника в сочетании с периодическим движением довольно узкого, обычно от $0,5^\circ$ до 5° по уровню половинной мощности (3dB), луча главного лепестка ДНА относительно самого спутника. Различные воплощения данной схемы на практике отличаются не-

большой массой, габаритами и энергопотреблением, а также высокой надежностью при сравнительно невысокой стоимости и большой полосе обзора (до 2600 км при высоте полета ~ 830 – 850 км). Принципиальным является возможность одновременного использования большого числа каналов на разных частотах и поляризациях в мм- и см-диапазонах длин волн. Приборная радиометрическая чувствительность «поверхностных» ($\lambda \geq 3$ см) каналов для современных однолучевых РМС оценивается величиной ~0,03 – 0,06 К, что позволяет при сканировании достигнуть чувствительности в пространственном элементе (20 – 100 км) порядка 0,3 – 0,7 К. Для «атмосферных» каналов ($\lambda \leq 1,6$ см), с учетом специфики узкополосного атмосферного профилирования, разброс увеличивается: ~0,05 – 0,3 К для радиометрической (приборной) чувствительности и ~0,5 – 3,0 К для чувствительности в элементе пространственного разрешения (~10 – 50 км). В диапазоне 0,2 – 6,0 см данная технология позволяет вполне удовлетворительно разрешать значительное число существующих задач. Конструкторам удастся, путем соответствующей оптимизации, достигнуть разумного компромисса в сочетании значений пространственного и температурного разрешений и одновременно обеспечить широкую полосу обзора. Имеется опыт реализации этой схемы и в дециметровом диапазоне. В целом, разнообразие конкретных конструкторских воплощений для данной схемы достаточно велико. Вместе с тем остается слишком малый ресурс для развития и схема близка к достижению предельных возможностей по пространственному/ радиометрическому разрешению. Основным направлением развития для нее является борьба за улучшение показателей приборной радиометрической чувствительности. Причиной фундаментального ограничения данной технологии является следующее: скорость сканирования луча по поверхности во много (в 450 и более!) раз превышает скорость движения следа спутника на поверхности (~6,5 км/с). Поэтому возможность накопления сигнала от элемента пространственного разрешения жестко ограничена, что, в свою очередь, кладет предел попыткам достижения высокой радиометрической чувствительности (в элементе пространственного разрешения) при все еще допустимых показателях пространственного разрешения. Как попытку преодолеть эти ограничения и следует рассматривать эксперименты с многолучевыми РМС панорамного типа (РМС ПТ), РМС апертурного синтеза (РМС АС) и многолучевыми РМС иных типов. Несмотря на относительно малый

опыт конструирования и эксплуатации такого рода «продвинутых» РМС, уже можно утверждать, что полноценное освоение любого из обсуждаемых направлений требует значительных финансовых, временных и трудовых затрат. Возникает вопрос – насколько значимы те задачи, ради решения которых необходимо развивать данные технологии? Имеется ли экономическое, научное и/или какое-то иное оправдание требуемых усилий? По мнению авторов такого рода задачи, безусловно, существуют и польза (в самом широком смысле!) от их успешного разрешения окупает все предполагаемые затраты. В докладе показана возможность и целесообразность совместного использования РМС ПТ с набором каналов различной поляризации на 1 – 2-х рабочих частотах и многочастотных (однолучевых) РМС традиционного типа для решения ряда задач ДЗЗ, требующих повышенного радиометрического разрешения. В качестве примера в докладе рассматривается задача измерения параметров поверхности океана и вариант применения многолучевых РМС ПТ в см-диапазоне. Желание существенно улучшить показатели пространственного разрешения приводит к необходимости целенаправленного исследования и развития соответствующих технологий. Одним из возможных направлений такого развития является технология апертурного синтеза. Выполненные ранее оценки позволяют надеяться на то, что в диапазоне длин волн 0,2 – 2,25 см можно построить спутниковую РМС АС с полосой частот ~100МГц, разрешением в единицы километров и чувствительностью в элементе разрешения не хуже 1 К. В докладе приводятся примеры задач, которые требуют для их решения повышенного пространственного разрешения, но одновременно характеризуются и значительными контрастами – перепады яркостной температуры могут измеряться десятками и более градусов Кельвина. В ряду важнейших выделяются задачи исследования т.н. мезомасштабных атмосферных явлений (мезомасштабные вихри, тропические и полярные циклоны, тропические депрессии, ураганы), с характерными горизонтальными размерами от 10 до 1000 км.

Приводимые в докладе примеры различной степени сложности и касающиеся зондирования различных сред свидетельствуют, по мнению авторов, о необходимости разработки и полноценного освоения технологии микроволнового радиометрического зондирования с повышенным пространственным и/или радиометрическим разрешениями.

ДЕТЕКТОР МОЛНИЙ ДЛЯ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КА

*В. Е. Квитка, В. О. Прасолов, М. В. Ключников,
А. С. Гаряинов, А. В. Корх,
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС», г. Москва, Зеленоград*

Создание отечественного детектора молний космического базирования является сложной научно-технической задачей. В настоящее время в космосе работают детекторы молний LIS (установлен на МКС) и GLM (геостационарный спутник GOES-R). В НПП «ОПТЭКС» создан эскизный проект детектора молний «Конвергенция», предназначенного для установки на низкоорбитальных КА, в том числе на МКС. Ключевой проблемой регистрации молний из космоса является обнаружение тусклых кратковременных вспышек длительностью 0,5...1 мс на фоне ярких облаков, хорошо отражающих солнечный свет. Вспышка создаёт на верхней границе облаков световое пятно диаметром 15...50 км. Это порождает следующие требования к аппаратуре:

– Наличие узкополосного интерференционного светофильтра ($\Delta\lambda=1,4...2$ нм).

– Необходимость включения в оптическую схему участка, где ход лучей приближен к параллельному. Это минимизирует сдвиг спектра пропускания светофильтра: λ_{\max} при угле падения 4 градуса уменьшается на 0,6...0,7 нм.

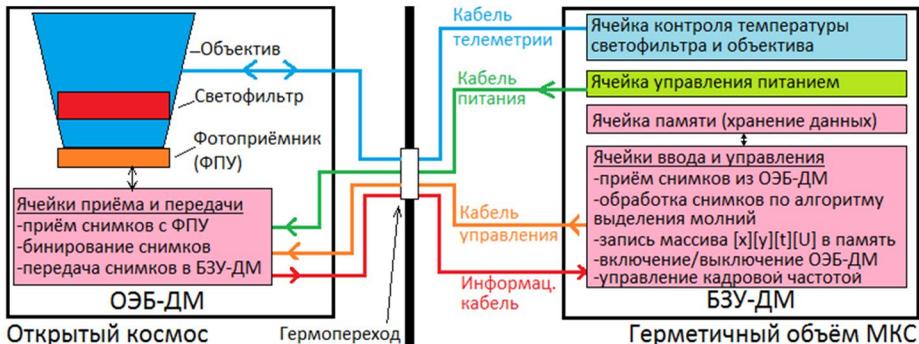
– Высокая чувствительность фотоприёмника в рабочем спектральном диапазоне (777,19...777,54 нм) и светосила объектива.

– Высокая кадровая частота фотоприёмника (не менее 500 Гц).

– Наличие высокоскоростных алгоритмов обнаружения вспышек на снимках.

Детектор молний состоит из двух блоков: камеры ОЭБ-ДМ (на внешней поверхности МКС) и блока БЗУ-ДМ (внутри герметичного объёма МКС), что показано на рисунке. Камера осуществляет съёмку облачности в надир в круглосуточном режиме и передает изображения по кабелям в БЗУ-ДМ. Основные функции БЗУ-ДМ:

– Поиск вспышек молний на снимках в режиме реального времени.



Функциональная схема детектора молний «Конвергенция» для МКС

Характеристики разработанного детектора молний

Параметр		Значение
Рабочая кадровая частота, Гц		1000
Ширина полосы пропускания светофильтра по уровню 0,5; нм		1,7
Проекция кадра с высоты 450 км на рабочей кадровой частоте, км		520*520
Проекция пикселя с высоты 450 км, км		5,42
Погрешность координатной привязки вспышки, км		±5
Погрешность временной привязки вспышки, мс		±0,1
Соотношение сигнал/шум для вспышки молнии с яркостью 10 мкДж/(м ² *ср), не менее	При возвышении Солнца 90 градусов	8
	На ночной стороне витка	34
Вероятность обнаружения вспышки молнии с яркостью 10 мкДж/(м ² *ср), не менее	При возвышении Солнца 90 градусов	0,7
	На ночной стороне витка	0,9
Масса комплекса аппаратуры (ОЭБ-ДМ + БЗУ-ДМ), кг		15
Энергопотребление комплекса (ОЭБ-ДМ + БЗУ-ДМ), Вт		60
Информационный поток, Кбит/с		43

- Координатная и временная привязка изображения вспышек.
- Хранение данных о вспышках и передача их на Землю по радиолинии.

Массив данных о каждой вспышке содержит следующие параметры:

- координаты изображения вспышки на фотоприёмнике;
- момент времени, когда произошла вспышка;
- значения сигналов от молнии и фона (облаков);

– навигационные параметры КА.

Такой набор данных позволяет решить основную задачу комплекса аппаратуры: составление глобальных карт молний, описывающих их распределение по яркости, времени, частоте возникновения.

ГИБРИДНЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Г. И. Вишневецкий, Д. Н. Сергеев, М. В. Четвергов,
АО «НПП «ЭЛАР», г. Санкт-Петербург*

Основным направлением деятельности АО «НПП «ЭЛАР» является разработка и изготовление многоэлементных фотоприемников, как правило, специального назначения. Термин «специальное назначение» подразумевает наличие целого ряда конструкторско-технологических особенностей продукции. Причем, следует особо отметить, что данные особенности сконцентрированы не только в фотоприемном кристалле, изготавливаемом кристалльном производстве.

Помимо единственного в России специализированного кристалльно-го производства ФПЗС, предприятие обладает уникальными производственными возможностями по изготовлению различных гибридных фотоприемников. На данный момент производство может обеспечивать изготовление следующих видов продукции:

- прецизионные бескорпусные фотоприемники для формирования больших фокальных сборок;
- корпусные и бескорпусные фотоприемники сопряженные со спектрональными светофильтрами;
- прецизионные многокристальные сборки;
- корпусные фотоприемники со встроенным термоохладителем на эффекте Пельтье (с охлаждением кристалла до -40°C и ниже);
- корпусные фотоприемники, сопряженные оптоволоконной планшайбой (для контактного сопряжения с источниками излучения);
- фотоприемники, сопряженные с ЭОП.

Безусловно понимая, что фотоприемники специального назначения требуют различного корпусного исполнения и различных способов гибридизации АО «НПП «ЭЛАР» активно развивает это направление с следующих основных направлениях:

- увеличение точностей сборки фотоприемников;

- увеличение формата и физических размеров многокристалльных сборок;
- сопряжение кристаллов мультиплексоров (ПЗС и КМОП) с фотоприемными структурами, чувствительными в различных спектральных диапазонах (от глубокого, вакуумного УФ до среднего ИК).

Приведенные конструктивные решения и технологические возможности позволяют разработчикам аппаратуры в значительной степени расширить спектр применения фотоприемников, оптимизировать массогабаритные и мощностные характеристики, а также повысить уровень простоты и технологичности разрабатываемых систем.

ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЗЗ

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

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

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

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

Помимо ФПЗС ВЗН, для аппаратуры высокого разрешения, АО «НПП «ЭЛАР» разработало и поставляет ФПЗС «Кадр-РП»,

предназначенный для применения в гиперспектральной аппаратуре (ГСА), которой оснащены КА «Ресурс-П».

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

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

– ФПЗС ВЗН «Прибор-ОЭК-9», форматом 6144 и размером ячейки 9 мкм;

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

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

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

В рамках ОКР завершено изготовление и предварительные испытания гибридной, многокристалльной ФПЗС ФЗН сборки. Произведена поставки данных изделий для летной эксплуатации на борту КА. Указанный фотоприемник построен на основе прецизионной сборки

четырёх ФПЗС ВЗН «Круз-6» – самого массового фотоприемника для отечественных космических систем ДЗЗ. В рамках данной ОКР предприятие получило необходимый опыт и знания для дальнейшего развития тематики по изготовлению фокальных плоскостей для спектральной аппаратуры и большего размера. Изготовление подобного рода продукции является одним из приоритетных направлений развития АО «НПП «ЭЛАР». Развитие дальнейших разработок будет направлено на изготовление широкоформатной панхроматической и спектральной аппаратуры ДЗЗ различного размера.

АО «НПП «ЭЛАР» совместно с АО «НПП «Силар» занимается разработкой и изготовлением матричных КМОП-фотоприемников. За период 2015 – 2018 гг. предприятиями совместно было разработано и выпущено два вида фоточувствительных кристаллов, один из них в двух модификациях. Отгружены заказчику корпусированные микросхемы в соответствии с техническими требованиями. Проработаны технические требования и принципиальные части схемотехнических и топологических решений кристаллов для работы в составе гиперспектральной аппаратуры, аппаратуры астроориентации. Ведутся переговоры по разработке микросхем для задач дистанционного зондирования Земли. Были выпущены опытные образцы КМОП-фотоприемников, смонтированных с ЭОП для работы в составе камеры ночного видения.

Полученные результаты позволяют с оптимизмом рассматривать перспективы развития производства фотоприемников данного типа. На данный момент начат ряд работ (как инициативных, так и по договорам со сторонними организациями) по разработке и изготовлению КМОП-фотоприемников для различных сенсорных систем. К тематике данной конференции наибольшее отношение имеет зарабатывающийся на данный момент специализированный КМОП-сенсор для работы в составе бортовой аппаратуры астроориентации.

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕСКОПОВ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

*Д. С. Завгородний,
Г. С. Полищук, М. Н. Сокольский,
АО ЛОМО, г. Санкт-Петербург*

ЛИНЕЙКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ УНИФИЦИРОВАННЫХ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРОВ ВОЗДУШНОГО И КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДЗЗ

*Ю. В. Бажанов, В. А. Бойко, Е. В. Дергаус, Д. А. Страхов,
АО «НПП «Геофизика-Космос», г. Москва*

Реализованные в отечественной практике образцы гиперспектральной аппаратуры воздушного и космического базирования на основе призменных дисперсионных являются довольно громоздкими и массивными приборами. Их целевые характеристики с точки зрения перспективных задач ДЗЗ не являются оптимальными.

В докладе приведены некоторые результаты эскизного проектирования линейки унифицированных компактных гиперспектрометров (ГС), построенных на основе выпуклых дифракционных решеток по т.н. схеме Оффнера, для решения задач ДЗЗ с помощью беспилотных летательных и малых космических аппаратов (БПЛА и МКА) двойного назначения. Характерные примеры технических характеристик (ТХ) таких ГС представлены в таблице.

Все разработанные ГС включают в себя унифицированный спектрометр по схеме Оффнера со светосилой 1:4, работающий в спектральном диапазоне $0,2 \div 2,5$ мкм со спектральным разрешением до 2 нм.

Для различных параметров схем наблюдения для формирования изображения на спектральной щели спектрометра Оффнера из состава ГС используются сменные зеркальные объективы со следующими параметрами:

- спектральный диапазон $0,2 \div 2,5$ мкм;
- светосила 1:4;
- фокусное расстояние от 24 мм (для высот полета носителя $\sim 0,1$ км) до $500 \div 1000$ мм (для высот полета носителя ~ 400 км) и угловое поле, соответственно, от 50° до $4,6 \div 2,3^\circ$.

Идеальным было бы использование многоэлементного фотоприемника (МФП) с полным рабочим спектральным диапазоном ГС ($0,2 \div 2,5$ мкм). Однако, в отечественной практике такие МФП в настоящее время отсутствуют.

Поэтому пока приходится обходиться МФП с меньшими рабочими спектральными диапазонами (см. пример в таблице).

Адаптация спектрометра к используемому МФП осуществляется без изменения конструкции ГС путем коррекции параметров выпуклой дифракционной решетки.

Примеры ТХ унифицированных ГС

Наименование параметра	Обозначение	Значение		
Объектив из состава ГС				
Тип объектива	–	Схема Кука	Схема Корша	
Угловое поле, угл. град.	2θ	50	4,6	2,3
Фокусное расстояние, мм	f	24	500	1000
Диаметр входного зрачка, мм	$2a$	6	125	250
Диафрагменное число	$K = f/2a$	4		
Диаметр пятна рассеяния, мкм	$\Delta\theta$	20		
Спектральный диапазон, мкм	$\Delta\lambda_{об}$	0,2÷2,5		
Масса объектива, кг	$M_{об}$	~1,5	~7	~15
Спектрометр по схеме Оффнера из состава ГС				
Спектральный диапазон, мкм	$\Delta\lambda_{сп}$	0,2÷2,5		
Ширина спектральной щели, мкм	20	20		
Высота спектральной щели, мм	$h_{щ}$	20		
Спектральное разрешение, нм	$\Delta\lambda$	2		
Масса спектрометра, кг	m	2,7		
Многоэлементный фотоприемник (МФП) из состава ГС				
Тип МФП	–	КМОП		
Спектральный диапазон, нм	$\Delta\lambda_{МФП}$	0,2÷1,0		
Формат МФП, пиксель × пиксель	–	2048×2048		
Размеры пиксела МФП, мкм	$\Delta a_{МФП}$	11×11		
Параметры схемы наблюдения				
Высота полета, км	H	0,1	400	
Размеры пиксела объекте, м	$\Delta A_{об}$	0,04	8,8	4,4
Ширина захвата, км	–	0,12	16	8
Пространственное разрешение, м	Δr	0,088	16	8
Скорость полёта носителя, км/с	V	0,011÷0,033	7,6	

СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ОБРАБОТКА ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ВЫСОТОМЕРА

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

Спутниковый радиовысотомер является важнейшим компонентом миссий по дистанционному зондированию Земли из космоса. Современный высотомер способен измерять высоту орбиты спутника с точностью порядка нескольких сантиметров. Результаты измерений в дальнейшем используются для уточнения формы геоида, изучения течений и вихрей в Мировом океане, определения степени взволнованности моря и характеристик приповерхностного ветра и т.п. В настоящее время лидерство в разработке и производстве этих высокотехнологичных приборов удерживают страны Европейского союза и США. Таким образом, имеется насущная необходимость в создании отечественного спутникового радиовысотомера, не уступающего лучшим мировым аналогам.

В современных проектах спутникового зондирования итоговое извлечение необходимой информации из альтиметрических данных состоит из нескольких этапов и возлагается на наземный комплекс. На стадии дообработки (*retracking*) предварительные оценки измеряемых параметров, переданные с борта космического аппарата, уточняются с использованием тех или иных процедур сглаживания, тогда как в задаче постобработки (*postprocessing*) входит учет разнообразных физических факторов, потенциально снижающих достоверность полученных результатов.

В данной работе исследуются типы дискриминаторов, используемые на этапе дообработки, и рассматриваются алгоритмы подгонки параметров модели эхо-сигнала альтиметра под результаты наблюдений.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ РАДИОЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ КА ДЗЗ – ЗЕМЛЯ

*С. И. Мартынов, А. К. Гончаров, А. В. Табенков,
НЦ ОМЗ АО РКС, г. Москва*

Линия передачи информации КА ДЗЗ – Земля является единым комплексом аппаратуры, состоящим из бортового и наземного сегментов, и выбор характеристик бортового сегмента однозначно определяет требования к характеристикам наземного сегмента. Этим в свою очередь, определяется круг потребителей информации ДЗЗ от конкретного КА. Иностранные разработчики КА ДЗЗ это давно поняли, и, работая в условиях рыночной системы, выбирают параметры бортового сегмента таким образом, чтобы обеспечить информацией наибольшее число потребителей, не нарушая при этом ограничений, налагаемых Регламентом радиосвязи; отечественные разработчики пока не учитывают это в своих разработках. Это привело к тому, что отечественные потребители информации ДЗЗ, имеющие возможность выбора, предпочитают информацию с зарубежных КА.

В докладе приводятся результаты расчёта плотности потока мощности (ППМ) для ряда отечественных и зарубежных КА ДЗЗ. Показано, что отечественные КА имеют существенно больший разброс этого параметра, что приводит к необходимости иметь большое количество вариантов приёмных станций (в отличие от зарубежных КА ДЗЗ, для приёма которых достаточно двух вариантов: с антенной диаметром 2,5 метра, которая принимает информацию с большинства КА ДЗЗ, и с антенной диаметром 3,8 метра, которая принимает информацию со всех КА)

В докладе также приводится методика и результаты экспериментальных измерений ППМ от отечественных КА типа «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М». Показано удовлетворительное совпадение экспериментальных результатов с расчетными.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОНТЕКСТНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ СЖАТИЯ
ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

А. А. Дудкин¹, Д. Ю. Перцев²,

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

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

Алгоритм сжатия гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли, разработанный в рамках проводимых исследований, включает следующие этапы обработки:

- получение данных от спектрометра;
- параллельная предобработка спектральных каналов, задачей которой является понижение степени избыточности данных в пространственной области;
- понижение степени корреляции в спектральной области.

В результате выполнения представленной последовательности операций полученные значения представляют собой распределение Лапласа. После преобразования к экспоненциальному распределению динамический диапазон допустимых значений (радиометрическое разрешение) увеличивается в 2 раза, таким образом, максимальное значение становится равным $2^{13} - 1 = 8191$ (при условии, что входные данные 12 битные). Однако анализ гистограмм (для тестирования использовались снимки AVIRIS) показывает, что основное число элементов не превышает 255, а второй байт (биты с 8 по 13) является нулевым.

С целью минимизации потока данных, выполняются следующие преобразования:

- если число меньше 256 (1 байт) – оно записывается в выходной файл;

– если число больше или равно 256 (т. е. для его хранения требуется более одного байта) – в выходной поток записывается код 0×01 и далее само значение.

При восстановлении оригинальной последовательности выполняется побайтное чтение данных. Каждый прочитанный байт интерпретируется как 2-байтный элемент. Если встретился код $0x01$, выполняется чтение 2 следующих байт и восстанавливается как один элемент (см. рисунок).

После оптимизации выходного потока применяется один из 3 алгоритмов, использующих контекстное моделирование: классический арифметический кодек, адаптивный код Хаффмана либо QM-кодек.

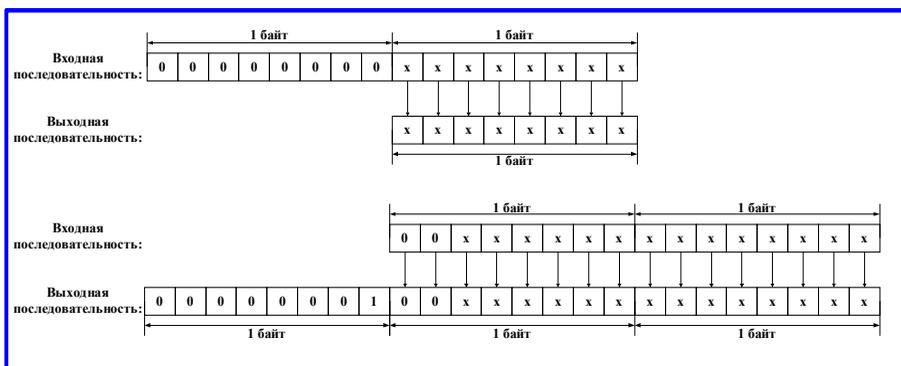


Схема преобразования входного потока

Достоинствами данного подхода является универсальность алгоритма сжатия, т. е. возможность применения к 2 основным типам представления гиперспектральных данных – 3-мерному кубу и к Фурье-интерферограммам, относительно низкая вычислительная сложность основной последовательности действий, что позволяет реализовать ее в условиях летательного аппарата (например, спутника). Аппаратная реализация адаптивного кодирования Хаффмана затруднена из-за затрат на постоянный перерасчет таблицы кодов. Решением данной проблемы является исследование достаточно обширной выборки данных и формирование статической таблицы кодов.

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ СПУТНИКОВЫХ РАДИОМЕТРОВ ПО IN SITU ДАННЫМ НА ПРИМЕРЕ ПРИБОРОВ MODIS/AQUA И МСС/«КАНОПУС-В»

В. А. Качур^{1,2}, А. И. Алексанин¹, С. Е. Дьяков¹,

*¹Институт Автоматики и Процессов Управления
Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток*

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Целью работы является проведение калибровки спутникового радиометра, посредством прямых расчетов регистрируемого спутником излучения. Не сложно провести подспутниковые измерения подстилающей поверхности. Основным препятствием для верификации спутниковых данных цветности будут являться оценка вклада атмосферы в сигнал, принятый спутником.

Основная идея состоит в том, чтобы с помощью радиометра произвести измерения восходящего из воды излучения непосредственно над морской поверхностью, а также определить характеристики атмосферного аэрозоля и оптическую толщину атмосферы. Далее по полученным данным рассчитать суммарное излучение от океана и атмосферы, достигшее спутникового сенсора и сравнить с показаниями самого спутника.

В качестве *in situ* данных использовались данные сети станций AERONET. На станциях AERONET с помощью комплекса SeaPrism рассчитывается нормализованное восходящее из воды излучение, оптическая толщина атмосферы, характеристики атмосферного аэрозоля (фактор асимметрии, альbedo однократного рассеивания). На основе данных AERONET и геометрии расположения спутникового сенсора и Солнца рассчитывается излучение $L_t(\lambda)$, достигшее спутника. Алгоритм расчета $L_t(\lambda)$, основан на оптических протоколах NASA с учетом современных достижений в этой области. Для каждого спектрального канала спутника рассчитывается центральное волновое число. Затем, при необходимости, $L_t(\lambda)$ пересчитывается для таких длин волн λ , которые соответствуют центральным волновым числам каналов спутникового радиометра.

Прежде чем верифицировать данные МСС/Канопус-В, алгоритм был протестирован на данных радиометра MODIS спутника Aqua для каналов видимого спектра. Полученные рассогласования укладывались в десятипроцентный интервал. Разброс значений часто был обусловлен несинхронность измерений на станциях AERONET.

Рассмотрены проблемы калибровки данных спутников серии Канопус-В, обусловленные значительной шириной спектрального диапазона каналов бортового радиометра, а также несовпадением их центральных волновых чисел с подспутниковыми измерениями. Получены оценки точности калибровок за 2016 и 2018 гг.

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВОЗМОЖНОМУ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЛИКУ
УЗЛА ЕТРИС – ЦЕНТР ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО УРОВНЕЙ**

*А. Н. Черный,
«Научно-исследовательский институт
космических систем им. А. А. Максимова» –
филиал ОА «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Королев*

В современных условиях все отчетливее просматривается тенденция к изменению парадигмы информационного обеспечения решений управленческих задач в органах исполнительной власти регионально-муниципального уровней (ОИВРМУ), через замену пассивной формы поиска и получения готовых информационных продуктов из хранилищ внешних информационных ресурсов, активным участием ОИВРМУ в производстве требуемых, специфических для региона/муниципалитета, информационных продуктов (ИНФПРО) с использованием как собственных аппаратно-программных средств, так и внешних информационных и вычислительных ресурсов, объединенных в ЕТРИС.

В этой связи актуализируется задача интеграции ОИВРМУ в структуру ЕТРИС в качестве её иерархического узла. В качестве такого узла может, например, рассматриваться обозначенный на схеме ЕТРИС «ЦПОД органов управления федерального и муниципального уровней» (ЦПОД ОИВРМУ).

Такой ЦПОД ОИВРМУ должен позволять решение следующих основных задач:

- прием необходимых для производства ИНФПРО массивов информации, включая «сырые» файл-потоки, не исключая непосредственного приема результатов съемки от КА ДЗЗ в соответствии с заранее поданной заявкой;
- предварительную, первичную и тематическую обработку данных ДЗЗ в интересах производства ИНФПРО;
- поиск во внешних, объединенный в ЕТРИС, ресурсах базовых продуктов обработки данных ДЗЗ (БИП), которые будут использованы для производства ИНФПРО;
- производство ИНФПРО в соответствии с информационными потребностями решаемых ОИВРМУ управленческих задач;
- создание и ведение баз данных и обеспечение удобного доступа к ним, в том числе удаленного;

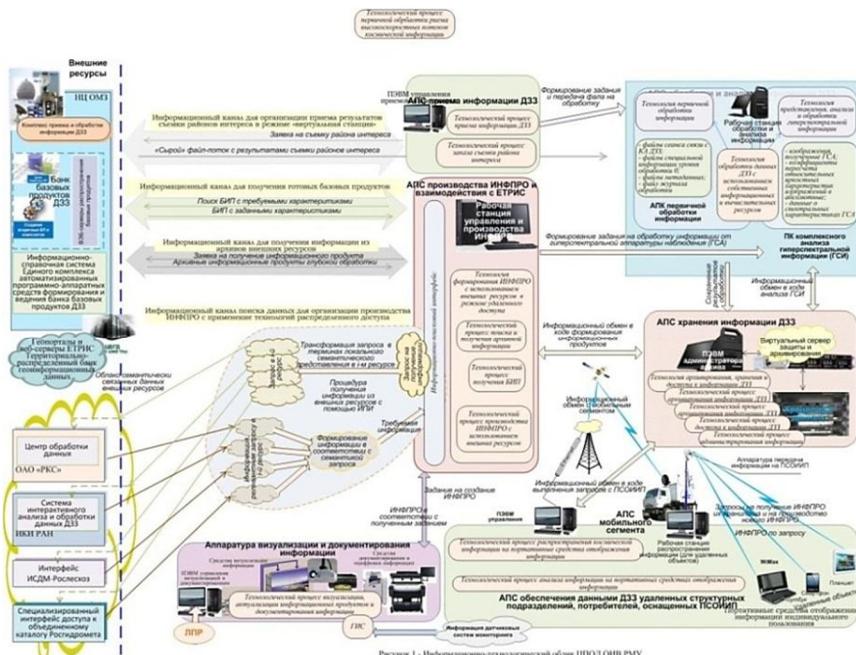


Рис. 1. Информационно-технологический облик ЦПОД ОИВ РМУ

– документирование и удобное для зрительного восприятия представление ИНФПРО с использованием средств отображения информации коллективного и индивидуального пользования;

– распространение ИНФПРО удаленным структурным подразделениям ОИВРМУ (удаленные объекты), включая мобильные пункты и ситуационные центры.

Применительно к решению перечисленной совокупности задач предлагается информационно-технологический облик ЦПОД ОИВРМУ (ИТО), приведенный на рис. 1.

Следует заметить, что в ИТО предусматривает наличие информационно-поискового интерфейса, позволяющего вести поиск БИП на всей совокупности объединенных в ЕТРИС ресурсов на основе обеспечения их семантической интероперабельности. В этой связи возникает задача интеграции ресурсов, решение которой предлагается на основе такого объединения ресурсов («соединении» баз данных (БД) и механизмов обработки данных ДДЗ), при котором пользователю предоставлялся бы единый (унифицированный) интерфейс доступа к этим ресурсам, позволяющий вести поиск БИП или иной информации ДЗЗ, извлекать их из БД ресурсов по запросу или формировать нужную информацию с использованием предоставляемого интегрируемыми ресурсами инструментария. При этом эта интеграция позволяла бы освободить пользователя от необходимости самостоятельного отбора ресурсов, в которых находится необходимая информация, последовательного обращения к каждой из их БД для извлечения информации и ручного сопоставления и объединения данных, полученных из различных ресурсов.

В этой связи поиск информации в интегрируемых ресурсах должен осуществляться с учетом не только структуры БД, но и смыслового их наполнения т. е. с учетом семантической составляющей.

В качестве одного из перспективных подходов к решению подобной задачи может рассматриваться подход на основе использования технологии связанных данных и метаданных. Эта технология позволяет связать между собой распределенные данные с учетом их семантики, чем облегчить процедуры поиска данных, обращении к ним и их изъятия. Такая технология может быть сформирована на основе онтологий, что позволит создать единое пространство связанных семантически между собой информационных ресурсов, и тем самым создать

единый унифицированный интерфейс для доступа к данным, изначально хранящимся в БД различных информационных ресурсов, реализуя виртуальный подход к их интеграции.

Информационно-поисковый интерфейс должен предоставить потребителю некий геопортал с набором инструментария, позволяющего трансформировать запросы потребителя в процедуру обращения к интегрированным ресурсам и получать релевантную запросу информацию.

Таким образом предлагаемый ИТО будет способствовать уровня извлекаемости информации из данных ДЗЗ и оперативности ее доведения до потребителей, что приведет к повышению эффективности использования данных ДЗЗ на регионально /муниципальном уровнях.

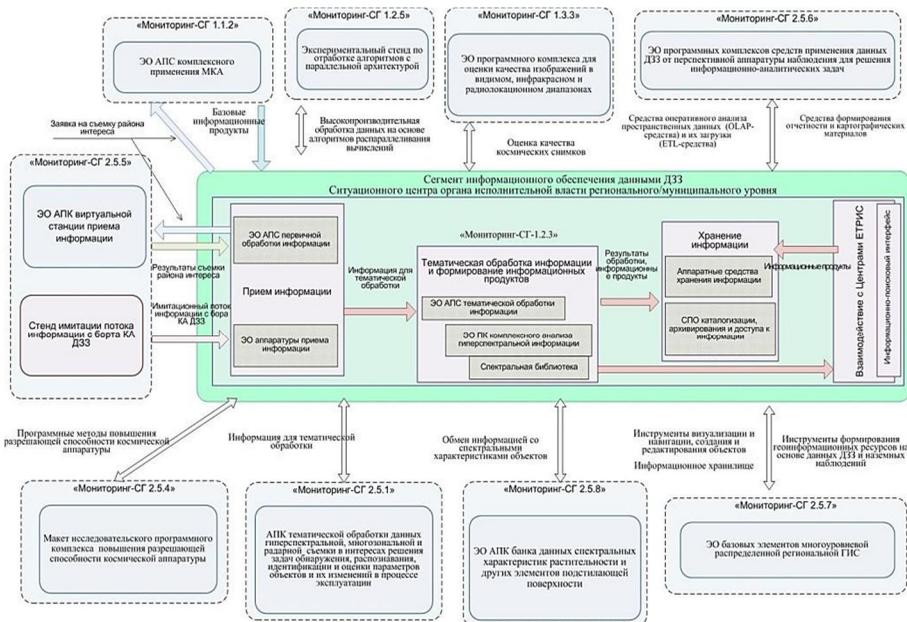


Рисунок 2 - Интеграция результатов составных частей НИР «Мониторинг-СГ» в интересах создания КАПС ЦПОД ОИВ РМУ

Рис. 2. Интеграция результатов составных частей НИР «Мониторинг-СГ» в интересах создания КАПС ЦПОД ОИВ РМУ

ИТО может быть заложен в основу разработки комплекса аппаратно-программных средств (КАПС), позволяющих реализовать полный цикл производства ИНФПРО и предназначенных для оснащения ЦПОД ОИВРМУ.

Научный потенциал для создания КАПС накоплен в процессе выполнения ряда СЧ НИР (рис. 2), проведенных в рамках программы Союзного государства «Мониторинг-СГ», выполнение которой завершилось в 2017 г.

**РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АСПЕКТЕ
ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЧС РОССИИ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

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

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

В настоящее время наблюдается значительный рост актуальности применения геоинформационных систем (геопорталов) для обеспечения различных областей экономики, бизнеса и т. п. В составе СКМ ЧС функционируют 2 геоинформационные системы – ГИС «Каскад» и ГИС «Космоплан». Данные геопорталы применяются для сбора, хра-

нения, поиска и представления пространственных данных в аспекте предотвращения и мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Основным источником информации (космических снимков) является отечественная группировка космических аппаратов и систем дистанционного зондирования Земли. Также в процессе функционирования СКМ ЧС активно применяются открытые сервисы, предоставляющие данные дистанционного зондирования Земли (например, данные с космической системы Sentinel – <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, Landsat – <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Использование данных дистанционного зондирования Земли позволяет повысить эффективность оценки, планирования и принятия управленческих решений в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция роста объёма получаемой информации. Также существует необходимость хранения уже имеющейся информации и обеспечение оперативного доступа к ней.

Существует проблема в организации эффективной системы сбора, обработки и хранения информации, которая позволяет значительно снизить время на «накладные» расходы, связанные с техническими возможностями аппаратных средств (время чтения и скорости жёстких дисков, скорость передачи по компьютерной сети и т. п.).

В докладе кратко описан анализ применения информационных систем СКМ ЧС, а также предлагается подход по организации функционирования информационных систем СКМ ЧС, основанный на применении распределённого хранения и обработки информации (с использованием парадигмы MapReduce). Реализация данного подхода позволит повысить оперативность доступа к данным, а также эффективность организации хранения и обработки данных (в первую очередь – снизить экономические затраты на организацию хранилищ данных, а также времени обработки данных).

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СОВМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ АППАРАТУРОЙ «ГЕОТОН»

*А. И. Алексанин, М. А. Морозов, Е. В. Фомин,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Владивосток*

Рассматривается задача автоматического совмещения изображений высокого пространственного разрешения (0,7 м) с пиксельной точностью. Совмещение основано на разбиении изображений на фрагменты, построения аффинного преобразование фрагментов первого изображения во второе, и получения набора корректных векторов-смещений.

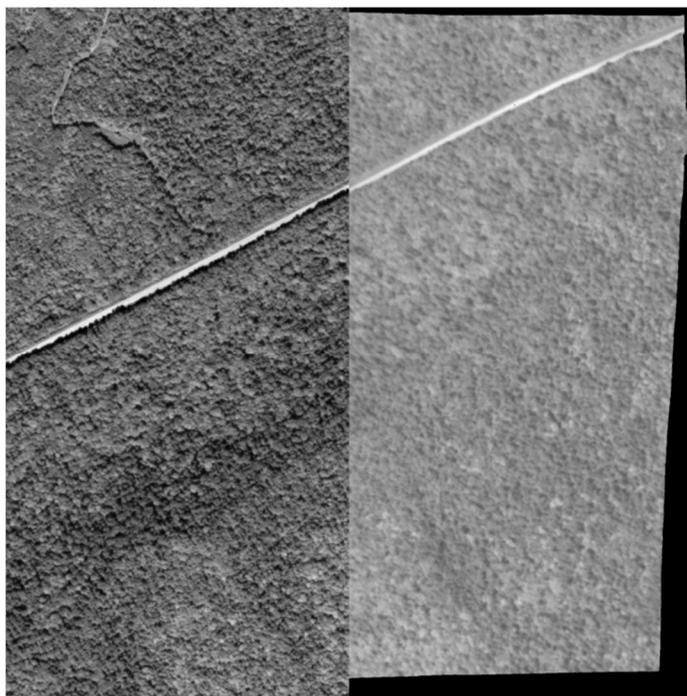


Рис. 1. Пример совмещенных изображений аппаратуры «Геотон» (панхром) за 10 (слева) и 25 августа 2015 г. Работа поддержана грантом РФФИ № 17-05-41152

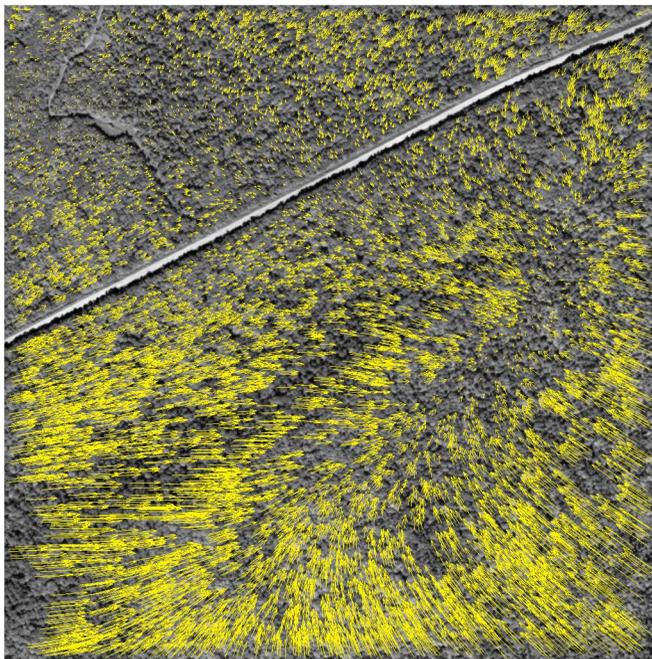


Рис. 2. Изображение лесного полога за 14.09.2015, «Геотон», ортофото-план. Желтые вектора – смещения изображения за 10.08.2015, не прошедшего географическую привязку и построение ортофотоплана. Изображение снято под углом 33° Сопки с перепадами высот до 250 метров. Вектора смещений достигают 150 пикселей

Последние используются для совмещения изображений. Детально алгоритм описан в работе А. И. Алексанин, С. М. Краснопеев, М. А. Морозов, Е. В. Фомин Совмещение изображений с российских спутников Ресурс-П // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2018. (в печати). Алгоритм имеет значительное количество настраиваемых параметров, от корректности задания которых существенно зависит качество получаемых совмещений.

В настоящее время создана автоматическая процедура, которая проводит оптимальное разбиение изображений и настройку параметров для расчета корректных векторов, последующего совмещения полных изображений и построение карты точности проведенного совмещения. На рис. 1 и 2 приведен пример совмещения «плохих» изоб-

ражений лесного полога: первое, снятое почти в надир, прошло географическую привязку и построение ортофотоплана. Второе, снятое под углом в 33°, без какой-либо обработки. Точность совмещения лежала в пределах двух пикселей. Плохое совмещение получается только на дороге, уровень которой ниже уровня лесного полога, что критично при значительных углах съемки.

ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

В. С. Захарченко¹, М. Г. Красногорский², С. А. Мишин¹
¹Филиал АО «Концерн «Вега» в г. Санкт-Петербурге
²АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов

Космические комплексы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), имеющие в своем составе радары с синтезированной апертурой антенны (РСА), обеспечивают реализацию режимов детального радиолокационного наблюдения объектов надводной и наземной обстановки. Потребность применения таких средств ДЗЗ обусловлена рядом их ключевых преимуществ и достигнутыми характеристиками:

Вместе с тем использование космических средств, оснащенных РСА, для решения задач мониторинга земной поверхности вызывает ряд проблем, связанных с обработкой получаемой информации, в том числе, традиционными методами визуального дешифрирования.

Наиболее сложной проблемой применения космических средств ДЗЗ с РСА является обнаружение и классификация на полученных детальных радиолокационных изображениях объектов на различных фонах. В связи с этим эффективное решение задач мониторинга невозможно без создания соответствующих технологий автоматизированной комплексной обработки разночастотных радиолокационных данных для автоматического обнаружения и классификации объектов.

Перспективным путем решения обозначенной проблемы является автоматизация рутинных операций фотограмметрической обработки радиолокационных изображений и интеллектуализация процесса их дешифрирования. Основным элементом интеллектуальных систем обработки является программное обеспечение, решающее задачу автома-

тического обнаружения требуемых объектов на изображениях и отнесения их к известным классам или типам.

В настоящее время, в связи с существенным повышением производительности средств вычислительной техники и по результатам сравнительной отработки различных методов обнаружения и классификации объектов на изображениях установлена целесообразность использования сверточных нейронных сетей глубокого обучения.

Технологический цикл обработки радиолокационных изображений, включая автоматическое обнаружение и классификацию объектов, реализован в программном изделии «Вега-Контур», разработанном СПбФ АО «Концерн «Вега».

Технологии обработки были апробированы на изображениях, полученных РСА космического аппарата «Кондор-Э» в режим детального наблюдения.

Результаты проведенных экспериментальных исследований с использованием программного изделия «Вега-Контур» и данных РСА космического аппарата «Кондор-Э» показали следующее:

- обучение нейронной сети может производиться по натурным портретам (изображениям) объектов;

- при наличии достаточного количества данных для обучения нейронная сеть обеспечивает вероятность правильного обнаружения объектов не менее 0,9 и вероятность правильной классификации объектов не менее 0,85;

- подготовка портретов объектов и обучение нейронной сети представляют собой сложный, трудоемкий итерационный процесс, требующий привлечения высококвалифицированных специалистов в данной предметной области;

- процесс обучения и верификации нейронной сети требует значительных вычислительных ресурсов и занимает от десятка часов до нескольких суток;

- процесс автоматического обнаружения и классификации объектов на изображениях большого объема или последовательности изображений с использованием обученного профиля нейронной сети выполняется в несколько раз быстрее по сравнению с процессом визуального дешифрирования. Время обработки радиолокационного изображения с аппарата «Кондор-Э» размером 19000 × 17000 пикселей на вычислительных средствах IntelI7, RAM 24GB, NVidia770M составляет около 80 секунд;

– практически подтверждена целесообразность применения технологии автоматического обнаружения и классификации объектов на основе сверточных нейронных сетей глубокого обучения для повышения оперативности дешифрирования больших массивов радиолокационных данных и снижения нагрузки на операторов-дешифровщиков.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

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

Отношение сигнал/шум (ОСШ) является важным параметром, характеризующим качество работы целевой аппаратуры (ЦА) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В настоящее время существует ряд методов, позволяющих оценить отношение сигнал/шум спутниковых изображений земной поверхности.

В результате анализа и апробации наиболее распространённых и используемых на практике методов определения ОСШ были выявлены определённые недостатки их применения, например, необходимость выделения областей на изображении оператором в интерактивном режиме или наличие различных эмпирических коэффициентов, влияющих на результаты оценки ОСШ и вызывающих трудности при попытке определения их оптимального значения. В целях устранения этих недостатков было принято решение разработать новую методику на основе рассмотренных. Основными критериями при этом являются достоверность результата и простота использования даже неквалифицированным пользователем.

За основу разрабатываемой методики взят метод однородных областей. При этом поиск однородных областей на изображении происходит в автоматическом режиме небольшими окнами. По найденным областям производится оценка СКО шума, уровень сигнала оценивается по всему изображению. Разработанная методика проверена на специально сформированных тестовых изображениях.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

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

Объектом измерения методики является линейное разрешение на местности (ЛРМ) – наименьший размер объекта на местности, ещё воспроизводимый конкретным снимком, для оценки которого авторы используют *резкие края*. В качестве подобных объектов могут служить как специально созданные (окрашенные или выполненные из тёмной и светлой брезентовой ткани – тестовые миры), так и уже существующие природные и антропогенные объекты: поля, автостоянки, переходные участки между землей и водой, водой и шельфовым льдом и т. д.

Представленная авторами методика относится к классу косвенных измерений и базируется на применении математического аппарата преобразования Фурье к функции рассеивания линии (ФРЛ) скачка яркости в пределах исследуемого фрагмента изображения. На основании полученного спектра формируется частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), по которой определяется линейное разрешение снимка. Тем не менее, по результатам анализа научно-технической литературы, авторами отмечено отсутствие единого мнения по вопросам применения зашумленных ФРЛ, пороговых характеристик или уровней контраста на графиках ЧКХ, необходимых для получения предельной пространственной частоты снимка, что может приводить к неверной оценке итогового ЛРМ.

Рассмотрены несколько основных методов получения функции рассеивания линии из резкого края для построения ЧКХ. Показано, что аппроксимация функции рассеивания края (ФРК) с помощью синтетической сигмоид-функции позволяет наилучшим образом описать пограничный переход и сократить влияние шумовой составляющей в пределах выбранного фрагмента изображения. Продемонстрирован метод оценки шумов в пределах полков резкого края, используемых для формирования пороговой характеристики. Разработан прототип программного средства для выполнения оценок ЛРМ космических снимков в ручном и автоматическом режиме как с использованием индекса полной ширины на половине амплитуды (FWHM) ФРЛ, так и с применением предельно.

СИНТЕЗ НЕПРЕРЫВНОГО ОПОРНОГО РАСТРОВОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ РАЗНОВРЕМЕННЫХ СНИМКОВ

А. С. Рыжиков,

Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань

Для функционирования процедуры автоматического контроля и уточнения геодезической привязки необходимо наличие опорных данных – растрового покрытия. Способ предварительной обработки и организации опорных снимков прямо влияет на надежность и скорость работы этой процедуры. Выделим проблемные вопросы, затрудняющие эксплуатацию непосредственно исходных снимков в качестве опорного покрытия.

Во-первых, снимки от ряда КА высокого пространственного разрешения (например, ALOS) поставляются в виде растровых изображений без маски облачности. Наличие большого количества облачных объектов пропорционально замедляет поиск одноименных точек на опорном и анализируемом изображениях – ключевой этап процедуры уточнения геодезической привязки. В связи с этим важной задачей является детектирование облачных объектов и построение их векторной маски. Для решения этой задачи предлагается задействовать механизм «чистого неба», который позволяет осуществлять детектирование облачных объектов в перекрывающихся частях снимков на основе порогового отсеечения ярких объектов, отсутствующих на других снимках.

Во-вторых, использование в качестве опоры отдельных снимков крайне неэффективно. Район съемки анализируемого изображения может соответствовать области перекрытия двух и более опорных снимков. Доступ к фрагментам разных снимков или синтез непрерывного опорного растра «на лету» затрудняет и замедляет процесс поиска одноименных точек.

Для обеспечения возможности быстрого доступа к требуемым фрагментам предлагается предварительно трансформировать растровые данные в непрерывную картографическую проекцию, выполнять их разбиение на тайлы и хранить в БД с пространственными индексами. Опорное покрытие помимо собственно растра должно включать глобальную ЦМР и векторную маску крупных водных объектов, обеспечивать возможность непрерывной актуализации этих данных.

Изучена возможность применения свободно распространяемых программных решений для организации опорного покрытия

(GeoServer, MapServer). Однако эти программные решения ориентированы на визуализацию картографических данных при интерактивной работе, с чем связан ряд проблем. Так, например, процессе доступа к требуемому фрагменту растра происходит многократное кодирование / декодирование растровых данных, что значительно увеличивает время доступа к данным. Кроме того, штатные средства GeoServer и MapServer не позволяют создавать непрерывное изображение из отдельных снимков с учетом векторной маски облачных объектов.

В связи с указанными проблемами для организации опорного покрытия разработано специализированное решение, ориентированное на обеспечение максимальной скорости доступа к опорным данным и допускающее расширение в части предварительной обработки исходных снимков, в т. ч. выделения облачности.

МОДЕЛИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ВИДЕОДАННЫХ ОТ КАДРОВЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

*М. В. Новиков¹, А. Е. Кузнецов², В. А. Зенин²,
¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

²Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань

Относительные радиометрические искажения на изображениях, формируемых кадровыми съемочными системами ДЗЗ, проявляются в увеличении яркости каждого микрокадра в направлении кадровой развертки всего мозаичного снимка. Иными словами, яркость микрокадра уменьшается с увеличением номера строки. Это явление вызвано особенностями работы ПЗС-матриц сканера в режиме ВЗН, в соответствии с которым суммирование сигналов осуществляется в регистровой матрице. В эту матрицу передаются сигналы от ПЗС-приемников для всех этапов фоторегистрации, число которых задается количеством строк накопления заряда. Считывание информации выполняется из последней строки матрицы, в которую последовательно переносятся сигналы из предыдущих строк. Из-за такого считывания сигнала при перезаписи ($n - 1$)-й строки в n -ю, в строке с номером $(n - 1)$ остается небольшой сигнал ε_{n-1} , который суммируется с $(n - 2)$ -й строкой. В результате такого суммирования яркости первых строк микрокадра возрастают по отношению к последним.

Анализ показал, что традиционные методы радиометрической калибровки по однородным по яркости полигонам, хорошо зарекомендовавшие себя для линейных ПЗС-матриц, не позволяют получить корректирующие коэффициенты, обеспечивающие компенсацию возникающих искажений. Причина заключается в том, что уровень искажений зависит от яркости наблюдаемой сцены и может, в зависимости от сюжета, изменяться в пределах микрокадра. Такая специфика делает актуальными разработку новых методов относительной радиометрической коррекции изображений от кадровых ПЗС-матриц, работающих в режиме ВЗН.

В докладе рассматриваются две модели относительной радиометрической коррекции данных от кадровых ПЗС-матриц: аналитическая и регрессионная. Аналитическая модель основана на математических соотношениях, описывающих возникающие в процессе съемки яркостные искажения реального сигнала $b_0(m, n)$:

$$b(m, n) = b_0(m, n) + \alpha \int_0^n b_0(m, n) dn,$$

где α – масштабный множитель, зависящий от числа шагов ВЗН.

Корректирующая функция находится путем обращения данного соотношения и в общем виде представляется уравнением

$$\hat{b}(m, n) = F^{-1}[b(m, n)].$$

Регрессионная модель основана на анализе перекрывающихся частей микрокадров и гипотезе, что общая область n -го микрокадра искажена по отношению к аналогичной области $(n + 1)$ -го микрокадра. В этом случае корректирующая функция представляется в виде полинома:

$$F^{-1}[b(m, n)] = a_0 + a_1 b(m, n) + a_2 [b(m, n)]^2.$$

Приводятся результаты сравнительного анализа двух моделей при радиометрической коррекции микрокадров от датчиков МСС и ПСС КА «Канопус-В» № 1. Делаются выводы о направлениях дальнейших исследований.

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

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА СЕВЕРНЫХ
АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РФ ДЛЯ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ**

*Ю. Г. Кутинов^{1,2}, А. Л. Минеев¹, З. Б. Чистова¹, Е. В. Полякова¹,
¹ФИЦКИА им. ак. Н. П. Лаверова РАН, г. Архангельск
²САФУ им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск*

Создание цифровых моделей рельефа (ЦМР) связано со значительными затратами средств и времени. В то же время с помощью «открытых» ЦМР можно получать исходные материалы в масштабе до 1:25 000. Т. е., для глобального и регионального уровней геоэкологических исследований возможно использование ЦМР свободного доступа. Нами было проведено сравнение распространяемых свободно ЦМР – SRTM 3, SRTM-30, ASTER GDEM v.2, GTOPO30, ACE2, ETOPO2 и GMTED2010. Наиболее точными по разрешению являются SRTM и ASTER GDEMv2. Первая из них в значительной степени «очищена» от артефактов и пустот, но не покрывает полностью исследуемую территорию. Модели GTOPO30, GMTED2010, ACE2, ETOPO и др. имеют более «грубое» разрешение и достаточно неоднородны по используемому исходному материалу, что влечет за собой меняющуюся точность по площади. Наиболее оптимальной (имеющей детальное пространственное разрешение в сочетании с точностью по высоте и «однородностью» исходного материала) является ASTER GDEMv2. Подготовка ЦМР территории состояла из следующих операций: 1) извлечения и объединения данных; 2) замены аномальных значений высотных отметок и «пустот»; 3) устранения шероховатостей, шума и ошибок; 4) заполнения впадин. Все операции производились в свободном программном продукте SAGA GIS. С помощью модуля Clip Grid with Polygon из ASTER GDEMv2 были извлечены данные на область исследования. Для заполнения недостающих данных в ЦМР ASTER GDEM v2 нами были использованы данные из ЦМР GMTED2010 с

искусственно уменьшенным размером ячейки до 1^м. Для обнаружения выбросов анализировались методы: среднеквадратического отклонения; Z-Score; модифицированный метод Z-Score; абсолютного медианного отклонения; правила медианы. В результате был написан сценарий (язык программирования Python), позволяющий рассчитывать вероятные диапазоны значений (и отбрасывать выбросы) по всем из пяти методов. Для устранения шероховатостей, шума и ошибок наложения снимков использовался модуль DTM Filter и были устранены погрешности на границах между областями с разным размером стэка и в областях, где размер стэка мал. Для сглаживания цифровой модели рельефа был применен фильтр Smooth. Алгоритм подготовки цифровой модели рельефа отражен на рисунке.



Алгоритм методики подготовки корректной цифровой модели рельефа на основе ЦМР ASTER GDEMv2 для расчета геоморфометрических параметров. Цветом выделены авторские сценарии выбора метода выделения участков с аномальными высотами и расчета плотности гидросети

Для проверки точности полученной ЦМР использовались открытые векторные данные ГИС Панорама, полученные оцифровкой топокарт масштаба 1:50 000. В большинстве высотных отметок (~74 %) абсолютная разность по высоте не превышает 10 метров. Таким образом, на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) ASTER GDEMv2 создана корректная ЦМР территории для количественной оценки морфологии рельефа и специфики эрозионных процессов.

На основе созданной цифровой модели рельефа и современных ГИС-технологий были рассчитаны геоморфометрические параметры рельефа и проведена количественная оценка современных эрозионных процессов и возможность накопления загрязняющих веществ.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН № гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ СНЕГА ПО ДАННЫМ МСУ-МР/ «МЕТЕОР-М» № 2

*К. И. Зубкова, Л. А. Гришанцева,
Т. Г. Куревлева., А. А. Скрипчук,
НЦ ОМЗ АО РКС, г. Москва*

Одним из этапов целевого применения российской ОГ КА ДЗЗ является информационное обеспечение процесса планирования съемки. В настоящий момент в технологическом контуре Оператора необходимая информация вручную берется из сети Интернет. Предлагаемый путь совершенствования технологии информационного обеспечения заключается в использовании данных КА «Метеор-М» №2, в том числе определения маски снежного покрова.

Методика основана на разделимости различных классов подстилающей поверхности в видимых и тепловых каналах аппаратуры с использованием особенностей спектральных профилей. Отметим, что полученные формулы не зависят от съемочного сезона и территории съемки. Показано, что широко используемый в настоящее время алгоритм, основанный на константном методе отсечения как непосредственных значений пикселей старших и младших каналов, так и их комбинаций (вегетационных индексов), плохо подходит для реше-

ния поставленной задачи вследствие большого разнообразия типов подстилающих поверхностей.

О ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ ПРИ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКЕ

*А. Е. Евграфов, В. Г. Поль, С. В. Шостак,
АО «НПО им. С. А. Лавочкина», Московская область, г. Химки*

В настоящее время потребности практики требуют составления и оперативной корректировки карт, содержащих информацию о рельефе земной поверхности. Сегодня интерферометрическая съемка, выполняемая парой космических аппаратов, выполняющих радиолокационное наблюдение поверхности Земли по технологии РСА считается весьма перспективной.

Такая съемка использует пару радиолокационных изображений одного и того же элемента разрешения, полученных при наблюдении с двух различных точек, разнесенных в пространстве, и образующих реальную базу интерферометра. Соответствующие исследования особенностей такого режима съемки показывают, что точность измерения рельефа определяется размерами и ориентацией реальной базы относительно вектора высоты (точки) поверхности Земли, проведенного ортогонально к ней от поверхности относимости относительно которой определяется сам рельеф. Поэтому вводится понятие эффективной базы, как проекции реальной базы на вектор высоты точки рельефа. Для получения нужной точности измерения рельефа необходима определенная величина эффективной базы.

В свою очередь, реальная база интерферометра при космической съемке определяется текущим относительным положением пары космических аппаратов (или двух последовательных мест одного КА, взятых в различные моменты времени). Особенности полета космических аппаратов, по околоземной орбите, таковы, что текущие положение и размеры как реальной, так и эффективной баз во времени непрерывно изменяются. Поэтому, точность космического определения рельефа также оказывается зависящей от времени. В частности, на некоторых

интервалах траектории полета КА она может и не удовлетворять нужным требованиям.

В докладе рассматриваются варианты реальных траекторий полета КА, связанные с этим ограничения в точности измерения рельефа наблюдаемой поверхности Земли и возможные меры по уменьшению влияния этих ограничений.

ОБ ИЗМЕРЕНИИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ ПРИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ РСА

*А. Е. Евграфов, В. Г. Поль, С. В. Шостак,
АО «НПО им. С. А. Лавочкина»,
Московская область, г. Химки*

В задачах дистанционного космического мониторинга Земли все возрастающее применение находит использование технологии радиолокации с синтезированием апертуры (РСА). Данная технология давно используется для получения двумерных изображений земной поверхности. Сегодня одной из задач дальнейшего развития этой технологии является составление цифровых карт рельефа земной поверхности. В имеющейся литературе для определения высот точек наблюдаемых объектов описывается использование интерферометрического режима наблюдения точек земной поверхности парой КА, совершающих согласованный полет по низковысотной орбите (НВО). Этот режим основан на использовании согласованного полета пары космических аппаратов, составляющих базу интерферометра и совместно выполняющих радиолокационную съемку одних и тех же участков земли.

Характеристики пары сигналов, принимаемой радиолокаторами КА от одного и того же парциального элемента разрешения (ПЭР) радиолокационного изображения (РЛИ), содержат в себе, как общий единый параметр, одну и ту же высоту этого элемента, отсчитываемую от той или иной поверхностью, принятой за нулевой уровень. Тогда оптимальная обработка разности принятых сигналов позволяет произвести оценку этого параметра и, соответственно, определить значение высо-

ты парциального элемента разрешения, например, над общеземным эллипсоидом относимости.

В общедоступной литературе обычно рассматривается разность сигналов, представляющая собой полную разность фаз несущих пары сигналов, поступающих с выхода схемы классического интерферометра. Такая разность традиционно интерпретируется как измерение угловой координаты объекта наблюдения. Однако в случае радиолокационного наблюдения принятые сигналы непосредственно дают наклонную дальность объекта. Тогда разность наклонных дальностей наблюдаемого элемента разрешения РЛИ, получаемая как результат наблюдения пары сигналов от одного ПЭР, позволяет по очевидной геометрической схеме определить третью координату в точке РЛИ.

В докладе рассматриваются потенциальные возможности измерения высот точек земной поверхности и вытекающие из этого подхода практические схемы определения рельефа местности.

О ВОЗМОЖНОСТИ СРАВНЕНИЯ ПО ТОЧНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ИОНОСФЕРЫ F2 ПРИ ОТИЗ С ДАННЫМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ ПО ПЭС

И. И. Иванов¹, А. В. Тertyшников²,

*¹Научно-исследовательский институт физики
Южного федерального университета, Ростов-на-Дону*

²Институт прикладной геофизики, г. Москва

Оперативный контроль параметров ионосферы в Арктике ведется либо в декаметровом диапазоне при ВЗ, НЗ, либо по данным ПЭС, полученным при просвечивании ионосферы сигналами навигационных ИСЗ. При этом мало внимания уделяется важнейшему морфоструктурному элементу полярной ионосферы – авроральному овалу, который, фактически, разграничивает зоны ответственности по мониторингу ионосферы между ФГБУ ИПГ и ФГБУ ААНИИ. К тому же, малое число станций ВЗ (НЗ) в приполярных районах и ограничение по широте орбит навигационных спутников (55° и 63° для GPS и ГЛОНАСС соответственно) не позволяет контролировать полярную ионосферу с необходимой для практики точностью.

В последнее время для охвата всего полярного района были предложены варианты использования полярных ионосферных ИСЗ на высокоэллиптических орбитах с бортовыми ионозондами, что потенциально обеспечивает наибольшую точность определения основных параметров ионосферы (f_oF2 , h_mF2), поскольку критическая частота дает улучшение результатов адаптации модели IRI на 30 – 60% по сравнению с долгосрочным прогнозом; параметр h_mF2 может обеспечить 15 – 20 %, МПЧ в среднем до 40 %, ПЭС – в среднем до 30 %.

Основным недостатком подобных вариантов зондирования является недостаточный энергетический потенциал канала и сложность интерпретации ионограмм внешнего зондирования (СВЗ) с высоких орбит для неоднородной и нестационарной полярной ионосферы. Ограничение по энергетике канала зондирования предлагается устранить за счет использования сложных сигналов и их накопления при СВЗ, либо за счет применения трансionoсферного зондирования (ТИЗ). СВЗ не позволяет обеспечить энергетiku, либо создает трудности по ЭМС на борту и значительно удлиняет сеанс зондирования, снижая тем самым оперативность диагностики. Предложено зондирование с Земли на ИСЗ (ОТИЗ), при этом энергетика канала обеспечивается как за счет более мощного наземного передатчика, так и при использовании сложных сигналов.

Для диагностики приполярной ионосферы представляет интерес установка приемника бортового ионозонда с уменьшенными габаритами антенной системы на платформу ГЛОНАСС и запуска на приполярную. В этом случае решается несколько проблем. Во-первых, не требуется разработка новой платформы для полярного высокоапогейного эксперимента, во вторых, установка на борту только приемника ионозонда не нарушает требований ЭМС, упрощается «привязка» хронизатора ионозонда как по времени, так и к эфемеридам ИСЗ, а трансionoграммы ОТИЗ могут быть переданы по служебным каналам связи. Кроме того, уменьшаются габариты приемной антенны при ограничении частотного диапазона.

При успешной реализации такого варианта повышается в 3 – 5 раз точность восстановления $N(h)$ -профилей по ПЭС за счет возможности сравнения $N(h)$ -профилей ионосферы, полученных двумя методами с одного ИСЗ.

Обработка серии трансionoграмм при ОТИЗ по предлагаемой методике с привлечением модели ионосферы расширяет пространственную зону диагностики, границы которой определяются областями распространения зондирующих сигналов между наземным пунктом и ИСЗ – т. е., может быть оперативно получено пространственное распределение электронной

концентрации в плоскости наземный пункт – ИСЗ с более высоким пространственным и временным разрешением.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВРОРАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ С ОРБИТ

*А. К. Кузьмин¹, Г. М., Крученицкий²,
Ю. Н., Потанин², М. А. Баныщикова³,*

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

*²Центральная аэрологическая обсерватория
(ФГБУ ЦАО Росгидромет), МО, г. Долгопрудный*

*³Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета
(НИИ ПММ ТГУ), г. Томск*

Диагностика состояния характеристик полярной ионосферы с орбит – один из важных инструментов в физике ближней магнитосферы. Благодаря увеличению чувствительности изображающих детекторов и развитию методик наблюдений, измерения распределений интенсивности основных авроральных эмиссий сверху (всепогодная имаджелогия полярных сияний) вносят все более информативный вклад в контроль состояния процессов в ионосфере.

Глобальные ВУФ-изображения аврорального овала с орбит типа Молния даже в освещенных условиях обеспечивают информацию о мгновенном состоянии, крупномасштабных размерах и границах аврорального овала, формируемых высыпающимися электронами и протонами, а изображения «видимых» авроральных эмиссий с низкоорбитальных КА позволяют дистанционно контролировать локальные мелко-масштабные (1 – 2 км) процессы в поле диаметром в несколько сотен км, следить за изменениями в энергетике высыпающихся частиц в наблюдаемом секторе и за мгновенной конфигурацией авроральных структур.

Существенным преимуществом развивающейся методики является синхронность прямых измерений распределений энергетических характеристик потоков электронов и ионов, градиентов магнитного и электрического полей в окрестности КА с дистанционными изображениями эмиссий в локальных объемах магнитных силовых трубок.

сий в видимой области спектра с орбиты КА Метеор-МП показаны (условно) на рис. 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ ТЕКСТУРНОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ БКА НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

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

Подготовку исходных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для тематической обработки целесообразно выполнять с привлечением алгоритмов распределенных блочно-параллельных вычислений в условиях локальной вычислительной системы или высокопроизводительной среды типа суперкомпьютера. Это существенно сокращает время подготовки данных ДЗЗ сверхбольшого размера для тематического анализа в рамках существующих и перспективных геоинформационных систем. При таком подходе исходная космическая информация должна подвергаться разбиению, или декомпозиции, на блоки заданного размера и с заданными параметрами, которые являются входными данными для алгоритмов блочно-параллельной обработки.

Одним из способов подготовки космических снимков сверхбольшого размера для тематического анализа с использованием алгоритмов блочно-параллельной обработки данных является их текстурная декомпозиция с формированием дескрипторов в виде файлов метаописания. Дескрипторы текстурной информативности сверхбольших космических снимков содержат метаописание фрагментов данных снимков, обладающих текстурным сходством (например, леса, луга, поля, торфоразработки, населённые пункты и т. д.). Располагая таким дескриптором, отпадает необходимость обработки всего космического снимка сверхбольшого размера для нахождения на нём областей интереса, которых там может и не быть.

Текстурная информативность растровых изображений выражается с помощью текстурных признаков Харалика, Лавса, SFTA и др. Для космических снимков, получаемых Белорусским космическим аппаратом (БКА) опытным путём были отобраны текстурные признаки Хара-

лика и Лавса, как позволяющие наиболее качественно разделять представленные на данных снимках текстуры.

Отбор наиболее весомых признаков для формирования состава вектора текстурной информативности космических снимков БКА был осуществлён путём решения задачи разделения или кластеризации однородных текстур, представленных на снимках. Качество кластеризации однородных текстур определялось относительной величиной информационной энтропии Шеннона, принимающей значения от 0 до 1. В случае независимых случайных событий x с n возможными состояниями, распределённых с вероятностями p_i ($i = 1 \div n$) относительная величина информационной энтропии Шеннона вычисляется по формуле:

$$H(x) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i)}{\log_2(n)}. \quad (1)$$

За независимое случайное событие в данном случае принималось отнесение вектора текстурных признаков, вычисленного при определённом положении скользящего окна анализа изображения к тому или иному кластеру, определяющему тип текстуры (лес, поле и т.п.). Вероятность данного события p_i определялось по формуле:

$$p_i = \frac{k_i}{N}, \quad (2)$$

где k_i – число векторов текстурных признаков, отнесённых к i -му текстурному кластеру; N – общее число текстурных кластеров.

Чем ближе вычисленное значение относительной информационной энтропии к нулю, тем более информативным является состав вектора текстурных признаков.

Определение компонентов вектора признаков текстурной информативности для космических снимков БКА производилось путём минимизации среднеквадратического значения относительной информационной энтропии F , вычисляемой при кластеризации группы образцов однородных текстур по формуле:

$$F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M H_i^2}{M}}, \quad (3)$$

где M – количество образцов однородных текстур в группе; H_i – значение относительной информационной энтропии, вычисленное в результате кластеризации i -го текстурного образца.

В результате решения был сформирован состав вектора признаков текстурной информативности космических снимков БКА. В него вошли четыре текстурных признака Харалика для соседств $[0 \ 1]$, $[1 \ 0]$, $[1 \ 1]$ и $[-1 \ 1]$:

– нормированный контраст $H_3 = 100 / M^2 \sum_{i,j} (i - j)^2 P_d(i, j)$;

– корреляция $H_5 = \left(\sum_{i,j} (i - \mu_i)(j - \mu_j) P_d(i, j) \right) / (\sigma_i \sigma_j)$;

– нормированное среднее суммы $H_8 = SA / M$;

– нормированная энтропия разностей $H_{12} = DE / 10$

и шесть комбинаций энергетических признаков Лавса:

	S	W	R
S	T1	T4	T5
W	T4	T2	T6
R	T5	T6	T3

$$T_1 = \sum |(\mathbf{S}^T \mathbf{S}) \otimes \mathbf{I}|; \quad T_2 = \sum |(\mathbf{W}^T \mathbf{W}) \otimes \mathbf{I}|; \quad T_3 = \sum |(\mathbf{R}^T \mathbf{R}) \otimes \mathbf{I}|;$$

$$T_4 = \sqrt{\sum ((\mathbf{S}^T \mathbf{W}) \otimes \mathbf{I})^2 + \sum ((\mathbf{W}^T \mathbf{S}) \otimes \mathbf{I})^2}; \quad T_5 = \sqrt{\sum ((\mathbf{R}^T \mathbf{S}) \otimes \mathbf{I})^2 + \sum ((\mathbf{S}^T \mathbf{R}) \otimes \mathbf{I})^2};$$

$$T_6 = \sqrt{\sum ((\mathbf{R}^T \mathbf{W}) \otimes \mathbf{I})^2 + \sum ((\mathbf{W}^T \mathbf{R}) \otimes \mathbf{I})^2},$$

где

\mathbf{I} – изображение;

$$\mathbf{S} = [-1 \ 0 \ 2 \ 0 \ -1]; \mathbf{W} = [-1 \ 2 \ 0 \ -2 \ 1];$$
$$\mathbf{R} = [1 \ -4 \ 6 \ -4 \ 1].$$

МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТРАНЗИЕНТОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В ПРОЕКТЕ МГУ «УНИВЕРСАТ – СОКРАТ»

*С. И. Свертилов от им. коллаборации «Универсат – СОКРАТ»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д. В. Скобельцына, физический факультет, г. Москва*

Результаты экспериментов на спутнике «Ломоносов» и других спутниках МГУ по исследованию экстремальных явлений в атмосфере Земли и космическом пространстве послужили основой для формирования программы нового проекта Московского университета «Универсат-СОКРАТ», посвященного созданию группировки спутников для мониторинга в режиме, близком к реальному времени, в околоземном космическом пространстве потенциально опасных угроз, в том числе: радиационной обстановки, опасных объектов естественного (астероиды, метеоры) и техногенного происхождения (космический мусор), а также электромагнитных транзиентов – космических и атмосферных гамма-всплесков, вспышек оптического и ультрафиолетового излучения из атмосферы Земли.

В минимальном варианте предполагается использовать группировку из трех космических аппаратов: КА № 1 размещается на низкой солнечно-синхронной орбите высотой 500 – 650 км и наклоном 97 – 98°, КА № 2 и № 3 запускаются на эллиптические орбиты с апогеем 8000 км, перигеем 600 – 700 км и наклоном 63,4°.



Рис. 1. Основные цели космического проекта «Универсат-СОКРАТ»

На спутниках предполагается установить следующие приборы для космического мониторинга опасных объектов и явлений: спектрометр электронов и протонов, широкопольные оптические камеры, комплекс приборов для изучения электромагнитных транзиентных явлений, включающий гамма – спектрометры, детекторы УФ и ИК излучения.

Мониторинг электромагнитных транзиентов в атмосфере Земли в оптическом, ультрафиолетовом, рентгеновском и гамма диапазонах предполагается осуществлять на КА № 1. Комплекс научной аппаратуры для изучения транзиентных атмосферных явлений (ТАЯ) в УФ и оптическом диапазонах включает пространственно-чувствительный спектрометр – малый линзовый телескоп (МЛТ) и детекторы УФ и ИК излучения (ДУФИК). Прибор МЛТ состоит из линзового широкопольного объектива и позиционно-чувствительного детектора в виде матрицы мульти-анодных ФЭУ, а также набора фотоумножителей с раз-

ными фильтрами на входных окнах для измерения длинных временных рядов сигнала ТАЯ с высокой чувствительностью и высоким временным разрешением в разных спектральных диапазонах. Прибор ДУФИК состоит из трех фотоумножителей, обеспечивающими работу в инфракрасном (600 – 800 нм), ближнем УФ (240 – 400 нм), солнечно-слепом (100 – 300 нм) диапазонах, а также микроканальной пластины, обеспечивающий регистрацию излучения в диапазоне от дальнего УФ до мягкого рентгеновского.

Комплекс научной аппаратуры для мониторинга в гамма-диапазоне включает три широконаправленных сцинтилляционных детектора гамма-излучения для контроля верхней атмосферы и обзора неба в диапазоне 10 – 3000 кэВ и трековый гамма-спектрометр высокого разрешения и чувствительности.

Успешная реализация проекта позволит впервые в мире создать прообраз космической системы мониторинга и предотвращения космических угроз для осуществляемых и планируемых космических миссий, а также высотных атмосферных летательных аппаратов.

КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СМЕЩЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ИНТЕРВАЛЕ ОРБИТАЛЬНОЙ СЪЕМКИ НА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ СНИМАЕМЫХ ТОЧЕК ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

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

Съемка различных участков поверхности Земли бортовой оптико-электронной аппаратурой требует изменять ориентацию КА путем разворота вокруг своих осей по некоторому закону движения, заложенному в полетном задании. Суммарно эти кинематические факторы, а также движение КА по орбите и вращение Земли приводят к соответствующему формированию изображения в поле фокальной плоскости. В результате, после визуализации снятого изображения снимок

будет иметь особенности, которые, в том числе, были порождены данным кинематическим законом движения. В связи с этим имеется задача совместного учета СДИ и статических источников искажений ОЭ изображения и их влияния на геометрические свойства изображения поверхности Земли.

Для решения задачи определения фактических векторов СДИ и их влияния на систематические и случайные погрешности определения координат снимаемого объекта разработан оригинальный алгоритм расчета. Созданный алгоритм разработан на базе строгой модели космической съемки Земли в оптическом диапазоне, т. е. с использованием фундаментального уравнения космической фотограмметрии в дифференциальном виде, что позволяет, помимо прочего, строго учитывать по полю фокальной плоскости (ФП) целевой ОЭА КА, высотную часть рельефа и антропогенки.

Значимые случайные погрешности можно выразить в виде тензора погрешностей возникающих при орбитальной съемки Земли средствами БОЭА: на момент регистрации изображения средствами ФПУ t_i тензор погрешностей спутникоцентрического направления $\mathbf{M}^2(\bar{\mathbf{r}}_{ji}^0)$, при его съемке средствами бортовой оптико-электронной аппаратуры (БОЭА), в отсутствие корреляции между параметрами можно представить в виде:

$$\mathbf{M}^2(\bar{\mathbf{r}}_{ji}^0) = \mathbf{F}\mathbf{M}^2\mathbf{F}^T,$$

где \mathbf{F} – ортогональное преобразование;

\mathbf{M} , помимо погрешностей координат точек на снимке и элементов внутреннего ориентирования в ПСК БОЭА, включает в себя различные источники погрешностей, на моменты времени съемки.

– погрешности эйлеровых углов оператора ориентации базовой СК СОС в ИСК с учетом погрешностей стабилизации программных угловых скоростей движения КА;

– погрешности эйлеровых углов оператора взаимной ориентации базовой СК СОС и ПСК БОЭА.

– погрешности определения вектора состояния КА;

– погрешности знания координат линий маршрута съемки на Земле;

$$\mathbf{M}^2 = \begin{bmatrix} M^2(x, y) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M^2(f_{об}, x_0, y_0) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_*^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_0^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_{орб}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & M_{мс}^2 \end{bmatrix}$$

По результатам расчетов для длиннофокусной БОЭА выявлено, что наибольшее влияние на суммарную погрешность оказывают тензоры M_* , M_0 , $M(f_{об}, x_0, y_0)$ – тензор погрешностей эйлеровых углов оператора ориентации базовой СК ЗД СОС в ИСК на заданный момент времени, тензор погрешностей эйлеровых углов оператора взаимной ориентации базовой СК СОС и ПСК БОЭА, а также тензор погрешностей знания элементов внутреннего ориентирования БОЭА.

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ СМЕЩЕНИЙ И ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ СКАНЕРНОЙ СЪЕМКЕ ЗЕМЛИ С КА

*А. О. Бабаков, М. Ю. Жилнев,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Необходимость повышения достоверности информации, получаемой методами ДЗЗ, обуславливает актуальность и практическую значимость вопросов, связанных с улучшением качества снимков земной поверхности.

В данной работе представлены результаты разработки одного из методов повышения качества снимков – способа априорной оценки смещений и погрешностей координат точек изображения при минимальном наборе данных о параметрах бортовой оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) ДЗЗ, СОС и их взаимодействии.

При решении данной проблемы было доработано программное обеспечение, позволяющее выявить влияние ряда ключевых факторов на скорость движения изображения и смещение изображения в фокальной плоскости (ФП) ОЭА при съемке с произвольным углом крена и возможностью его задания. Также разработаны программные комплексы, основанные на аналитических зависимостях скорости движения изображения (СДИ) по ФП ОЭА от параметров орбиты для случая съемки в надир.

При разработке программных комплексов и их доработках были учтены следующие источники смещений и погрешностей, приводящие к ухудшению качества изображения:

- отличие скорости движения изображения от заданной (данный фактор может приводить к образованию «смаза изображения», а при достаточно большом времени экспозиции ОЭА – и к значительным смещениям);

- влияние погрешностей обработки программных угловых движений осей МКА на интервале времени съемки (данный фактор приводит к тому, что на разных участках фокальной плоскости будут разные значения скорости движения изображения, обуславливающие появление нелинейных смазов изображения, что может повлиять на то, что при съемке земной поверхности МКА займет неверную позицию);

- определение соотношения фотограмметрических параметров, например, влияние погрешностей определения дальности до снимаемой точки МКА и фокального расстояния (неучет этой проблемы может привести к значительным отличиям значений вектора скорости движения изображения от требуемых при данной съемке);

- разность векторов скорости движения изображения в центре и на краях фокальной плоскости (неучет этого фактора приводит к значительным радиометрическим и геометрическим искажениям снимка в разных его местах).

Созданные программные комплексы реализованы в среде MATLAB 2016a.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ СВЕЧЕНИЯ ДНЕВНОЙ И НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ, ОБНАРУЖЕННЫЕ НА СПУТНИКЕ «ВЕРНОВ» В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ И ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

*Г. К. Гарипов от им. участников проекта спутника «ВЕРНОВ»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д. В. Скобельцына*

На малом космическом аппарате «Вернов» (солнечно-синхронная орбита, наклонение 98° , высота 640 – 830 км) проводились исследования процессов генерации транзиентных явлений в верхней атмосфере Земли под воздействием потоков электронов и электромагнитных волн высокой и низкой частоты.

В данной работе приводятся данные наблюдений оптических явлений в атмосфере Земли в ультрафиолетовом (УФ, 240 – 380 нм) и инфракрасном (ИК, 610 – 800 нм) диапазонах длин волн, рассматриваются молнии, транзиентные вспышки УФ излучения и оптические сигналы техногенного происхождения, как на дневной, так и на ночной стороне Земли.

Показано, что на ночной стороне в средних широтах сигналы техногенного свечения вытягиваются вдоль меридиана и в широкой полосе долгот совпадают с долготами географических координат наиболее мощных низкочастотных (НЧ) радиостанций. На дневной стороне орбиты спутника распределение сигналов также вытягивается вдоль меридианов, но по долготам распределение становится равномерным, в котором нарушается зависимость от географического расположения радиостанций. Резкое изменение этих распределений происходят на границе ночной и дневной частей орбиты спутника. При этом, границы географического распределения областей техногенного свечения на дневной стороне становятся неустойчивыми, смещаются и северные, и южные границы этих областей на всех широтах от Северного полюса до Южного полюса. Кроме того, в средних и низких широтах в распределениях сигналов вдоль меридианов наблюдаются зоны со случайными географическими координатами, где техногенное свечение полностью отсутствует.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ИОНОСФЕРЫ В ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ НА ОСНОВЕ ТРАНСИОНОСФЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕСКИМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

*Н. П. Данилкин, С. В. Журавлев, В. Б. Лапшин, А. Ю. Репин,
И. В. Романов, М. Ю. Филиппов, Е. Н. Хотенко,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
Институт прикладной геофизики
им. академика Е. К. Федорова, г. Москва*

Мониторинг вариаций критической частоты ионосферы в Арктике, особенно в области полярной шапки, относится к актуальным задачам современного этапа исследований ионосферы. Однако, решение этой задачи достаточно сложно в связи с отсутствием в этой области наземных ионозондов, с одной стороны, и с отсутствием полярных спутников в ближайших планах национальной космической программы, с другой стороны. Поэтому представляется актуальным метод определения критической частоты в цитируемой области на основе транзионосферного радиозондирования с бортов космических аппаратов (КА) «Арктика – М», которые не являются полярными спутниками и, тем не менее, предоставляют возможность проводить длительные наблюдения критической частоты в арктических широтах, в том числе, и вблизи Северного полюса. На рис. 1 представлена схема такого космического эксперимента для двух космических аппаратов «Арктика-М».

Черными точками показаны следы орбит обоих КА на поверхность Земли. Красными линиями обозначены последовательности точек пересечения транзионосферным лучом высоты максимума слоя F2 по наблюдениям в Баренцбурге и на Тикси (отмечены синими ромбами). Каждая точка красной линии имеет четыре параметра: географическая широта, долгота, время и наименьшая частота электромагнитной волны, на которой происходит прохождение ионосферы насквозь. Последний параметр есть, как показали эксперименты на КА «ИК-19», К-1809 и космической станции МИР, практически критическая частота ионосферы в этой точке после учета кривизны Земли.

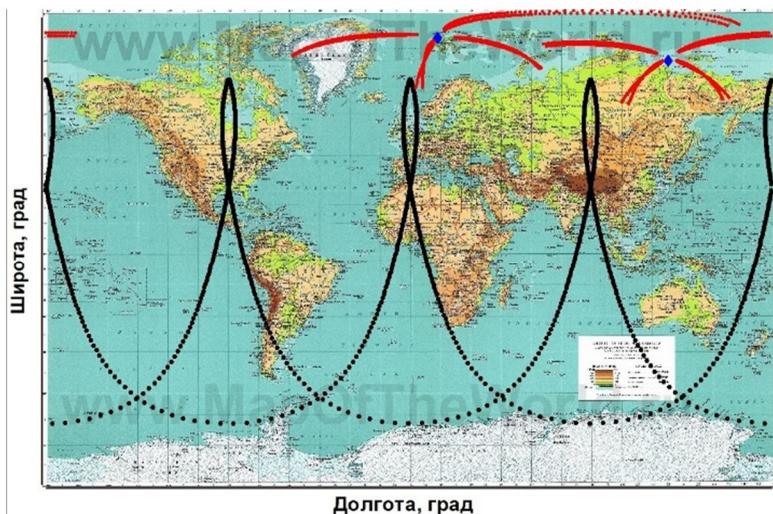


Рис. 1. Принципиальная схема диагностики ионосферы в Арктике методом трансionoсферного радиозондирования

Основная идея метода заключается в том, что просвечивание насквозь происходит на длинной трассе и для излучения используется рабочий участок траектории КА, который обеспечивает просвечивание насквозь именно той части арктической ионосферы, которая изучается в данный момент. Период обращения вокруг Земли каждого КА составляет 12 часов, из которых около 8 часов можно использовать для просвечивания арктических областей ионосферы. При этом решается важная задача – увеличить время наблюдения процессов в максимуме ионосферы с тем, чтобы иметь возможность наблюдать весь процесс рождения, развития и диссипации ионосферных неоднородностей, что практически невозможно делать на круговых КА вследствие их быстрого пролета тех зон, которые находятся под наблюдением.

Другой особенностью предлагаемого метода является его экономическая целесообразность и инженерная простота решения. Наиболее экономичная и простая схема предполагает использование обратного трансionoсферного радиозондирования, при котором используется излучение с наземных мощных ионозондов (типа «Парус-А», «Томион»), а на высокоэллиптическом КА располагается только приемная часть и антенная система. При этом исключаются конфликты данного прибора, связанные с излучением различных частотных диапазонов на одном КА.

Принципиально неважно – какой именно вид зондирующих сигналов будет выбран – импульсный или непрерывного излучения. В обоих вариантах трассы распространения имеют длины в десятки тысяч километров, и они уже освоены в проведенных экспериментах.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗНОГО МОНИТОРИНГА ФАКТОРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*С. Л. Кравцов, Г. И. Радюкевич, А. Л. Козел,
Д. В. Голубцов, С. А. Лапаник, Е. В. Лепесевич,
Государственное научное учреждение
«Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси», г. Минск*

Традиционно используемые для оценки пожарной опасности территории комплексные (метеорологические) показатели рассчитываются на сутки, позволяя идентифицировать лишь особенности масштаба страны, и слишком грубы для использования в масштабах района или даже области. Это снижает эффективность проведения предупредительных мер, направленных на снижение последствий (включая экологические) природных пожаров. В этой связи начата разработка системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории.

Система прогнозного мониторинга разрабатывается на базе некоммерческой геоинформационной системы с открытым кодом QGIS (*Quantum Geographic Information System, QGIS*). Разработка ведется на языке Python. В частности разработаны программные модули: вычисления (по данным со спутников Terra/Aqua MODIS) индекса состояния растительности VCI (*Vegetation Condition Index, VCI*), индекса температурного состояния TCI (*Temperature Condition Index, TCI*) и вегетационно-температурного индекса VTI (*Vegetation-Temperature Index, VTI*); построения (по данным с метеостанций) карт скорости ветра, температуры и влажности воздуха, количества осадков (за сутки), значений комплексного показателя пожарной опасности Нестерова В.Г. Кроме того, разработан сервис удаленного доступа к результатам прогнозного мониторинга.

По спутниковым данным сенсоров Terra/Aqua MODIS за 2006 – 2017 гг. на территорию Республики Беларусь и приграничных стран вычислены (временной масштаб 8 дней): индекс VCI (пространственное разреше-

ние 0,25 км), индекс ТСІ (пространственное разрешение 1 км), индекс VPI (пространственное разрешение 0,25 км). По данным с метеостанций за 2002 – 2017 годы путем нелинейной интерполяции на территорию Республики Беларусь и приграничных стран построены карты значений (интервал измерений 3 ч, пространственное разрешение 0,25 км): скорости ветра, температуры и влажности воздуха, количества осадков, комплексного показателя пожарной опасности Нестерова В.Г.

Примененный при разработке системы прогнозного мониторинга подход обеспечивает: гибкость (возможность дополнения, изменения, введения новых факторов, комплексных показателей и индексов пожарной опасности), динамичность (учет изменения состояния поверхностных горючих материалов в течение суток), детальность (до пространственного разрешения использованных для вычисления индексов состояния растительности спутниковых данных) и доступность (для пользователей результатов прогнозного мониторинга посредством сервиса удаленного доступа).

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ КАРТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ ПО АЭРОФОТОСНИМКАМ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

*В. В. Ганченко., А. А. Дудкин, Е.Е. Марушко,
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск*

Точное земледелие является одним из базовых элементов ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве. Оно основано на применении геоинформационных технологий. Для их реализаций необходимы программно-технические системы, позволяющие выявить неоднородность поля (приборы дистанционного зондирования сельскохозяйственных посевов и программное обеспечение обработки данных) в соответствии с потребностями посевов.

Анализ состояния растительности базируется на решении двух основных задач: идентификации – выделения на исходных аэрофотоснимках однородных по некоторым признакам объектов, и классификации. Их решение осложняется нечеткостью признаков, а также наличием мешающего фона, влиянием облачности и теней. Применение нейросетевых методов и методов нечеткой логики позволит повысить точность распознавания.

Решение ряда задач, связанных с контролем состояния раститель-

ности сельскохозяйственного назначения, основывается на совмещении различных информативных признаков состояния растительности. Важными информативными признаками, используемыми для оценки состояния растительности на основе многоспектральных изображений, являются различные вегетационные индексы: нормализованный относительный индекс биомассы NDVI, показатель количества фотосинтетически активной биомассы на земной поверхности; усовершенствованный вегетационный индекс EVI; индекс листовой поверхности LAI, площадь освещенных листьев на каждый квадратный сантиметр поверхности почвы. Также выделяют: цветовые характеристики растительности, текстурные (Харалик) и фрактальные (размерность) характеристики, которые позволяют, за счет построения оценок характеристик небольших участков изображений, оценить плотность растительности на том или ином участке поля.

Метод построения карт сельскохозяйственных полей основан на построении дескрипторов, комбинирующих информативные признаки многоспектральных изображений. В данной работе представлен метод построения карт посевов с предварительной экспертной разметкой обучающего набора данных, по которому производится формирование средних значений для классов объектов и обучения нейросетевой модели. Разметка набора данных заключается в назначении каждому пикселю изображения сельскохозяйственных полей идентификатора соответствующего классу объекта в данном пикселе.

Алгоритм построения нечетких дескрипторов для составления карт посевов состоит из следующих шагов: вычисление NDVI; вычисление текстурных характеристик и фрактальной размерности для различного масштаба; построение карты плотности биомассы для значений NDVI на основе диапазонов индекса; построение карты плотности биомассы на основе текстурных характеристик Харалика; построение карты плотности биомассы на основе фрактальных размерностей разного масштаба; объединение карт операцией логического «ИЛИ»; вычисление среднего значения признаков для каждого класса по изображениям обучающего набора данных; вычисление расстояния значений признаков объектов до среднего значения каждого класса; нормализация значений расстояний. Карты нормализованных расстояний являются нечеткими дескрипторами. Комбинация информативных признаков и нечетких дескрипторов может использоваться для обучения нейронной сети (НС) с целью повышения точности построения карт полей.

Обученная НС может использоваться для попиксельного распознавания изображений сельскохозяйственных полей. Дополнительно точность идентификации объектов может быть повышена с использованием ансамбля НС.

В качестве тестовых данных использовался набор мультиспектральных изображений «Assessing crops (multispectral/eBee SQ)». Изображения были собраны беспилотным летательным аппаратом «eBee SQ» с камерой Sequoia. Набор данных включает зелёный канал, красный канал, ближний инфракрасный канал, канал «красного края». Для определения точности распознавания полей использовался коэффициент Жаккара. Тестирование показало, что наибольшую информативность относительно наличия растительного покрова показывает индекс NDVI на основе близкого инфракрасного спектрального диапазона ($J = 0,66$). Текстурные и фрактальные характеристики не показали значительного улучшения при совмещении с NDVI ($J = 0,67$). Использование нейросетевой модели позволяет более точно формировать контуры распознаваемых объектов ($J = 0,86$).

Таким образом, метод комбинирования информативных признаков многоспектральных изображений для оценки состояния сельскохозяйственной растительности строится на совместном использовании данных видимого диапазона и ряда вегетационных индексов, вычисляемых по изображениям в видимой и инфракрасной областях спектра, а также цветовых и текстурных характеристик, и может использоваться для сегментации и распознавания изображений в системах мониторинга состояния и прогнозирования урожайности сельскохозяйственной растительности.

Использование нейросетевой модели и нечетких дескрипторов позволяет повысить точность дистанционных методов мониторинга сельскохозяйственных полей по сравнению с методами на основе только вегетационных индексов и характеристик вариативности.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИСТОЧНИКОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

*М. А. Болсуновский,
Компания «Совзонд», г. Москва*

В последнее время с увеличением количества спутников, ведущих регулярную космическую съемку с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением, появилась возможность следить за изменениями состояния земной поверхности с высокой степенью регулярности. Сочетание частоты съемки, разрешения и охвата больших территорий является принципиально новым этапом в ДЗЗ, и такая съемка может успешно применяться для широкого круга задач, в том числе и для мониторинга изменений.

В случае необходимости оперативного отслеживания локальных по площади процессов (например, регулярный контроль строительства) целесообразно использовать материалы космической съемки с пространственным разрешением до 30 см, а также данные авиационной съемки и воздушного лазерного сканирования (с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов) для получения снимков с разрешением до 5 см.

В последние годы широко применяется технология космического радарного мониторинга смещений земной поверхности. Особенности радарной съемки позволяют отслеживать критически важные объекты круглосуточно, независимо от погодных условий. При этом обеспечивается миллиметровая точность измерений смещений земной поверхности и объектов.

В ближайшие 10 лет на рынке могут появиться принципиально новые продукты и услуги ДЗЗ — тематические сервисы и численные расчеты на основе данных, близких к реальному времени, видеоданные, съемка любой точки Земли с интервалом ~1 час и разрешением не хуже 1 м.

Технические характеристики постепенно выравниваются у основных участников рынка, пространственное разрешение спутников станет лучше 30 см. Преимуществом является оперативность поставки данных заказчику. При этом идет рост разрешения снимков, количества микро- и нано- спутников ДЗЗ.

К 2025 г. ежедневная повторная съемка будет доступна с разрешением 1 – 2 м. Стандартным продуктом станет видеосъемка из космоса. Качественный рост ждет радарные космические данные. Появятся комплексные режимы съемки (радарная в сочетании с оптико-

электронной, космическая в сочетании с авиационной с беспилотных летательных аппаратов – БПЛА). Будут развиваться новые виды съемки и сервисы доступа к данным.

Через 15 лет произойдут качественные изменения во всей системе ДЗЗ из космоса. На первый план выйдут сервисы. Модель заказа съемки трансформируется в доступ к геоинформационным интеллектуальным аналитическим сервисам, позволяющим получить пользователю необходимую информацию по конкретным задачам. Съемка из космоса будет вестись в непрерывном режиме. Произойдет конвергенция с другими источниками информации.

Появление новых и расширение существующих группировок для увеличения производительности и сокращения интервала повторного просмотра приводит к резкому возрастанию объемов передаваемых данных. Для приема, обработки и хранения огромных массивов информации необходимы новые технические решения. Кроме того, оперативность съемки должна дополняться оперативностью получения данных конечным пользователем и удобством доступа к информации.

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ ГОРНОРУДНЫМИ И КОММУНАЛЬНЫМИ ОТВАЛАМИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

*Л. А. Ведешин, А. А. Рихтер,
ИКИ РАН НИИАМ «АЭРОКОСМОС», г. Москва*

Сложность решения этой проблемы определяется наличием большого количества объектов захоронения твердых коммунальных промышленных отходов (ОЗО), распределённых на территории Российской Федерации, для которых трудно обеспечить экологический мониторинг традиционными методами. К действующим способам экологического мониторинга относятся в основном маршрутные наблюдения, полевые, лабораторно-аналитические и камеральные работы. Их принципиальная особенность состоит в том, чтобы детально и на месте оценить состояние атмосферного воздуха, почвенного покрова и грунтовых вод, исследовать и проанализировать состав свалочного вещества, определить размеры и границы участка, административно-территориальную и муниципальную принадлежность объекта и т. д. По этой причине приме-

нение данных методов имеет существенное ограничение при мониторинге обширных территорий Российской Федерации.

С увеличением разрешения на местности фотосъемки с российских и зарубежных космических аппаратов появилась возможность детального наблюдения за состоянием горнорудных и коммунальных отвалов вторичного сырья, составления тематических и экологических карт для оценки ущерба наносимого растительному покрову, грунтовыми водам и загрязнению атмосферы. Дистанционный мониторинг ОЗО имеет ряд преимуществ перед контактными методами и экономически выгоден при решении задач мониторинга обширных территорий, так как отсутствует прямой контакт с объектами исследования, он может быть проведен в труднодоступных местах (горные районы, северные территории и др.), для которых наземный мониторинг крайне затруднен или невозможен. Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют или в недостаточной степени разработаны методики и алгоритмы цифровой обработки, связанные с автоматизированной оценкой параметров объектов размещения отходов и их влияния на окружающую среду по данным космических изображений. В результате исследований, выполненных в НИИ аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос» разработана комплексная методика автоматизированного обнаружения и оценки параметров объектов захоронения отходов по данным космической съемки и создания государственной системы управления.

ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ В ЗАДАЧАХ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

*Н. П. Аносова, С. Г. Кондратьева,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва*

Одной из задач, которые приходится решать в области навигации искусственных космических спутников Земли является коррекция курса и параметров траекторий движения.

Знание текущих значений ПВЗ (углов прецессии и нутации, угловых координат земного полюса, рассогласование шкал времени dUT1 между Всемирным временем UT1 и Всемирным координированным

временем UTC) с учетом сложной динамики параметров вращения Земли необходимо для точного взаимного преобразования инерциальной системы координат j 2000 в гринвичские системы координат WGS 84 и ПЗ 90-02, а также точного прогнозирования орбит КА.

Чаще всего для прогнозирования ПВЗ используется *аппроксимационная многопараметрическая модель*. В качестве альтернативных подходов в прогнозировании ПВЗ (угловых координат земного полюса) может быть использован нейросетевой подход. Для моделирования была использована сеть на основе многослойного персептрона со сквозными связями от входного слоя к скрытым слоям. Это позволяет более точно моделировать линейные части функций, вычисляемые скрытыми слоями. Кроме того, использовалась пирамидальная структура скрытых слоев.

В качестве входных данных брались значения угловых координат земного полюса (x_p и y_p) за 11 дней непосредственно перед прогнозом и 31 день до этого периода с шагом 17 дней для учета периодического характера входных данных (всего 82 значения). Результатом работы сети является прогноз значений координат полюса на одни и два дня вперед от текущего значения.

Для решения проблемы больших коэффициентов масштабирования входных данных и, следовательно, повышения требований к точности обучения сети, использовались не сами координаты полюса, а разности текущего и предыдущего значения. Для восстановления непосредственных значений прогнозируемых координат достаточно прибавить полученные результаты к текущим координатам по x_p и y_p .

В качестве обучающей выборки был взят период с 1962 г. (начало наблюдений) до конца 2012 г. (всего около 18 тысяч значений). А в качестве проверочной выборки выступали данные за 2013 и 2014 гг.

В большинстве случаев прогноз, построенный нейронной сетью, оказался точнее публикуемых прогнозов МСВЗ. Кроме того, он сопоставим с результатами, полученными при краткосрочном прогнозировании с использованием численно-аналитической модели колебательного процесса земного полюса.

В дальнейшем, для улучшения точности обучения и точности прогноза предполагается использовать сплайновое сглаживание входных данных, как на этапе обучения сети, так и на этапе ее использования.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

П. Ю. Орлов^{1,2}, И. Г. Журкин²,

¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

*²Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования*

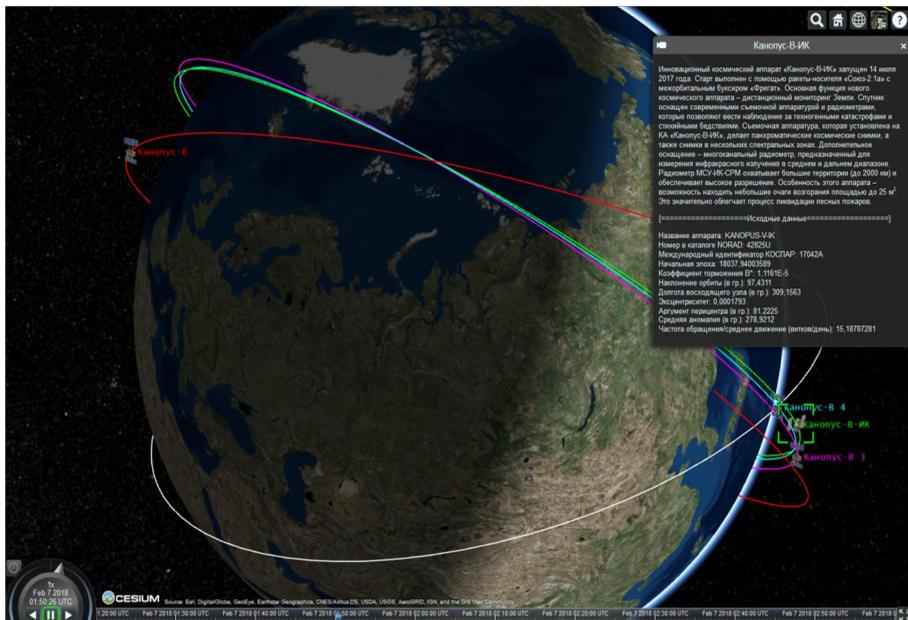
*«Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), г. Москва*

К настоящему моменту, космический мусор (КМ) и космические аппараты (КА) не рассматриваются как объекты геоинформационного моделирования, которое лишь эпизодически применяется как метод анализа и исследования загруженности околоземного космического пространства (ОКП) космическими объектами (КО) антропогенного происхождения как в России, так и за рубежом. Сложилась ситуация, когда геоинформационная система (ГИС) рассматривается лишь как система для агрегирования, каталогизации, оценки, визуализации и передачи данных (в том числе и в распределённые хранилища) о природных и антропогенных объектах, находящихся на поверхности Земли (реже в воздушном пространстве). Напротив, с позиции геоинформатики, различные объекты в ОКП, за которым требуется постоянный контроль и ведение необходимого учёта для поддержки принятия решений, остаются без внимания. Поэтому авторы предлагают моделировать движение космических объектов в рамках соответствующей геоинформационной системы околоземного космического пространства (ГИС ОКП).

Под ГИС ОКП авторы понимают геоинформационную систему, предметной областью которой является Земля, рассматриваемая как единое целое, и пространство от верхней границы атмосферы до орбиты Луны, а функциональным назначением – обработка и визуализация динамических пространственных данных космических объектов (КО), а также их атрибутивных данных, которые менее подвержены изменениям с течением времени. Данный программный комплекс следует реализовать в виде геоинформационного web-сервиса на базе откры-

той библиотеки для обработки пространственных данных и визуализации положения космических объектов, использующей графический процессор.

Проанализировано инструментальное средство разработки ГИС ОКП – графическая библиотека Cesium, предназначенная для визуализации трёхмерных динамических сцен в формате CZML, в том числе движения космических объектов, высокоточных расчётов и перевода положения объектов в различные системы координат и отсчёта. Представлена её архитектура и схема работы. Рассмотрена аналитическая модель SGP4 для прогнозирования движения космических объектов. Отмечено, что в сопроводительной документации разработчиков модели нет подтверждённых сведений о её точности, при этом сведения в зарубежной справочной литературе также носят лишь декларативный характер. Для оценки точности данной модели прогнозирования в качестве эталона были использованы фактические координаты участков орбиты космического аппарата дистанционного зондирования Земли «Канопус-В-ИК» на несколько временных интервалов. Продемонстрированы трёхмерные динамические сцены движения группировки спутников «Канопус-В» в рамках прототипа ГИС ОКП (см. рисунок). Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (№5.6680.2017/8.9).



Визуализация движения КА дистанционного зондирования Земли «Канопус-В» № 1, «Канопус-В-ИК», «Канопус-В» № 3 и № 4 (7 февраля 2018 года, 01:20:14 – 03:00:14 UTC)

**СЕКЦИЯ 6.
АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА, СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ АНТЕНН ДЛЯ
РАДИОЗАТМЕННОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ
ИОНОСФЕРЫ**

Э. В. Гаджиев¹, В. О. Скрипачёв²,
А. Г. Генералов¹, Ю. А. Полушковский²

¹АО «НИИЭМ», г. Истра

²Московский технологический университет (МИРЭА, г. Москва)

Ионосфера, как среда распространения радиоволн, влияет на характеристики радиосигнала – амплитуду, частоту, фазу, групповое запаздывание и поляризацию радиоволн, что в свою очередь оказывает существенное влияние на качество связи «КА – КА», «КА – Земля», а также точность навигационного определения по сигналам навигационных КА (НКА). Эффекты влияния ионосферы используются не только для исследования ионосферной плазмы, но и расчётов необходимых поправок с целью повышения точности навигационного определения.

Авторами рассматривалась задача диагностики ионосферы посредством оценки характеристик сигналов НКА, реализующей так называемый *радиозатменный метод*, обладающий сравнительно большой глобальностью и оперативностью. Схема реализации метода приведена на рис. 1, где G_1 – затмеваемый НКА; G_2 – опорный НКА; L – МКА-приёмник; $G_n \dots G_{n+2}$ – НКА, с помощью которых определяются навигационные параметры МКА; А – наземная станция приема и обработки данных.

Из рис. 1 следует, что реализация метода потребует разработки малогабаритных бортовых антенн с диаграммой направленности в азимутальной плоскости порядка $60^\circ \dots 90^\circ$ и в вертикальной плоскости $20^\circ \dots 30^\circ$.

Известно, что требуется многолучевая бортовая антенна с высоким коэффициентом усиления, которая может принимать опорные сигналы от десяти или более навигационных спутников, а также регистрировать соответствующие им отражения от окрестностей зеркальных точек на земной поверхности.

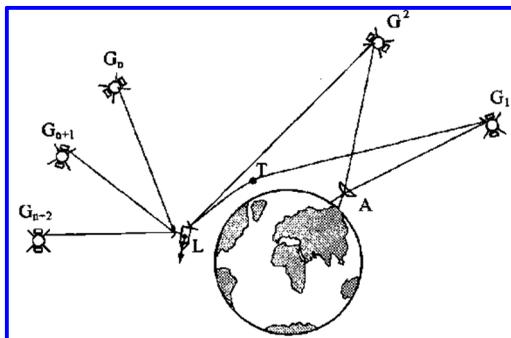


Рис. 1. Схема реализации радиозатменного метода диагностики ионосферы по сигналам НКА

Предлагается улучшить эффективность зондирования на малых космических аппаратах за счёт применения простых, но более эффективных антенн по сравнению с применяемыми в настоящее время.

В ходе уточнения требований к антенне у разработчиков аппаратуры зондирования были получены следующие характеристики:

- коэффициент усиления около 10 дБ;
- ширина диаграммы направленности по азимуту от 60° до 90° ;
- ширина диаграммы направленности по углу места от 20° до 30° ;
- рабочие частоты: 1,6 ГГц или 1,2 ГГц.

Возможно применение антенн с неравномерной диаграммой направленности.

Далее были рассмотрены следующие варианты для решения задачи по построению антенн для аппаратуры зондирования:

- спиральный излучатель (количество витков спирали 8);
- спиральный излучатель (количество витков спирали 11);
- спиральная антенная решётка из четырёх элементов (количество витков спирали 6);
- спиральная антенная решётка из четырёх элементов (количество витков спирали 8);
- антенная решётка из двух элементов, например, микрополосковых излучателей;
- микрополосковый (печатный) излучатель;
- рупорный излучатель со спиральным возбуждением.

У спиральной антенной решётки (количество витков спирали 6) применены четвертьволновые «стаканы», диаметр которых $0,7 \lambda$.

Большое количество рассмотренных вариантов даёт возможность разработчикам аппаратуры зондирования выбрать оптимальный вариант построения антенной системы для конкретного космического аппарата, на котором планируется установка аппаратуры данного типа, в том числе и для малых космических аппаратов.

ПУТИ ПОСТРОЕНИЯ АФУ РЛЦИ КА

*Е. В. Овчинникова¹, П. А. Шмачилин¹, С. Г. Кондратьева¹,
А. Г. Генералов², Э. В. Гаджиев²,*

*¹Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва
²АО «НИИЭМ», г. Истра*

На космических аппаратах (КА) используются антенно-фидерные устройства (АФУ), входящие в состав различных бортовых систем и комплексов. Одной из таких систем является радиолиния передачи целевой информации (РЛЦИ).

В настоящее время существует потребность в разработке высокоскоростной и сверхвысокоскоростной радиолиний. Эта потребность вызвана тем, что существенно изменились предъявляемые требования к указанной системе. Данное изменение заключается в резком увеличении требуемой скорости передачи данных с борта КА на наземные пункты приёма информации. В свою очередь определённые ограничения вызваны достаточно коротким временем сеанса связи КА с пунктами приёма (около 15 мин), а также ограниченное количество самих пунктов приёма.

В настоящее время применяются следующие диапазоны частот для бортовых антенн:

- 137...138 МГц;
- 1670...1710 МГц;
- 8025...8400 МГц;
- 25500...27000 МГц.

Приведён обзор научно-технической литературы, посвящённой построению бортовых АФУ для РЛЦИ. В ходе обзора проведён анализ существующих путей построения АФУ РЛЦИ КА:

- применение спиральной антенны со специальной формой диаграммой направленности;

- применение рупорной антенны;
- применение зеркальной антенны;
- применение антенной решётки (микрорешетчатый излучатель);
- применение антенной решётки (излучатель открытый конец волновода с квадратным сечением)
 - применение перенацеливаемой остронаправленной антенны.

В настоящее время перед разработчиками радиолинии КА поставлена задача по разработке скоростной и сверхскоростной радиолинии, то целесообразно применение сантиметрового диапазона частот (8025...8400 МГц или 25500...27000 МГц).

Однако применение более высоких частот (25500...27000 МГц) приводит к ряду сложностей:

- дорогостоящая измерительная аппаратура;
- худшие энергетические параметры радиолинии;
- узкая диаграмма направленности антенн требует точной юстировки и ориентации самого КА;
- удорожание бортовой аппаратуры и антенн.

Таким образом, в работе представлены пути построения АФУ РЛЦИ. Проведён анализ целесообразности применения выявленных способов при построении высокоскоростных и сверхвысокоскоростных радиолиний.

РАЗРАБОТКА БОРТОВОЙ СОВМЕЩЁННОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ССПД И РК-СМ-МКА КА СЕРИИ «МЕТЕОР-М»

*А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев,
АО «ВНИИЭМ»,
г. Истра*

«Метеор-М» – первый из серии перспективных космических аппаратов (КА) гидрометеорологического обеспечения. Входит в состав космического комплекса (КК) гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М». КА предназначен для оперативного получения информации в целях прогноза погоды, контроля озонового слоя и радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, а также для мониторинга морской поверхности, включая ледовую обстановку.



Рис. 1. КА «Метеор-М» № 1

На рис. 1 показан КА «Метеор-М» № 1.

Система сбора и передачи данных (ССПД) КА предназначена для сбора и передачи гидрометеорологических данных от автоматических измерительных платформ сбора данных различных типов (наземных, ледовых, дрейфующих), размещаемых в любых (в том числе полярных) районах Земли. На рис. 1 показана бортовая антенна для ССПД, работающая в диапазоне частот (401,9 – 402,0) МГц.

Бортовая антенна предназначена для приёма сигналов от наземных аварийных радиобуёв международной системы «КОСПАС–САРСАТ», работающих в диапазоне частот (406,01 – 406,09) МГц, которая представлена на рис. 2.

Приёмная антенна представляет собой четырёхзаходную одновитковую спиральную антенну с круговой поляризацией правого направления вращения.

Рассмотренные выше бортовые антенны входят в состав антенной системы КА «Метеор-М» № 2 – 1.

В работе предложен и рассмотрен вариант построения совмещённой бортовой антенны для обеих систем на рабочих частотах 402 МГц и 406 МГц. В качестве такой антенны предложено применение спиральной антенны, прототип которой представлен на рис. 2.

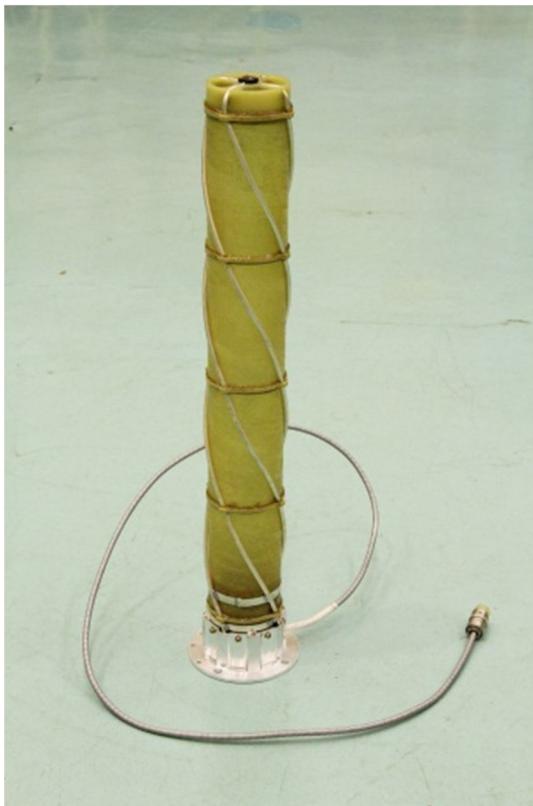


Рис. 2. Фото бортовой приемной антенны КОСПАС–САРСАТ

Такой подход позволит:

- уменьшить количество антенн, входящих в состав бортовой антенной системы КА;
- упростить размещение бортовых антенн на поверхности КА;
- улучшить электромагнитную совместимость на борту КА;
- снизить массу бортовой антенной системы.

Таким образом, предложен вариант совмещённой бортовой антенны двух систем ССПД и КОСПАС-САРСАТ для последующих КА серии «Метеор-М».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХДИАПАЗОННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Е. В. Овчинникова¹, В. В. Фам¹, Э. В. Гаджиев², О. В. Васильев³

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва

²АО «НИИЭМ», г. Истра

³АО «Московский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский радиотехнический институт», г. Москва

В современных системах непосредственного телевизионного вещания в настоящее время наметился переход от апертурных антенн к антенным решеткам. В докладе приводятся фотографии антенных решеток, применяемых в современных системах телевизионного вещания.

Широко используемые на практике параболические зеркальные антенны с механическим или электромеханическим сканированием требуют применения громоздких поворотных устройств, имеют значительные продольные габариты, а также чувствительны к осадкам и воздействию окружающей среды. Поэтому перспективным направлением является разработка антенных решеток спутникового телевидения.

Антенная решетка системы спутникового телевидения, устанавливаемая на ретрансляторе, должна обеспечивать работу в двух диапазонах частот. При работе на прием используется нижний поддиапазон Ку-диапазона от 10,7 до 12,75 ГГц и линейная горизонтальная поляризация. Для передачи используется верхний поддиапазон Ку-диапазона от 12,75 до 14,75 ГГц и линейная вертикальная поляризация.

Начиная с 90-х годов небольшие спутниковые антенны для приема в Ку-диапазоне стали выпускаться в России и за рубежом. Все решетки выпускались в печатном исполнении, так как печатная технология в настоящий момент достаточно хорошо освоена и позволяет реализовать компактные, недорогие антенны, хорошо совместимые с цифровыми устройствами управления и обработки информации. Однако типовые печатные антенны имеют узкую рабочую полосу частот и не подходят для реализации двухдиапазонной работы. Кроме типовых печатных антенн, в настоящее время разработаны и широко применяются на практике широкополосные антенны в печатном исполнении.

Поскольку рассматриваемая антенна работает в разных поддиапазонах последовательно во времени, то ее можно выполнить на основе широкополосных излучателей с механическим изменением поляризации.

Антенную решетку также можно реализовать в виде совмещенной системы печатных широкополосных излучателей, работающей в двух поддиапазонах. В докладе приводится модель такой решетки. По размерам апертуры антенная решетка соответствует зеркальной антенне, диаметром $D = 60$ см. По энергетическим характеристикам антенная решетка превосходит зеркальную антенну с эффективностью 0,6.

Другой способ реализации двухдиапазонной антенны состоит в применении технологии гальванопластики для изготовления компактных рупорных антенно-фидерных систем и совмещения их в одной апертуре. Такие антенные системы уже были изготовлены для работы в режиме приема на частотах 10,7 – 12,75 ГГц. По аналогии с этой антенной решеткой можно выполнить и двухдиапазонную антенну. Чтобы разместить два диапазона в одной апертуре, необходимо подобрать оптимальную форму излучателя. Оптимизация формы излучающего раскрыва проводилась с помощью специализированных программ, применяемых для расчета антенн и устройств СВЧ.

В докладе приведены модели антенных систем из рупорных излучателей с ромбической, эллиптической и крестообразной формой излучающего раскрыва. Антенное полотно формируется системой рупорных излучателей с различной формой излучающего раскрыва при работе на передачу и на прием. Форма излучающего раскрыва рупора выбирается исходя из условий размещения рупоров разных диапазонов в одной апертуре, а также она должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к характеристикам направленности, согласования и поляризационным характеристикам. Возможны и другие варианты построения антенного полотна, например, из волноводных излучателей или волноводов и рупоров.

Таким образом, разработаны модели двухдиапазонных и широкополосных излучателей, работающих в Ку-диапазоне. Определены характеристики направленности и частотные характеристики отдельных элементов и в составе антенной решетки из 64 элементов. Приведены модели двухдиапазонных антенных решеток, изготовленных по печатной технологии и технологии гальванопластики. Рассмотрены диаграммы направленности и характеристики согласования. Показана

возможность совмещения двух диапазонов в одной апертуре при допустимом изменении характеристик направленности и частотных характеристик.

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 ресурсо- 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 параметров реле-пульта 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 со-

стоящий 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;
- оторесурса 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 все ужесточающейся конкуренции фирм.

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 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 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 перемычек 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 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 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.

О СОЗДАНИИ МАЛОЭЛЕМЕНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ГРУППЫ ОСТРОНАПРАВЛЕННЫХ КОМПЛАНАРНЫХ АНТЕНН УВЕЛИЧЕННОГО ДИАМЕТРА, РАЗМЕЩАЕМЫХ НА ОБЩЕЙ ОПОРНО-ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЕ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

*В. И. Гусевский, А. В. Клементьева,
О. Н. Цветкова, Ю. Н. Бугаев,*

*Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт», г. Москва*

Альтернативой созданию высокоэффективных антенных устройств наземного и космического базирования, на основе одиночных зеркальных антенн большого диаметра, является известное техническое направление, заключающееся в использовании малоэлементных антенных устройств, состоящих из группы менее громоздких остронаправленных антенн, совокупные электрические параметры которых, практически эквивалентны антенне большого диаметра.

В связи с последними достижениями в области ФАР больших размеров, появились новые возможности в части совершенствования техники проектирования ФАР и оптимизации их характеристик. В частности, с использованием управляемых линий задержки в пределах нескольких ширин ДН всего антенного раскрыва может быть обеспечено не только немеханического сканирование главного луча ДН, но и электронное управление полем излучения, в том числе автосопровождения цели или объектов связи с расширенной угловой зоной слеже-

ния, движущихся с большими угловыми скоростями, составляющими несколько махов. Существенным дополнением к технически полезным возможностям малоэлементных ФАР являются процедуры избирательного адаптивного подавления боковых лепестков повышенной интенсивности, по которым могут приходить преднамеренные помеховые сигналы, в том числе и широкополосные помехи. Одна из проблем создания неэквилидистантных ФАР с остронаправленными антеннами, размещаемыми на площадке ограниченных размеров, состоит в том, что при разработке таких комплексов космического базирования резко возрастают экономические затраты, связанные с увеличением общей площади платформ, развертываемых в космосе. Тем не менее при плотной упаковке остронаправленных антенн в едином раскрыве ФАР может быть осуществлена оптимизация электродинамических характеристик антенного поля, например, может быть реализовано управление положением фазового центра каждой отдельной остронаправленной антенны, входящей в состав ФАР, для того чтобы, во-первых, разрушить традиционный принцип эквидистантной расстановки элементов ФАР, во-вторых, сохранить возможность электронного управления ДН всей антенной решетки. Указанный подход может использоваться в том числе для снижения уровня дифракционных боковых лепестков, причиной возникновения которых являются большие значения межэлементных расстояний. Вместе с этими особенностями ФАР с остронаправленными антеннами необходимо также учитывать и экономические факторы при сравнении стоимости проектирования и изготовления одиночной антенны увеличенного размера и малоэлементной ФАР с сопоставимыми электрическими характеристиками. Например, в течение длительного времени эксплуатации антенн, в том числе и на этапе их проектирования, установлено, что стоимость комплексов с зеркальными антеннами пропорциональна отношению куба их диаметров. Например, для семиэлементной антенной решетки X-диапазона частот с зеркальными антеннами диаметром ~ 1 м, с плотным размещением в узлах гексагональной сетки, эквивалентной одному трехметровому зеркалу, может быть получена экономическая эффективность, превышающая в $20 \div 25$ раз стоимость однозеркального варианта с увеличенным диаметром зеркала. При этом в решеточном исполнении, как упоминалось, могут быть реализованы дополнительные технические возможности. Иллюстрации, относящиеся к материалам данного сообщения, приведены в приложении.

**УНИФИЦИРОВАННЫЕ МОДУЛИ НИВЕЛИРОВАНИЯ
РАЗБАЛАНСА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ БАТАРЕЙ
АККУМУЛЯТОРОВ И ИОНИСТОРОВ
(СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ)**

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

В настоящее время основным номинальным уровнем напряжения бортсети и силовых шин систем электроснабжения (СЭС) большинства космических аппаратов и долговременных орбитальных станций является уровень = 27В. Для питания потребителей с другими уровнями напряжений используются индивидуальные DC/DC преобразователи понижающего или повышающего типов соответствующей мощности и параметров. Наряду с очевидными достоинствами применения данного технического решения для централизованных систем электроснабжения малой и средней мощности – до нескольких кВт и выше, в системах электроснабжения высоких уровней мощности в десятки, сотни кВт и выше, с целью достижения высоких технико-экономических показателей систем электроснабжения, повышения КПД аппаратуры регулирования и контроля, снижения потерь энергии в бортсети, необходимо применение более высокого напряжения. Это особенно актуально в связи с участием ряда отечественных предприятий отрасли в совместных перспективных международных космических проектах, в которых зарубежные партнеры используют, как правило, более высокое напряжение бортсети.

Появление высокоэффективных электрохимических накопителей энергии – литий-ионных аккумуляторов и ионисторов (суперконденсаторов) позволяет создавать на их основе высокоэнергоемкие и высокомогущные гибридные накопители, в том числе высокого напряжения, позволяющие использовать одновременно в одной системе достоинства аккумуляторов – их высокую удельную энергию и ионисторов (суперконденсаторов) – их высокую мощность и большие токи заряда и разряда, в одной системе.

Однако, требования к контролю параметров многоэлементных и высоковольтных батарей ужесточаются. Особенно возрастают требования к эффективности, точности и надежности систем контроля и управления батарей, а также к допустимому уровню разбаланса отдельных элементов ХИТ при их эксплуатации в составе многоэлементных и высоковольтных батарей аккумуляторов и ионисторов.

Разработанные в ИЗМИРАН электронные нивелиры разбаланса типа ЭЛНИ (электронный нивелир) эффективно, с КПД не ниже (95 – 98)% выравнивают напряжения на элементах батарей, обеспечивая активную двунаправленную передачу энергии разбаланса между элементами. Скорость нивелирования максимальна по сравнению с известными вариантами пассивной и активной однонаправленной «балансировки». Каскадирование единичных модулей нивелирования позволяет выбирать необходимые параметры нивелирования (ток, напряжение, скорость нивелирования, величину разбаланса) для батарей химических источников тока любых типов, любой номенклатуры, состава и условий эксплуатации.

На основе опыта применения различных модификаций ЭЛНИ в батареях различных электрохимических систем и различной номенклатуры, разработан и создан унифицированный ряд модулей ЭЛНИ нескольких наименований, отличающихся количеством выравнивающих ячеек в единичном модуле, номинальным (или максимальным) напряжением на выравнивающих ячейках, величиной номинального тока разбаланса.

Унифицированные единичные модули ЭЛНИ могут подключаться последовательно и параллельно к батареям, что позволяет «охватить» все возможные варианты современных и перспективных батарей различных электрохимических систем (литий-ионных, никель-кадмиевых, никель-водородных, серебряно-цинковых и т. д.) практически любого номинального напряжения – от нескольких единиц Вольт до десятков и сотен Вольт емкостью от нескольких ампер-часов до нескольких сотен ампер-часов.

В качестве иллюстрации на рисунке представлен вариант подключения модулей нивелирования к литий-ионной аккумуляторной батарее с номинальным напряжением 100 В, состоящей из 24 последовательно соединенных литий-ионных аккумуляторов. Для получения полностью сбалансированной батареи используется два типа унифицированных модулей ЭЛНИ:

В целом для батареи с номинальным напряжением 100 В необходимо иметь 2 модуля ЭЛНИ первого типа и 1 модуля ЭЛНИ второго типа.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ.....	3
СЕКЦИЯ 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ, ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ.....	10
СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ И СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	42
СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ.....	59
СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ СЕКЦИЯ.....	78
СЕКЦИЯ 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА.....	98
СЕКЦИЯ 6. АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	130

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

Подписано в печать 22.05.2018.
Тираж 150 экз.