



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

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



МОСКВА
2020

Тезисы докладов Восьмой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2020. – 78 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
ВОСЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ»**

**О СОЗДАНИИ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ
СПУТНИКОВ БЕЛОРУССКОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
И «КАНОПУС-В» В ИНТЕРЕСАХ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА**

*¹П. А. Витязь, ¹С. А. Золотой, ²Л. А. Макриденко, ²С. И. Терехов,
¹НАН Беларуси, г. Минск,
²АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Одной из основных целей Союзного государства, определенной в договоре от 8 декабря 1999 года о его создании, является обеспечение социально-экономического развития на основе объединения материального и интеллектуального потенциалов государств-участников и использования рыночных механизмов функционирования экономики.

Для Союзного государства применение космических средств имеет особое значение. Специфика его географического положения, размещения ресурсов и социально-экономических объектов такова, что ни одна серьезная социально-экономическая программа не может быть успешно реализована без использования космической техники, в том числе при решении задач создания единого информационного пространства, рациональном использовании природных ресурсов, развитии навигации и телекоммуникаций, проведении экологического мониторинга земной поверхности, эффективного использования транспорта и повышения качества гидрометеорологических прогнозов.

Высокие требования к характеристикам применяемой космической аппаратуры, уровню надежности и работоспособности космических объектов в жестких условиях космической среды стимулируют создание высокоэффективных технологий. Космические технологии являются базой для производства высокотехнологичной продукции, конкурентоспособной на мировом рынке, и мощным рычагом развития научно-технического прогресса.

Успешная реализация программ Союзного государства по космической тематике «Космос-БР» (2001 – 2002), «Космос-СГ» (2004 – 2007), «Космос-НТ» (2008 – 2011), «Мониторинг-СГ» (2013 – 2017), «Стандартизация-СГ» (2011 – 2014) создала технологическую основу для практической реализации Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ) и создания российско-белорусской орбитальной группировки космических аппаратов с оп-

тическими камерами высокого разрешения (2 метра в панхроматическом режиме и 10 метров в многозональном режиме).

Кроме того, в рамках программы «Стандартизация-СГ» на 2011 – 2014 гг. специалистами Беларуси и России были сформированы единые нормативно-технические требования и правила проведения работ в области создания космической техники. При этом в ходе выполнения программы разработано 28 стандартов Республики Беларусь и 40 стандартов Российской Федерации, регламентирующих деятельность по проектированию и изготовлению космической техники.

В рамках программы «Мониторинг-СГ» на 2013 – 2017 годы созданы экспериментальные участки комплексного мониторинга, ориентированные на решение прикладных тематических задач в интересах российских и белорусских потребителей с использованием информации от космических средств в сочетании с воздушными и наземными средствами (системами).

Соглашение между Национальной академией наук Беларуси и Государственной корпорацией по космической деятельности «Роскосмос» о расширении возможностей действующей орбитальной группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли за счет использования объединенного информационного ресурса БКА, «Канопус-В» № 3, 4, 5, 6 и «Канопус-В-ИК» открывает новые возможности для повышения эффективности решения народно-хозяйственных задач Союзного государства.

СЕКЦИЯ 1.

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

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО НАБОРА ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Р. В. Белый,
ФГБОУ высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва*

В интересах сбалансированного развития космических систем ДЗЗ и компенсации технологического отставания от зарубежных стран, отечественными предприятиями выдвигается проблема совершенствования управления разработкой, ориентированная на сокращение временных и стоимостных затрат. Значимость задачи проявляется в обеспечении возможности формирования на

ранней стадии проектирования оптимальной стратегии управления разработкой КА ДЗЗ, обнаружении и постановке множества организационных и технических вопросов. Именно поэтому актуальна задача прогнозирования технического облика (ТО) перспективного КА.

Системный подход к прогнозированию сложных объектов требует максимально возможного учета совокупности переменных, характеризующих объект, и взаимосвязей между ними. В процессе исследования нередко возникает задача выбора компромиссного варианта между числом переменных в описании объекта и сложностью, и трудоемкостью анализа и прогноза. К тому же задача значительно усложняется, если большинство или все из этих переменных имеют стохастический характер. На первом этапе требуется разработать информационно-аналитическую модель, в которой должны быть учтены теоретические основы, которыми описывается КА ДЗЗ. В силу значительного количества параметров и отсутствия информации по многим из них задача оценки ТО решается довольно сложно.

В связи с этим пространство характеристик необходимо сократить и из всего перечня параметров выбрать наиболее значимые характеристики при минимальной потере информативности результата оценки и прогноза.

Методы снижения размерности описаний сложных объектов являются весьма актуальными для прогностики. Для этого используются достижения теории информации, корреляционного анализа, теории измерений и ряда других наук и их областей. Большинство методов требует объема статистики исследуемых параметров, в связи с закрытостью некоторых характеристик, как отечественных, так и зарубежных космических аппаратов, комплексное прогнозирование ТО космических систем не всегда возможно.

Введем понятие информативный набор параметров. Под ним будем понимать совокупность характеристик, описывающих КА ДЗЗ и процесс его функционирования с достаточной степенью для решения задачи прогнозирования технического облика на определенный период времени.

Выделяют два существенных подхода к решению проблемы сокращения количества исходных переменных: отсеивание менее существенных факторов и замена исходного набора переменных меньшим числом эквивалентных факторов, полученных в результате преобразований исходного набора.

Реализация методики предполагает для выявления значимых характеристик использовать качественный подход на основе результатов экспертного опроса, а для преобразования исходного набора характеристик – методы факторного анализа и информационно-аналитическую модель.

Результатом практической реализации предлагаемой методики является информативный набор параметров, используемый в качестве исходных данных в дальнейших исследованиях по формированию технического облика.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОТНО-ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
«КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА» В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

*Н. И. Сидняев, В. А. Никишина,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
г. Москва*

В настоящее время основной причиной образования мелких некаталогизированных объектов являются аварии (разрушения, взрывы) КО на орбите. Характерная черта примененного подхода к описанию источника загрязнения состоит в том, что вместо данных о конкретных запусках и случаях разрушения используются усредненные данные. Среднее число ежегодно образующихся объектов разных размеров $n(d > d_j)$, а также соотношение между числом ежегодно образующихся мелких объектов и соответствующим числом каталогизированных КО определяется зависимостью $n(d > d_j) = k(d_j)n(d_{cat})$. Коэффициент технической политики $k(d_j)$, который характеризует отношение ежегодно образующегося числа каталогизированных КО в будущие моменты времени к соответствующей оценке на предшествующем интервале. Высотное распределение ежегодно образующихся объектов $dp(h_p, d)$ размером более d (здесь h_p – высота перигея), а также статистические распределения их эксцентриситетов $p(e, d)$ и наклонов $p(i, d)$.

Задание распределений трех элементов орбит (h_p, e, i) достаточно для статистического описания обстановки, так как остальные три элемента (долгота восходящего узла Ω , аргумент перигея ω и средняя аномалия в начальный момент M_0) с достаточной для приложений точностью распределены равномерно на интервале $0 - 2\pi$. При этом использую и Монте-Карло, построенные по реальным данным статистические распределения ежегодного прироста $dp(h_p, d_{cat})$, $p(e, d_{cat})$, $p(i, d_{cat})$ каталогизированных объектов, а также априорные данные о зависимости скорости разлета фрагментов от их размеров.

Выявлены оценки средних концентраций КО N на разных высотах. Показано, что влияние объектов из конкретного диапазона, где расположен перигей их орбиты, выходит за границы диапазона и распространяется на более высокие слои до 1000 км. Например, на высоте 850 км концентрация объектов с высотами перигея до 800 км составляет 35% от их концентрации в диапазоне высот 700 – 800 км. Причиной этого эффекта является значительная доля некруговых орбит. Таким образом, допущение о круговой форме всех орбит приводит к существенным погрешностям в результатах.

При построении высотно-широтного распределения концентраций КО рассматривается не пара объектов, а все множество; на основе гистограмм

распределений $p(h_p)$, $p(e)$ и $p(i)$ решается задача построения суммарной концентрации. Если принять число КО в единице объема (концентрацию) $p(h, \varphi)$, где h – высота точки над поверхностью Земли; φ – географическая широта. Долгота точки не учитывается, так как из практически равномерного распределения долготы узлов КО следует независимость плотности от географической долготы. Для функции $p(h, \varphi)$ используется формула:

$$\rho(h, \varphi) = \frac{F(\varphi)}{2\pi^2 (h+R)^2 \Delta h} \int_{h_p} \int_e \Delta\tau(h_p, e) \Phi(h_p, e, h) p(h_p) p(e) dh_p de,$$

$$\Phi(h_p, e, h) = \frac{(1-e)^2}{\sqrt{1-e^2}} \left(\frac{h+R}{h_p+R} \right)^2, \quad F(\varphi) = \int_i \frac{p(i) di}{\sqrt{\sin^2 i - \sin^2 \varphi}}.$$

Здесь R – радиус Земли; $\Delta\tau(h_p, e)$ – нормированный (в долях периода) интервал времени, в течение которого КО с элементами орбиты h_p, e находится высотном диапазоне $(h, h + \Delta h)$. Для вычисления $p(h, \varphi)$ в точках околоземного пространства с различной высотой и широтой необходимо разбить весь высотный диапазон на интервалы. При этом удобно использовать те же разбиения аргументов, которые применяются в гистограммах $p(h_p)$, $p(e)$ и $p(i)$. Тогда интегралы заменяются на соответствующие суммы. Пространственное распределение концентрации характеризуется функцией $p(h, \varphi)_j$ для различных диапазонов j размеров КО. Значения функции $p(h, \varphi)_j$ представляются в виде произведения $p(h, \varphi)_j = p(h, \varphi)_{jH} p_{j\max}$, где $p_{j\max}$ – максимальное значение концентрации техногенного вещества для j -го диапазона его размеров; $p(h, \varphi)_{jH}$ – соответствующее нормированное значение концентрации.

Среднее значение концентрации техногенного вещества разных размеров на заданной высоте h определяется по формуле:

$$\bar{\rho}(h)_j = \sum_k \rho(h, \varphi_k)_j \cdot \cos(\varphi_k) / \sum_k \cos(\varphi_k).$$

Исследования показывают, что абсолютный максимум концентрации достигается на высоте $h \approx 600 - 800$ км в диапазоне широт $80 - 85^\circ$. Он равен $1,10 \cdot 10^{-6}$ объектов в км^3 . Второй достаточно четко выраженный (локальный) максимум приходится на высоте $1400 - 1500$ км в диапазоне широт $70 - 75^\circ$. Его величина составом 37% от глобального максимума. Концентрация объектов в районе экватора составляет 20 – 30 % от максимальной концентрации и соответствующей высоте. В диапазоне $h \approx 400 - 500$ км концентрация объектов составляет примерно 4 % от глобального максимума.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Я. А. Скороходов, О. А. Фуженко,
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Моделирование является неотъемлемым этапом проектирования сложных технических систем, позволяющим обоснованно сформировать облик системы и уточнить ее характеристики для достижения необходимого целевого эффекта при ее применении в будущем. Применительно к космическим радиолокационным системам (КРЛС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) моделирование обеспечивает согласование между тактико-техническими характеристиками радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) и оперативно-тактическими характеристиками системы в целом.

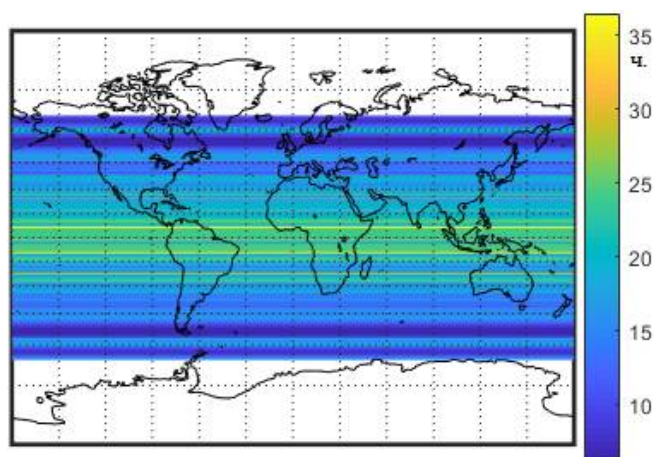
Целью исследований является разработка модельно-алгоритмического обеспечения оценивания показателей качества функционирования КРЛС ДЗЗ.

Разработана модель функционирования космических КРЛС землеобзора, представляющая собой совокупность частных имитационных и аналитических (детерминированных и стохастических) моделей, включающую модель космического аппарата (КА) с радаром с синтезированной апертурой антенны (в части описания применения по назначению), модель орбитальной группировки (ОГ) КА, модель наземного комплекса приема специальной информации, модель энергетических потерь в линии связи, баллистические модели (орбитального движения, преобразования систем координат и др.).

Разработан комплекс алгоритмов оценивания показателей качества функционирования КРЛС ДЗЗ: оценивания периодичности наблюдения районов земной поверхности ОГ КА с РСА; определения минимального состава ОГ КА с РСА для достижения требуемых значений периодичности наблюдения районов земной поверхности; априорного оценивания основных характеристик радиолокационного изображения заданного района земной поверхности и др.

Предлагаемый подход (к оцениванию показателей качества) обладает новизной, заключающейся в том, что показатели качества, подлежащие оцениванию, рассматриваются как случайные величины, а результаты вычислений представляют собой оценки их математических ожиданий, полученные при различных вариантах исходных данных для моделирования (например, долготы восходящего узла орбиты или начального значения истинной аномалии при постоянстве других параметров орбитального движения).

В качестве примера использования разработанного математического аппарата представлены результаты компьютерного эксперимента по оцениванию периодичности наблюдения районов земной поверхности.



**Схематическое изображение средней периодичности
наблюдения районов земной поверхности**

Результаты вычислений представлены на рисунке. При проведении эксперимента моделировалось применение КА с РСА на круговой орбите с наклоном $i = 60$ град. и высотой $h = 500$ км. Параметры съемки: двухсторонний боковой обзор, угол визирования изменяется в диапазоне от $25 - 50^\circ$. Незакрашенные области на рисунке говорят об отсутствии их наблюдаемости ОГ КА с заданными параметрами.

Разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение может использоваться для обоснования требований к проектно-баллистическим характеристикам космических РСА на этапе разработки технического задания в рамках опытно-конструкторских работ.

Направлением дальнейших исследований является разработка метода синтеза космических радиолокационных систем землеобзора и обоснования требований к ним, разработка алгоритмов оценивания показателей качества функционирования космических систем комбинированного радиолокационного и радиоэлектронного контроля (на основе приема сигналов радиотехнического обеспечения, в частности Автоматической идентификационной системы).

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*О. А. Фуженко,
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург*

Выполнение разработок в области дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) невозможно без натурной отработки и проверки результатов, получае-

мых на различных этапах жизненного цикла изделий, что само по себе сложный технологический процесс, основанный на совместном целенаправленном применении следующих основных составляющих:

- полигонной базы, обеспечивающей формирование требуемой (как типовой, так и специально создаваемой) фоноцелевой обстановки (ФЦО);
- экспериментальной (испытательной и лабораторной) базы;
- инженерно-технического и научного персонала соответствующей специализации и уровня компетенции.

Формирование единого подхода к системе испытаний на основе корректного комплексирования вышеприведенных составляющих созрело еще в конце 1990-х годов. Однако, резкое снижение финансирования перспективных разработок на фоне общегосударственного кризиса привело к фактическому развалу системы испытаний на отдельные слабо увязанные между собой составляющие. В настоящее время организация каждого этапа натурных испытаний любого вновь создаваемого изделия стала отдельной нетривиальной задачей поиска соисполнителей и согласования их взаимодействия, что нередко приводит к выбору далеко не лучших вариантов с потерей качества при существенном дублировании финансовых и иных расходов.

Существенное повышение за последние годы объема текущих (в том числе возобновленных) и перспективных разработок при необходимости экономии средств с максимальным сохранением полноты и качества проверок заставляет вернуться к пересмотру подхода к системе испытаний. При этом схожесть технологий определяет целесообразность централизации усилий организаций различной ведомственной принадлежности по организации и проведению испытаний с учетом специфики носителей ДО (космос, земля, море, воздух) и типизации ФЦО. Сформировать такие «центры» и поддерживать их эксплуатацию в целом способны крупные предприятия промышленности, специализирующиеся в области технологий ДЗЗ. Однако, передача всей полноты принятия итоговых решений конкретным предприятиям отрицательно скажется на корректности экспертиз и решений о продвижении перспективных разработок. Разрешение такого противоречия возможно следующим путем:

1. В качестве полигонной базы выбрать действующие испытательные полигоны. Предпочтение отдавать полигонам Минобороны России, уже обладающим типовым набором объектов и фоновых образований для формирования заданного состава ФЦО и существенным опытом проведения испытаний. Количество и территориальное расположение этих полигонов позволяют осуществить такой выбор корректно. Оборудование испытательных и калибровочных площадок осуществить силами заинтересованных предприятий промышленности под контролем ведомственных НИУ заказчика.

2. Сформировать на базе имеющихся на текущий момент сил и средств отдельные подразделения с задачей обеспечения испытаний методов и средств ДЗЗ, а также иных технологически близких к ним задач в части задействования носителей (авиационных, морских) датчикового оборудования (ДО).

3. Сформировать на базе НИУ, имеющих значимый опыт участия в испытаниях методов и средств ДЗЗ, отдельные подразделения с задачей планирования и непосредственного выполнения испытаний, а также иных технологически близких к ним задач в части эксплуатации ДО (в первую очередь в качестве операторов на борту авиационных и морских судов), с последующими экспертизой их результатов, формированием и уточнением системы исходных данных (СИД) ФЦО.

4. Закрепить за такими подразделениями на первом этапе готовое в техническом и технологическом плане (при необходимости – доработанное) разнотипное ДО, а также его носители с экипажами и операторами, имеющими соответствующую квалификацию и опыт выполнения нетиповых заданий (в первую очередь в области задач ДЗЗ). Впоследствии дооснащать такие подразделения (в первоочередном порядке) носителями и ДО из числа вновь создаваемых изделий (в том числе экспериментальными образцами).

5. Сформировать из заинтересованных ведомств межведомственный орган управления, координирующий порядок проведения испытаний и привлечения к их выполнению (в том числе в части модернизации) дополнительных сил и средств, исходя из общего объема и срочности решаемых задач.

Представленная постановка вопроса позволяет обеспечить:

- единый подход к натурным испытаниям в типовых условиях выполнения целевых задач;

- экономию ресурсов на организацию и проведение испытаний, а также на создание и последующую эксплуатацию калибровочных комплексов;

- максимальную конкуренцию предприятий промышленности в разработке методов и средств ДЗЗ при независимости экспертизы результатов их натурных испытаний (в том числе в сравнении с иными образцами);

- повышение эффективности формирования СИД ФЦО и выявления скрытых дефектов разрабатываемых средств и методов за счет оптимизации программы испытаний и последующего использования действующих перспективных образцов ДО и комплексов ДЗЗ;

- повышение эффективности (как качественно, так и количественно) решения иных задач, связанных с геоинформационными технологиями.

РАЗРАБОТКА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

*Р. Н. Ахметов, Л. Б. Шилов, С. С. Раубе,
В. В. Волков, С. И. Маликина, 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) на базе малых кос-

мических аппаратов (МКА). Информация, получаемая с таких аппаратов, используется для решения задач мониторинга окружающей среды в различных областях, таких как картографирование, землеустройство, контроль загрязнения окружающей среды, сельское хозяйство, поиск полезных ископаемых, лесозаготовка, контроль заповедных районов, мониторинг чрезвычайных ситуаций и другие.

Основное назначение создаваемого МКА – съёмка поверхности Земли для получения стереоскопических снимков. Стереопара космических снимков, то есть два смежных перекрывающихся изображения одного участка, полученные с двух различных точек съёмки, позволяют сформировать цифровую модель рельефа, с помощью которой можно определять высоту объектов рельефа отснятого участка местности с высокой точностью. Информация, получаемая с МКА, обеспечит возможность формирования трёхмерных топографических карт.

Основными задачами, решаемыми на основе информации с МКА, являются:

- получение информационных данных для формирования стереоскопических снимков;
- создание цифровых моделей местности и рельефа;
- получение высотной информации о рельефе и объектах земной поверхности;
- создание топогеодезической основы для ортотрансформирования снимков, полученных с отечественной орбитальной группировки КА ДЗЗ;
- получение информационных данных для создания и обновления карт;
- обеспечение актуальными данными ДЗЗ органов государственной власти, местного самоуправления и предприятий различных форм собственности;
- мониторинг чрезвычайных ситуаций (наводнения, пожары, оползни).

Получаемая информация может быть использована в интересах развития международного сотрудничества России в области контроля и охраны окружающей среды и решения актуальных социально-экономических задач.

В настоящем проекте за прототип для создания МКА ДЗЗ для стереоскопической съёмки был взят опытно-технологический МКА «Аист-2Д». МКА «Аист-2Д» 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». Особенностью этого МКА является также то, что вся бортовая аппаратура, включая оптико-электронный комплекс, разработана и изготовлена в России, преимущественно на отечественной электронно-компонентной базе.

В ходе летных испытаний космического комплекса «Аист-2» была подтверждена работоспособность космической платформы МКА «Аист-2Д» при подготовке к пуску, во время пуска, при управлении в полете и получении целевой и научной информации. Бортовая аппаратура платформы МКА

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, снабжение электроэнергией, поддержание теплового режима МКА. Таким образом, платформу ОТ МКА «Аист-2Д» целесообразно использовать в качестве прототипа для разработки нового перспективного МКА ДЗЗ для стереоскопической съемки.

Имеющийся в АО «РКЦ «Прогресс» и у предприятий кооперации значительный опыт создания целевой, обеспечивающей бортовой аппаратуры и космических аппаратов ДЗЗ в целом, возможности производственной и испытательной базы к настоящему времени, задел по изготовлению космических комплексов и систем и их составных частей подтверждают возможность создания МКА для стереоскопической съемки с требуемыми характеристиками.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ СЪЕМКИ ГРУППИРОВКОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

*С. М. Шихин,
АО «НПО Лавочкина», г. Химки*

Работа посвящена разработке метода рационального планирования съемки объектов на поверхности Земли методом использующим алгоритмы поиска на графах с учетом накладываемых ограничений бортовых и наземных систем. Радиолокационные системы ДЗЗ космического базирования являются эффективным средством получения оперативной и долговременной информации о состоянии и динамике объектов и районов земного шара в глобальных и региональных масштабах независимо от метеорологических условий и времени суток.

Рассмотрим космическую систему (КС) – сложную целенаправленную автоматизированную систему (АС), состоящую из группировки космических аппаратов (КА), а также из наземной системы управления. Основная функция такой системы заключается в съемке расположенных на поверхности Земли объектов наблюдения (ОН) и передаче соответствующих данных на пункты приема информации (ППИ). Число значимых объектов разных типов, число их свойств, связей, параметров, которые должны быть представлены в модели проблемной области, очень велико. В современных АС имеет место широкое и все возрастающее применение программно-технических средств (ПТС). Причем, современные ПТС продолжают быстро развиваться.

Различие в орбитальном построении существующих КС РЛН обусловлены особенностями решаемых задач.

Космическая система оптико-электронного наблюдения представляет собой совокупность согласованно действующих средств: космических аппара-

тов, ракетно-космического комплекса, наземного комплекса управления и наземного информационного комплекса. Система космических аппаратов характеризуется составом и орбитальным построением.

Совокупность оптических, электронных и радиотехнических устройств, предназначенных для передачи изображения наблюдаемого объекта с борта КА в наземный информационный комплекс (НИК), называется информационным трактом.

Тем не менее, ПТС пока несовершенны, и это влечет ошибки проблемной области АС. Цена таких ошибок может оказаться очень большой. Задачи обеспечения надежной верификации и отказоустойчивости ПТС остаются нерешенными. Модификация ПТС затруднена. В практике применения современных инструментальных программных средств (ПС) возникают затруднения и, поэтому, приходится утверждать о неполном соответствии возможностей средств задачам АС. Множество значимых составляющих проблемной области АС, множество их значимых свойств и связей, параметров охватывается не полностью. Для АС необходимы средства автоматизации принципиально нового уровня. Эти средства должны обеспечивать требуемую полноту (избыточность на случай нештатных ситуаций) охвата проблемной области с помощью математических моделей, ориентированных на проблематику АС при учете возможностей и особенностей реализующих их ПТС. Средства автоматизации, соответствующие математические модели должны иметь единое представление. Их применение должно обеспечить модифицирование, развитие проблемной области АС.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭТАПОВ СОСТАВНОЙ ЧАСТИ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ РАБОТЫ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СМЕТЫ ЗАТРАТ

*С. А. Лизунов,
АО «Военно-промышленная корпорация
«Научно-производственное объединение машиностроения»,
г. Реутов*

Наука в XXI веке становится одной из важнейших областей деятельности. Ее развитие определяет содержание технического прогресса в обществе и поэтому должно иметь опережающие темпы по отношению к развитию самой техники и ее производству. Освоение научных достижений – источник роста производительности труда и повышения эффективности производства.

Технико-экономическое обоснование предусматривает составление дифференцированной сметы затрат на ОКР, расчет научно-технической, экономической или социальной эффективности результатов ОКР.

Рассмотрены основные этапы разработки СЭП для КА и соответствующая каждому этапу статья затрат, применены в комплексе расчетные методы, именно: метод *прямого счета и коэффициентный метод (используем на этапе эскизного проектирования)*; метод *сравнения с аналогичным проектом (этапом) и моделированием ситуации в работе над СЭП (для сокращения сроков и снижению количества работ по проектированию)*; метод *сбора и анализа данных (характерной особенностью которого является система показателей, характеризующая выполнение работы)*. Трудоемкость разработки СЭП $\tau_{\text{СЭП}}$ может быть определена как сумма величин трудоемкости выполнения отдельных стадий разработки СЭП из выражения:

$$\tau_{\text{СЭП}} = \tau_{\text{ТЗ}} + \tau_{\text{КД}} + \tau_{\text{ОО}} + \tau_{\text{ЛК}}.$$

При разработке СЭП для КА появляется возможность существенной экономии времени и материальных средств, используя уже проработанные ранее и испытанные решения, изготовленные и проверенные функциональные комплекты, используя современный принцип модульности.

Необходимость разработки унифицированной СЭП для КА с учетом потребляемой мощности: такая модель СЭП сможет обеспечить качественной электроэнергией рабочую и бесперебойную функциональность бортовой аппаратуры (БА) и полезной нагрузки, в том числе и системы управления движения (СУД) КА и выполнение поставленной задачи по поддержанию определенного пространственно-углового положения.

Для данных операций используются двигательные установки (ДУ). Их основной недостаток – расходование «рабочего тела». Система может функционировать до тех пор, пока на борту имеется топливо для маневров. Следовательно, для увеличения срока пребывания КА на орбите необходимо либо нагружать его дополнительным топливом, либо использовать иные способы управления пространственным положением КА, позволяющие снизить затраты «рабочего тела».

Данную задачу успешно решает СЭП, преобразуя энергию Солнца в электричество, обеспечивающее длительную работу СУД КА.

Затрачивая «рабочее тело» значительно снизив расход топлива, мы стабилизируем ориентацию на орбите и можем управлять движением КА неограниченно долго.

Повышение срока службы КА. Экономическая эффективность данного решения очевидна. При первоначальном заметном увеличении затрат на разработку и испытание СЭП для КА в дальнейшем эти затраты окупаются увеличением срока службы и отказоустойчивостью всего КА.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СРЕДСТВАМИ SIMULINK

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

Автоматизация планирования космической съемки является важной и сложной задачей, успешное решение которой позволяет значительно уменьшать время планирования и повышать эффективность использования доступных ресурсов космической системы для максимального покрытия заданных территорий объектов съемки. При разработке подходов к решению данной задачи на первом этапе необходимо научиться определять положения космического аппарата (КА) на орбите в перспективные моменты времени. Также необходимо научиться получать проекции на Землю как самого КА (определять подспутниковые точки) в перспективные моменты времени его траектории движения, так и области захвата сенсора съемочной аппаратуры КА с учетом формы сенсора и заданных углов ориентации платформы. При этом требуется обеспечивать возможность представления Земли различными математическими моделями, такими как сферическая, WGS84, ПЗ-90 и др.

Математическую модель движения КА вокруг Земли по заданной орбите удобно строить в среде Matlab с использованием пакета Simulink. Движение КА описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений вида:

$$m_i \frac{d^2 \vec{r}_i}{dt^2} = \sum_{j \neq i} \vec{F}_{ij}, \quad (1)$$

где – масса i -о тела; $\vec{r}_i$ – радиус-вектор i -о тела; $\vec{F}_{ij}$ – сила, действующая на тело i со стороны тела j . При этом делаются следующие допущения:

– силы, действующие на планеты, их естественные спутники и Солнце со стороны искусственных спутников равны нулю: $\vec{F}_{i\text{КА}} = 0$;

– силы, действующие на КА со стороны всех тел, за исключением Земли, являются ньютоновскими:

$$\vec{F}_{ij} = -G \frac{m_i m_j}{r_{ij}^3} \vec{r}_{ij}, \text{ где } \vec{r}_{ij} = \vec{r}_j - \vec{r}_i;$$

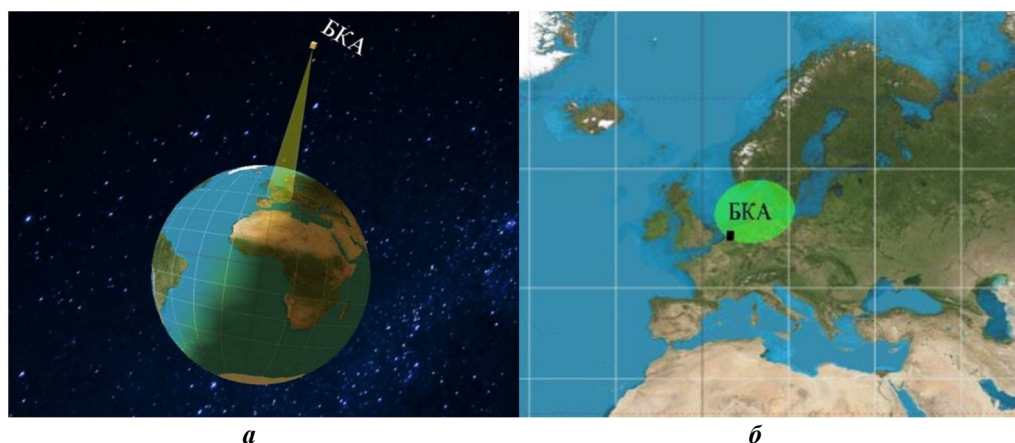
– сила, действующая на КА со стороны Земли, рассчитывается исходя из разложения потенциала гравитационного поля Земли в ряд по 120 сферическим гармоникам, при этом используется модель EGM2008.

Система уравнений (1) решается численно методом Рунге – Кутты – Фельдберга 8-го порядка.

Проекции области захвата сенсора КА на поверхность модели Земли и на карту земной поверхности для каждой точки траектории КА строятся численно. Для этого авторами был разработан специальный алгоритм, включающий следующие основные шаги:

- построение образующих фигур, задающей область зрения КА (например, конус с вершиной, в которой находится КА);
- построение точек пересечения образующих фигур с моделью поверхности Земли, которая представляется эллипсоидом (например, WGS84) или сферой;
- построение проекций точек пересечения образующих фигур с моделью поверхности Земли на плоскую карту.

Пакет Simulink предоставляет широкий набор инструментов для визуализации работы построенных в нем математических моделей систем разных типов. С помощью таких инструментов удобно выполнять визуализацию прогнозируемого движения КА по орбите в форме анимации.



Визуализация движения КА в Simulink: *a* – изображение КА и области захвата сенсора на поверхности Земли; *б* – изображение проекции области захвата сенсора КА на плоскую карту земной поверхности

На рисунке, в качестве примера, показаны два варианта визуализации КА на орбите в форме зафиксированного состояния на момент времени анимации движения КА. Первый вариант иллюстрирует КА с отображением области захвата сенсора съемочной аппаратуры на поверхности используемой модели Земли (*a*). Второй вариант (*б*) иллюстрирует отображение проекции области захвата сенсора КА на плоскую карту земной поверхности. При этом имеется возможность выбора используемых картографических проекций (например, Миллера, Меркатора или др.), задания углов ориентации платформы КА

(крена, тангажа, рысканья), а также выбора формы сенсора съёмочной аппаратуры (прямоугольник, эллипс или круг).

Построенная в Simulink математическая модель движения КА по орбите с определением подспутниковых точек и областей захвата земной поверхности сенсором съёмочной аппаратуры при заданных углах ориентации платформы, в дальнейшем станет основой для разработки решений по автоматизации планирования космической съёмки с оптимальным использованием ресурсов космической системы для максимального покрытия заданной территории.

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

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*А. В. Горбунов, М. И. Кислицкий, С. А. Матвеев, Н. С. Слободзян,
Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург*

В современной космической технике широко применяются устройства исполнительной автоматики, обеспечивающие поступательные и вращательные перемещения элементов космических аппаратов (КА). Как правило, такие устройства реализуются на основе электроприводов.

В последнее время развиваются электромеханические устройства на основе пьезоэлектрических приводов (ПЭП), которые способны выполнять аналогичные функции. Они имеют преимущества перед электромагнитными аналогами: меньшая масса; высокое развиваемое усилие при малых габаритах; высокая точность позиционирования; весьма высокая скорость; стойкость к воздействующим факторам космического пространства: низким температурам, вакууму, радиации и др.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова в течение ряда лет ведет разработку устройств исполнительной автоматики на основе пьезоэлектрического эффекта для применения в космической технике и других областях. Разработан шаговый линейный привод на основе ПЭП. Разработана платформа, которая позволяет позиционировать установленный на ней объект относительно двух ортогональных осей и перемещать поступательно по оси, нормальной к ним. Ее основные характеристики: масса – не более 68 г (вместе с блоком управления – не более 200 г); габариты – не более 45 × 25 × 30 мм; углы позиционирования – до 45°; скорость позиционирования – 28000 град./с и более; точ-

ность позиционирования – 10 угл. с; масса размещаемого на платформе оборудования – до 2 кг; потребление электроэнергии: в рабочем режиме – 5 Вт, в режиме ожидания – 0,3 Вт.

Представляются перспективными следующие области применения устройств на основе ПЭП в космической технике:

- обеспечение раскрытия трансформируемых конструкций космических аппаратов (КА) и высокоточное управление их формой;
- высокоточное и высокодинамичное наведение и стабилизация лазерной, радиотехнической, оптико-электронной аппаратуры КА;
- высокоточное управление направлением вектора тяги ракетных двигателей малой тяги;
- виброзащита бортовой аппаратуры, размещенной на платформе, виброзащита КА при транспортировке наземным или воздушным транспортом.

Применение подобных устройств на малых КА (МКА), в том числе микро- и наноспутниках, открывает возможность реализации таких технических решений, которые в настоящее время применяются только на больших КА. Можно привести следующие примеры:

1. Обеспечение одно- или двухосной ориентации солнечных батарей МКА за счет применения устройств на основе ПЭП. Это даст возможность увеличить мощность системы электроснабжения МКА. Низкая энерговооруженность современных МКА существенно ограничивает их возможности по решению целевых задач.

2. Применение платформ на основе ПЭП обеспечит функционирование на МКА устройств, требующих высокоточного и высокодинамичного наведения, например, средств лазерной связи и локации. Это, в частности, обеспечит возможность эксплуатации на орбитах роев МКА, взаимно координирующих свое движение и функционирование с помощью лазерных средств.

3. Размещение ракетного двигателя малой тяги на платформе даст возможность управлять вектором тяги, в частности, компенсировать влияние смещения центра масс КА при выработке рабочего тела двигательной установки. Такие двигатели могут быть использованы на МКА для коррекции орбиты, маневрирования, проведения программных поворотов, сброса кинетического момента маховиков и т. д.

4. Разместив зеркало перспективной бортовой оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на подобной платформе, можно перейти от традиционных поворотов КА по крену и тангажу к повороту только зеркала. За счет уменьшения момента инерции поворачиваемого объекта (на несколько порядков) с учетом свойственной платформе весьма высокой скорости поворота резко сократится время поворота зоны захвата ОЭА. В результате существенно уменьшатся потери времени на повороты КА («мертвые зоны»). Это приведет к значительному повышению эффективности космических средств ДЗЗ.

Таким образом, внедрение инновационных электромеханических устройств на основе пьезоэлектрических приводов способно обеспечить повышение широкого спектра тактико-технических характеристик космических средств.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова приглашает к сотрудничеству предприятия ракетно-космической промышленности.

АНАЛИЗ ВИТКОВОЙ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ИХ ДВИЖЕНИИ ПО НИЗКОЙ КРУГОВОЙ ОРБИТЕ

*М. С. Шевцов, С. В. Пушко,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва*

Космические аппараты дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) являются одним из основных перспективных направлений развития космических систем. При проектировании современных КА ДЗЗ бортовую аппаратуру стремятся оптимизировать по массе и габаритам с ограничением по стоимости, длительному сроку службы, высокому уровню надежности и отказоустойчивости.

Одной из важнейших служебных систем космического аппарата является система электроснабжения (СЭС), определяющая энерговооруженность космического аппарата. Надежность СЭС во многом определяет срок активного существования КА, а выход из строя системы электроснабжения влечет за собой выход из строя всего аппарата.

Для КА, применяемых в целях ДЗЗ, ограничения по размерам, массе и доступному объему системы, как правило, приводят к необходимости использовать в конструкции не ориентируемые солнечные батареи (БС). Для такой БС положение в системе координат, связанной с КА, неизменно в течение всего САС, однако в системе координат, определяющей положение КА в пространстве относительно Земли, Солнца и/или других небесных тел, ориентация плоскости БС будет непрерывно меняться, причем для низких круговых орбит (НКО), на которых обычно эксплуатируются КА ДЗЗ, такие изменения происходят со значительной скоростью изменения угловой ориентации БС на Солнце, иногда в диапазоне углов до 360 град. на одном витке орбиты. Такая динамика положения БС в пространстве накладывает серьезные ограничения на условия выработки электроэнергии батареями и значительно усложняет проектирование КА, особенно в случаях, когда требуется создать аппарат, конструкция которого способна обеспечить его успешное функционирование для орбит в широком диапазоне наклонений и долготы восходящих узлов. Как правило, для успешного решения задач ДЗЗ используют спутниковые группировки, состоящие из однотипных КА, работающих на орбитах, близких по высоте, но разнесённых по долготе восходящего узла и/или наклонению. В этом случае задача унификации конструктивного исполнения БС и их расположение на КА требует для своего решения разработки системной методики анализа сценария

выработки электрической энергии в зависимости от положения КА на каждой из орбит проектируемой группировки.

Кроме того, такой анализ должен учитывать влияние факторов космического пространства, приводящих к непрерывной деградации БС и изменению её вольтамперной характеристики в течение САС. Наличие такой информации на этапе проектирования КА позволяет разработчику надежно прогнозировать энергоресурсы аппарата в каждый момент периода его эксплуатации.

В данной работе был разработан метод оценки оптимальной ориентации БС относительно осей КА путем построения диаграмм направленности освещённости ориентированной площадки единичной площади. Зависимость положения нормали к плоскости БС относительно направления на Солнце в каждой точке орбитального движения КА для каждого витка в течение годового движения Земли по ее орбите анализировалась с помощью векторов состояния КА, рассчитанных с помощью встроенного генератора орбит информационной системы космической среды (SPENVIS).

Расчеты ВАХ БС проводились для случая начала и конца САС, в последнем учитывалось влияние облучения БС потоками заряженных частиц от естественных радиационных поясов Земли, солнечных вспышек и галактических лучей, оказывающих непрерывное воздействие на БС и приводящих к деградации ее электрических характеристик в течение всего САС.

Для учета влияния изменения температуры солнечной батареи на ее ВАХ при движении КА по орбите для каждого участка орбитального витка был проведен тепловой расчёт БС с шагом 60 с. В расчете учитывалось прохождение аппаратом теневых участков Земли, угол ориентации нормали плоскости БС относительно направления на Солнце, азимутальное положение плоскости БС и переизлучение от корпуса КА на панель БС.

Предложена методика определения оптимальной ориентации панелей БС относительно конструкции КА, функционирующего на НКО в широком диапазоне наклонений и положений восходящего узла орбиты КА. Методика позволяет надежно прогнозировать витковую выработку электроэнергии в любой период САС КА и проводить анализ ее изменения в течение каждого витка орбиты КА на протяжении годового периода обращения Земли вокруг Солнца.

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

*А. В. Лобанов, И. В. Ашарина,
АО «Научно-исследовательский институт «Субмикрон»,
г. Москва, Зеленоград*

Сбое- и отказоустойчивые (СОУ) космические информационно-управляющие системы (КИУС) представляют собой многомашинные вычис-

лительные системы, которые в сочетании с наземной инфраструктурой неизбежно являются распределенными вычислительными системами, работа которых состоит в выполнении целевого задания, представляющего взаимодействие между собой требуемых целевых задач (ЦЗ). Алгоритм работы такой КИУС, обеспечивающий ее автономное СОУ функционирование, самоуправляемые реконфигурацию и деградацию, имеет вид: 1) начальная проверка технического состояния (ТС) всех элементов КИУС и формирование таблицы ее текущего состояния (ТТС), согласованного всеми исправными элементами КИУС, создание на основе ТТС СОУ распределенного системного диспетчерского комплекса (СДК); 2) выделение со стороны СДК (на основе ТТС) комплекса каждой ЦЗ (КЦЗ) из целевого задания, обеспечивающего СОУ выполнение этой ЦЗ на основе ее репликации и СОУ взаимодействие между этой ЦЗ и другими ЦЗ на основе введения избыточных путей передач межкомплексной информации; 3) построение в СДК алгоритма всесистемной периодической СОУ работы каждого КЦЗ, реализующего свойства динамической избыточности, формирования в каждом КЦЗ периодического отчета для СДК о выполнении текущего периода работы КЦЗ и передачи этого отчета в СДК; 4) передача соответствующего алгоритма в каждый КЦЗ; 5) построение в СДК алгоритма его контроля синхронизированной и согласованной СОУ работы всех КЦЗ и самого СДК и синхронная инициализация алгоритмов работы всех КЦЗ и алгоритма их контроля в СДК; 6) выполнение каждым КЦЗ своего алгоритма периодического решения собственной ЦЗ с формированием и передачей в СДК своего периодического отчета с полной диагностической информацией о результатах обнаружения и идентификации в этом КЦЗ проявлений его неисправностей; 7) формирование в СДК диагностического отчета о результатах своей работы в текущем периоде; 8) принятие решения в СДК на основе анализа отчетов о последующих действиях своих и каждого из КЦЗ, определение и распределение алгоритмов их выполнения по соответствующим КЦЗ и инициация их синхронизированного и согласованного пуска.

СОСТОЯНИЯ СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МНОГОМАШИННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

*И. В. Ашарина, В. Ю. Гришин,
АО «НИИ «Субмикрон», г. Москва, Зеленоград*

Рассматриваются состояния многозадачных сбое- и отказоустойчивых распределенных многомашинных вычислительных систем (РМВС) на всех этапах: 1) начального включения и самодиагностирования; 2) целевой работы; 3) периодического тестового самодиагностирования; 4) перехода в безопасный останов. Эти этапы могут различаться используемыми моделями

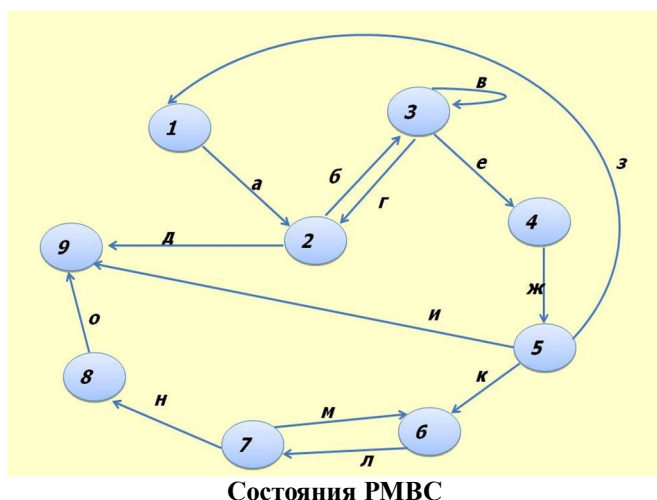
анализа, механизмами обнаружения и способами идентификации неисправностей после того, как в этой РМВС в некотором комплексе (или множестве F комплексов) была обнаружена допустимая совокупность (допустимые совокупности) неисправностей и каждая такая неисправность была также синхронно и согласованно идентифицирована всеми исправными ЦВМ соответствующего комплекса по месту возникновения и по типу как программный сбой или отказ определенной ЦВМ этого комплекса.

В начале работы РМВС формируется текущая рабочая конфигурация системы (ТРКС), т. е. часть этой системы, которая включает все ЦВМ, симплексные и псевдосимплексные каналы связи, непосредственно участвующие в выполняемых системой действиях, и характеризуется: а) графом ТРКС с вершинами, соответствующими ЦВМ (ЦВМ из ТРКС) и УС-передатчикам (УС-передатчикам из ТРКС), которые участвуют в выполняемых системой действиях, и дугами, отображающими используемые симплексные и псевдосимплексные каналы связи; граф ТРКС является подграфом графа системы; б) множеством X , элементами которого являются все неделимые объекты (НО) системы, участвующие в выполняемых системой действиях.

Всей работой РМВС управляет системный диспетчерский комплекс (СДК), объектом, исполняющим функции СДК, может быть отдельный комплекс с принятым достаточным уровнем сбое- и отказоустойчивости или подсистема РМВС, или вся РМВС в целом, которая объединяется в отведенные временные отрезки в отдельный специальный комплекс, выполняющий функции СДК. Целевая работа РМВС предполагает выполнение многозадачных заданий, поэтому под каждое задание в ней выделяется диспетчерский комплекс задания (ДКЗ), который управляет выполнением этого (многозадачного) задания.

В процессе работы состояния РМВС можно рассматривать как состояния и переходы конечного автомата (см. рисунок).

Здесь вершины состояния – выполняемые системой действия: 1 – начальная проверка системы, выявление исправных элементов; 2 – выбор в соответствии с заданием начальной ТРКС, а также выбор ТРКС по результатам функционального и тестового самодиагностирования; 3 – формирование прикладной системы в соответствии с полученным заданием; 4 – передача задания в ДКЗ; 5 – анализ сообщений от ДКЗ; 6 – восстановление целевого вычислительного процесса и заданной достоверности результатов вычислений в комплексах и в системе в целом за счет восстановления сбившихся ЦВМ и ЦВМ из горячего запаса; 7 – включение необходимых ЦВМ из холодного запаса с целью их вовлечения в ТРКС и создания необходимого горячего запаса; 8 – реконфигурация системы, с целью увеличения ее живучести путем перераспределения ЦВМ между прикладными системами; 9 – выполнение безопасного останова системы.



Дуги (переходы) – события: *а* – начальная проверка выполнена успешно; *б* – структура ТРКС определена; *в* – выбор другой структуры ТРКС; *г* – сформировать прикладную систему не удалось; *д* – перебор всех возможных вариантов прикладной системы не дал результатов; *е* – прикладная система сформирована; *ж* – получение сообщения от ДКЗ; *з* – завершение задания; *и* – идентифицированы недопустимые совокупности неисправностей или недопустимые последовательности неисправностей, или случилось непредусмотренное событие; *к* – сообщение о проблемах с реконфигурацией; *л* – горячий запас исчерпан; *м* – включение ЦВМ из холодного запаса выполнено и эти ЦВМ переведены в текущий горячий запас; *н* – холодный запас исчерпан; *о* – высокий уровень деградации, переход в состояние безопасного останова.

РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ

¹С. Н. Волков, ²С. А. Золотой, ¹И. В. Минаев,

¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,

²НАН Беларуси, г. Минск

О СОЗДАНИИ РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

¹С. Н. Волков, ²С. А. Золотой, ¹И. В. Минаев,

¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,

²НАН Беларуси, г. Минск

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

ФИЗИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ АППАРАТУРЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

¹В. Б. Дубовской, ¹И. А. Боев,
¹В. Г. Жильников, ¹В. И. Леонтьев, ²В. Г. Пишняник,
¹ФГБУ наук Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Российской академии наук, г. Москва,
²Научно-исследовательский институт космических систем
им. А. А. Максимова – филиал Акционерного общества
«Государственный космический научно-производственный
центр имени М. В. Хруничева», г. Королев

Проект создания перспективной космической геодезической системы (КГС) «ГЕО-ИК-3» может быть реализован только при наличии в составе космических аппаратов гравиинерциальной и гравиградиентметрической аппаратуры с уровнем разрешения порядка $10^{-10} \dots 10^{-12} \text{ м/с}^2$ и 0,1 ... 0,01 Этвеш (Э) соответственно. Завершённых отечественных образцов такой аппаратуры, выполненных на современном технологическом уровне, к сожалению, не существует.

Ключевым моментом, определяющим возможность реализации бортовой аппаратуры определения параметров гравитационного поля Земли (ГПЗ), является разработка высокоточных спутниковых акселерометров – гравиинерциальных датчиков с разрешением $10^{-9} \dots 10^{-12} \text{ м/с}^2$.

Рассматриваются требования к высокоточному спутниковому гравиинерциальному датчику компенсационного типа, который содержит корпус; маятник с инерционной массой; торсионный подвес; датчик перемещений; систему магнитоэлектрической обратной связи.

Условием, ограничивающим регистрацию малых ускорений, является ограничение по броуновским шумам, определяемым соотношением:

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{4kT\omega_0\Delta f}{mQ}},$$

где $\sigma(x)$ – ускорение; K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; ω_0 – собственная частота упругой системы; Δf – частота среза регистрируемого сигнала; m – масса пробного тела; Q – добротность.

Из приведенного соотношения следует, что шумы акселерометра возможно минимизировать за счёт уменьшения собственной частоты и колебательной системы, увеличения её добротности и увеличения массы пробного тела.

Для достижения уровня броуновских шумов системы до величин менее 10^{-12} м/с² на частоте 0,1 Гц конструкция акселерометра должна обеспечивать следующие параметры: масса пробного тела акселерометра должна быть не менее 40 г, $\omega_0 = 0,01$ рад/с, при длине маятника 30 см и удельном упругом моменте торсионной подвески $W = 0,18$ дн см/рад., $Q = 100$.

Другим условием, регистрации малых ускорений, является высокое разрешение датчика перемещений пробной массы $\sigma(x)$, собственные шумы которого не должны провоцировать ускорения более 10^{-12} м/с². Это условие достигается, когда шумы датчика перемещений не превышают величины 0,1 ангстрем (Å).

В акселерометрах маятникового типа возникает ошибка, вызываемая совместным действием на маятник чувствительной системы горизонтальных и вертикальных ускорений. Максимальные изменения отсчёта акселерометра, обусловленные этим явлением, определяются следующим выражением:

$$\sigma(x) \leq \frac{x y Q(\omega)}{8 \pi^2 f^2 l} \sin \Delta \varphi,$$

где x и y – амплитуды возмущающих горизонтальных и вертикальных ускорений; $Q(\omega)$ – добротность резонирующего звена; l – длина маятника; f – частота; $\Delta \varphi$ – разность фаз горизонтальной и вертикальной составляющей возмущения.

При $Q(\omega) = 100$; $x, y = 10^{-6} \div 10^{-5}$ м/с²; $l = 30$ см; $\Delta \varphi = 90^\circ$, $f = 10$ Гц,
 $\sigma(x) = (4 \times 10^{-14} - 4 \times 10^{-12})$ м/с².

Наиболее эффективным методом борьбы с этим эффектом является применение средств виброзащиты.

Приведенные теоретические расчёты показывают, что технические характеристики рассмотренного типа акселерометров соответствуют требованиям, необходимых для реализации проекта КГС «ГЕО-ИК-3». Эти расчёты, в основном, подтверждены экспериментальными исследованиями.

СИСТЕМА ПРИЕМА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*В. Д. Блинов, П. А. Морозов, В. В. Жевако, Р. С. Дюльдин,
Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭК», г. Москва, Зеленоград*

ОРБИТАЛЬНЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС

*Е. Н. Сечак, А. В. Демин, Г. С. Полищук,
АО «ЛОМО», г. Санкт-Петербург*

Существующее в настоящее время разнообразие искусственных космических объектов (ИКО) и частота выведения ИКО на рабочие орбиты (Земли, Луны, любых других объектов Солнечной системы) приводит к тому, что в космическом пространстве наблюдается увеличение космического мусора (КМ), в частности благодаря тому, что отработавшие свои ресурсы ИКО могут дрейфовать в космическом пространстве продолжительное время и могут помешать работе действующих ИКО на орбитах околоземного космического пространства.

Решение данной проблематики достигается анализом существующих систем средств наблюдения, определением основных функций оптико-электронного комплекса (ОЭК) и соответственно реализацией бортового ОЭК.

Основные задачи, которые необходимо решить ОЭК:

- поиск и обнаружение ИКО;
- идентификация ИКО;
- определение параметров позиционирования ИКО в пространстве;
- построение 3D-модели ИКО.

Создание подобных комплексов является многоэтапным и многофакторным процессом, требующим решения множества технических и технологических задач, а именно:

- схемотехническое решение ОЭК, обеспечивающее обнаружение, идентификацию, определение кинематических параметров ИКО относительно ОЭК и построение 3D-модели поверхности в режиме реального времени;
- разработка математической модели и алгоритма функционирования ОЭК в системе носитель.

В ходе осуществления мониторинга и распознавания ИКО необходимо учитывать следующие факторы:

- вероятное количество ИКО в космическом пространстве, учитывая угловую скорость перемещения ИКО относительно выбранных объектов в пространстве;
- реальный угловой размер ИКО при сближении ИКО с КО ОЭК, учитывая специфику измерения параметров начиная с $\alpha_{\text{ИКО}} \times f_{\text{об}}^l \succ l_{\text{pixel}}$ – зона В ($\alpha_{\text{ИКО}}$ – угловой размер ИКО; $f_{\text{об}}$ – фокусное расстояние объектива телевизионной системы поиска и обнаружения; l_{pixel} – линейный размер pixel);
- идентификационные особенности ИКО – площадь по направлению наблюдения, эквивалентный коэффициент диффузного отражения;
- реальные скорости сближения ИКО с ОЭК;
- сопутствующая обстановка в пространстве.

В этой связи реализация работы ОЭК возможна в следующей аппаратурной реализации:

- телевизионная система поиска и обнаружения ИКО (ТВ-1);
- телевизионная система визуализации и идентификации ИКО (ТВ-2);
- лазерная локационная система построения трехмерной модели поверхности ИКО (ЛЛС);
- телевизионная система стереоскопического детального наблюдения ИКО (СТВ).

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований была показана возможность создания телевизионно-локационного комплекса орбитального обслуживания, предназначенного для решения ряда проблем, связанных с выявлением на функционирующих орбитах недействующих искусственных космических объектов, списанных в связи с истечением срока эксплуатации.

ОЦЕНКА СОПОСТАВИМОСТИ ДАННЫХ РАДИОМЕТРА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ГРУППИРОВКОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «КАНОПУС-В» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЪЕМКИ ПРИРОДНЫХ КАЛИБРОВОЧНЫХ ПОЛИГОНОВ

*А. С. Стремов, А. И. Васильев,
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы», г. Москва*

Сопоставимость измерений радиометра МСС для группировки КА типа «Канопус-В» является важнейшим условием при решении спектрометрических задач на основе множества наблюдений природных и техногенных процессов. При этом для сопоставления данных и информационных продуктов радиометров типа МСС исследователями применяются подходы на основе технологии кросс-калибровки с зарубежными съемочными системами Landsat и Sentinel. Существенным недостатком данного подхода является необходимость одномоментной съемки объектов интереса различными радиометрами, что фактически труднодостижимо, а при подборе пригодных (квазисинхронных) данных приводит к завышенным оценкам.

Опираясь на исследования сопоставимости зарубежных съемочных систем Landsat и Sentinel на основе многолетних наблюдений псевдостабильного природного калибровочного полигона Libya 4, в рамках данной работы приводятся оценки сопоставимости радиометров МСС по результатам круглогодичного наблюдения природных калибровочных полигонов Libya 4, Niger 3, Gobabeb, LaCrau, Railroad Valley Playa. Для верификации регистрируемых значений наблюдений радиометрами МСС дополнительно были зафиксированы значения MSI Sentinel-2.

Результаты оценки относительной погрешности измерения КСЯ на ВГА по калибровочным полигонам группировкой «Канопус-В» в составе шести КА в сравнении с опорными измерениями MSI KA Sentinel 2 приведены в таблице.

Полигон	Среднее количество съемок для каждого КА «Канопус-В»	Канал	$\epsilon, \%$	$\sigma_{MCC}/\sigma_{MSI}$
Gabobeb	10	BLUE	3,3	2,71
		GREEN	6,9	2,73
		RED	5,9	2,59
		NIR	6,9	2,09
Libya 4	3	BLUE	4,5	2,2
		GREEN	5,9	1,33
		RED	5,0	4
		NIR	2,2	2,77
Niger 3	5	BLUE	1,5	0,8
		GREEN	4,7	1,39
		RED	0,3	5,55
		NIR	0,64	2

Относительная погрешность ϵ измерения КСЯ на ВГА группировкой. Анализ результатов наблюдений показал:

1. «Канопус-В» не превышает 7% в сравнении с опорными измерениями MSI KA Sentinel 2.

2. Ширина разброса измерений КСЯ на ВГА по данным группировки КА «Канопус-В» в среднем в 2,5 раза больше, чем по данным Sentinel 2.

3. Для полигонов LaCrau, Railroad Valley Playa характерна нелинейная изменчивость в течение года, поэтому показания для этих полигонов требуют дополнительного анализа.

СОВМЕЩЕНИЕ ФУНКЦИЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РСА И ШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОЛИНИИ В СОСТАВЕ НАНОСПУТНИКА

¹Д. Т. Лобжанидзе, ²В. В. Сазонов,

¹АО «РТСофт», г. Москва,

²АО «Радиотехнический институт им. академика А. Л. Минца», МФТИ,
г. Москва

В докладе представлена структурная схема многоканальной радиолокационной станции синтезированной апертуры антенны (МРСА), обеспечивающая единовременную реализацию различных режимов обзора: картографирование местности с высокой разрешающей способностью, селекцию движущихся объектов и прием-передачу данных на (с) пункт (а) управления в реальном вре-

мени, размещаемая на борту малогабаритного летательного аппарата. Представлена структурная схема и опытный образец экспериментального реконфигурируемого вычислительного комплекса (МЦОС), обладающего улучшенными массогабаритными (SWAP-C) характеристиками, повышенной производительностью, высокой помехозащищённостью, обеспечивающего реализацию парадигмы интегрированной модульной авионики и программно-определяемого радио.

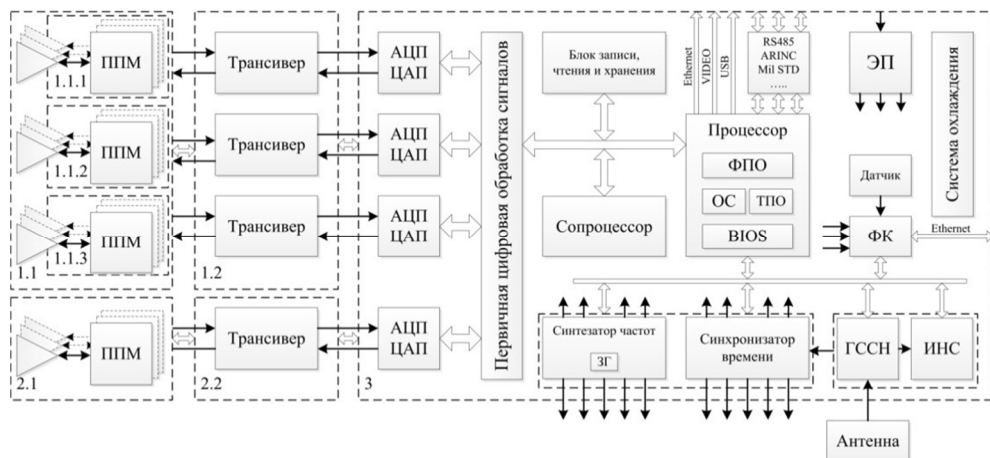


Рис. 1. Блок-схема МРСА малогабаритного летательного аппарата

На рис. 1 представлена структурная схема МРСА удовлетворяющей современным тактико-техническим требованиям, где 1.1, 1.2 и 2.1, 2.2 антенный и высокочастотный блоки МРСА и линии радиообмена, соответственно; 1.1.1 ... 1.1.3 подрешетки антенного блока МРСА; ППМ – приёмно-передающий модуль; АЦП и ЦАП – аналогово-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи, соответственно; ОС – операционная система; ФПО и ТПО – функциональное и технологическое программное обеспечения, соответственно; ЗГ – задающий генератор; ФК – процессор функционального контроля; ГССН – приемник сигналов глобальной спутниковой навигации; ИНС – инерциальная навигационная система; ЭП – источник вторичного электропитания.

На рис. 2 приведена структурная схема экспериментального многоканального блока цифровой обработки сигналов.

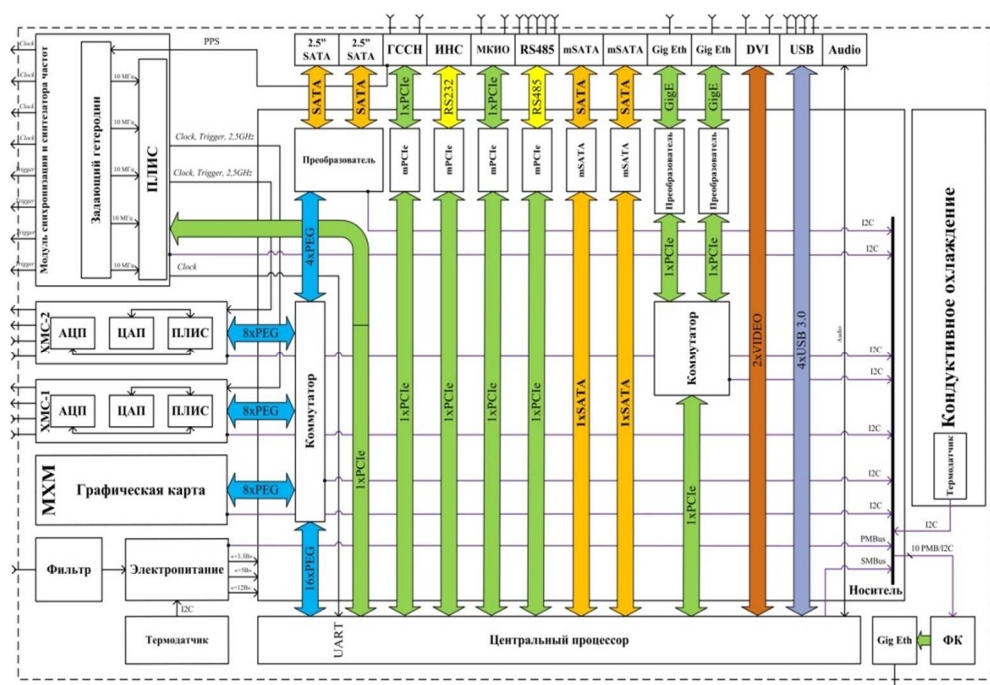


Рис. 2. Структурная схема экспериментального многоканального блока цифровой обработки сигналов малогабаритного МРСА

Отличительной особенностью МРСА является:

- расширенная область применения и помехозащищённость за счет наличия возможности приёма (передачи) сигналов по трем фазовым центрам;
- улучшенные массогабаритные показатели вследствие реализации парадигмы интегрированной модульной авионики, посредством объединения функций цифровой обработки сигналов МРСА и широкополосной радиолонии;
- повышенная производительность и пропускная способность за счет введения сопроцессора, позволяющего осуществлять обработку сигнала посредством гибридного ускорения вычислений;
- высокая надежность и точность определения текущего положения за счёт реализации режима позиционирования по сигналам нескольких глобальных систем спутниковой навигации и объединением полученной информации с сигналами инерциальных навигационных средств;
- повышенная гибкость обзора и сниженный уровень собственных шумов за счет приема и формирования сигналов в цифровом виде, как следствие реализации парадигмы программно-определяемого радио.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

¹М. В. Новиков, ²А. Е. Кузнецов,

¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,

³Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В. Ф. Уткина, г. Рязань

Одной из главных задач космических систем ДЗЗ является получение оперативной информации об энергетических характеристиках объектов земной поверхности. Для изображений видимого диапазона это коэффициенты спектральной яркости или спектральной плотности энергетической яркости на входном зрачке прибора, а для тепловых снимков земной поверхности – радиационные температуры. Искомые значения формируются путем пересчета кодов яркости пикселей изображений в энергетические величины на основе параметров, определяемых в ходе предполетной калибровки съемочной аппаратуры. К сожалению, после запуска и введения спутника в штатный режим работы радиометрические характеристики аппаратуры ДЗЗ изменяются, что приводит к снижению как визуальных, так и измерительных свойств информации.

Целью настоящего доклада является анализ используемых методов и технологий, направленных на сохранение измерительных свойств целевой информации в условиях штатной эксплуатации систем ДЗЗ.

Анализ выполняется применительно к высокодетальным системам ДЗЗ типа «Канопус-В», РБКА и др. и систем ДЗЗ низкого пространственного разрешения типа «Метеор-М» (датчик МСУ-МР) и «Электро-Л».

Проблема обеспечения высоких визуальных и измерительных свойств высокодетальных снимков земной поверхности связано с компенсацией структурных искажений, проявляющихся в виде «полосатости» и неравномерной яркости по полю снимка, а также учетом в расчетах актуальных значений темновых токов. Отмечается, что существующий подход по компенсации «полосатости» на основе уточняющих коэффициентов, найденных по результатам съемки однородных по яркости полигонов, должен дополняться методами контроля тепловых токов датчика. Другой подход по контролю измерительных свойств информации связан с процедурами абсолютной радиометрической калибровки (интеркалибровки) и уточнением параметров функцией пересчета яркости в энергетические величины. Особенность этой технологии состоит в корректном учете искажающего действия атмосферы и спектральных характеристик анализируемой и опорной информации.

Подчеркивается, что данные вопросы не нашли должного решения для КА серии «Канопус-В». В то же время для РБКА создаются средства учета искажающего действия атмосферы, что позволяет судить о хороших перспективах получения высокоточной измерительной информации.

Анализируется технология обеспечения измерительных свойств информации датчика МСУ-МР, в котором во время съемки предусмотрено позиционирование фотоприемников на бортовые опорные излучатели холодно-горячего и белого/черного. Здесь рассматриваются два варианта организации контроля измерительных свойств получаемых изображений. Первый – на основе процедуры интеркалибровки, которая в настоящее время выполняется в инициативном плане силами эксплуатирующей организации – НИЦ «Планета». Второй вариант предполагает создание в составе спутника специального прибора МСУ-КАЛИБР, который позволил бы выдавать высокостабильную информацию на входном зрачке прибора, используемую для валидации целевой информации датчиков.

В заключении подчеркивается важность обозначенных в докладе проблемных вопросов, успешное решение которых позволит повысить востребованность и конкурентоспособность отечественных систем ДЗЗ.

ПРИМЕНЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ СПУТНИКОВ В КАЧЕСТВЕ ПРИЕМНОЙ СТАНЦИИ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

¹В. К. Бодров, ¹Н. С. Парцевский, ²Д. В. Дмитриев, ³В. Ю. Прокопьев,
¹АО «ОКБ Пятое Поколение», г. Новосибирск,

²ООО «Спутниковые инновационные космические системы», г. Москва,

³ФГБОУ высшего профессионального образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»,
г. Новосибирск

Атмосферные спутники, также встречается термин псевдоспутники, представляют собой беспилотные летательные аппараты, функционирующие на большой высоте длительное время. Предоставляют услуги, для предоставления которых применяются искусственные спутники Земли.

Атмосферные спутники удерживаются в воздухе за счет аэростатических (воздушные шары) или аэродинамических (самолеты) сил, или их комбинации (дирижабли). В этом проявляется важное преимущество атмосферных спутников, которое заключается в возможности непрерывного нахождения над одной и той же точкой Земли, в отличие от ИСЗ, совершающих непрерывное движение по орбите вокруг планеты.

Сферы применения атмосферных спутников, как следует из их определения, дублируют искусственные спутники Земли, традиционно это:

- дистанционное зондирование Земли;
- связь;
- атмосферные исследования.

Уже существуют серийно эксплуатируемые летательные аппараты подобного типа, такие как Zephyr (Airbus), Helios (NASA), Stratosyst (ESA) и т. д. Десятки проектов находятся на различных стадиях разработки от эскизных проектов, до опытных образцов. Существующие летательные аппараты пока-

зывают результаты полета длительностью в несколько суток, расчетные показатели достигают года.

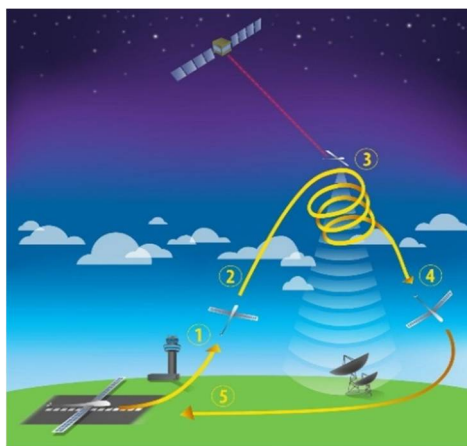
Однако, при многих преимуществах подобных аппаратов, таких как дешевизна (относительно традиционных спутников), возможность технического обслуживания и ремонта, меньшие расстояния для радиолинии, они сохраняют недостатки летательных аппаратов: зависимость от погоды (в момент взлета/посадки), скорость перемещения, ограниченный радиус применения от места взлета и посадки.

В то же время, одним из «узких» мест современных спутниковых группировок является информативность канала Спутник – Земля, в связи с чем очень активно разрабатываются радиокомплексы в диапазонах K , Ka , а также системы лазерной связи.

Авторами предлагается воспользоваться преимуществами атмосферных спутников, и расширить возможности применения традиционных спутниковых группировок за счет объединения их достоинств и минимизации недостатков. И применить атмосферные спутники в качестве приемной станции лазерной связи.

Процесс работы совместной космической системы и атмосферных спутников представлен на рисунке. И состоит из 5 этапов:

- взлет;
- набор высоты в регулируемом пространстве, под контролем диспетчеров;
- работа в стратосфере в режиме ретранслятора.
- снижение высоты в регулируемом пространстве, под контролем диспетчеров;
- посадка;



Этапы работы совместной системы

Так как высота функционирования атмосферных спутников находится над эшелонами гражданской авиации, регулированию подвержены только процессы взлета и посадки, далее летательный аппарат функционирует на высотах от 12 до 30 км, где влияние атмосферы на радиосигнал или луч лазера уже

значительно снижено, а облака отсутствуют, приемник, установленный на таком аппарате, доступен для приема полезной информации все время полета.

Далее атмосферный спутник может передавать полезную информацию на наземные пункты в режиме ретранслятора на частотах, меньше подверженных атмосферным явлениям. Может перемещаться на территории, которые в настоящее время не подвержены осадкам, или совершить посадку и передать полученную информацию в каналы связи наземной инфраструктуры.

Несколько таких летательных аппаратов, функционирующих в одной зоне поочередно, могут обеспечить процесс передачи по каналу Спутник – Земля круглосуточно.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ АБСОЛЮТНОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

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

Одной из ключевых задач, определенных Федеральной космической программой на 2020 – 2025 гг., является предоставление космических услуг в интересах социально-экономической сферы, науки и международного сотрудничества.

Для реализации указанной задачи необходимо обеспечить оперативное получение актуальных данных материалов космической съемки земной поверхности с абсолютными яркостными измерениями. Отсутствие таких измерений в выходных информационных продуктах ограничивает массовое применение космических снимков при решении отраслевых тематических задач.

Классическим вариантом решения проблемы является полетная абсолютная радиометрическая калибровка съемочной аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в процессе штатной эксплуатации изделия.

Применение такой калибровки преследует следующие основные цели:

- возможность распространения информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в коммерческих целях для решения отраслевых задач как внутри страны, так и за рубежом;

- создание единой базы данных ДЗЗ с абсолютными значениями альбедо земной поверхности на всю территорию России, и в перспективе – на весь земной шар в рамках реализации государственного проекта «Цифровая Земля».

Реализация абсолютной радиометрической калибровки сопровождается рядом проблемных вопросов, основными среди которых являются:

- отсутствие отечественных аттестованных наземных радиометрических полигонов;

- сложность в обеспечении стабильности внутреннего (бортового) источника калибровки;

- обеспечение равномерной засветки фоточувствительных элементов ПЗС-матриц;

– прослеживаемость на соответствие государственному радиометрическому эталону.

С учетом указанных проблем в работе предложены способы реализации калибровки по верхней границе атмосферы (с использованием внутреннего источника калибровочного излучения и по звездным объектам с известной величиной видимого блеска небесного тела) и нижней границе атмосферы (по наземным полигонам с известными яркостными характеристиками и с использованием оптического зондирующего сигнала).

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*А. А. Боймуротов,
Научная рота космических войск Воздушно-Космических сил
Российской Федерации, г. Красногорск*

В настоящее время исследования космоса и сканирование поверхности планеты, передача сигналов становятся все более востребованными. По сравнению с прошлым столетием технологии, применяемые в космонавтике, сильно шагнули вперед. Появились новые оптико-электронные комплексы, способные запечатлеть звезды и галактики, существовавшие при зарождении, сканировать поверхность Земли. Но материалы, применяемые в корпусах ОЭК, не сильно изменились. Все также самым популярным материалами являются сплавы алюминия и титана. Но уже давно появились материалы, превосходящие их по многим параметрам. Речь идет о композитных материалах.

Композитные материалы на основе углеродных и полимерных волокон имеют прочность и жесткость как у стали, по массе более чем в 2 раза легче алюминия и титана. Их коэффициент теплового расширения в несколько раз меньше, чем у вышеперечисленных материалов. Это играет очень важную роль в работе ОЭК, так как изменение размеров корпуса под действием высоких и низких температур, свойственных для космоса, приводит к изменению кривизны зеркал, которое на первый взгляд может показаться не значительным, к примеру несколько нанометров. Но при работе телескопа постоянное изменение кривизны зеркала приведет к получению неверных и искаженных данных об изучаемых объектах. Также нельзя забывать о проблеме массы, которая в авиастроении и космонавтике стоит на первом месте. Чем меньше масса объекта, тем дешевле обойдется ее доставка в космос за счет меньшего расхода топлива.

Все эти проблемы можно избежать при использовании композитных материалов в конструкции корпуса ОЭК ДЗЗ. Но они не столько популярны в данный момент. Этому, конечно же, есть вполне обоснованная причина. Производство деталей из композитных материалов является достаточно дорогостоящей и сложной в технологическом плане. Но этот недостаток вполне окупит себя за счет экономии средств при доставке телескопа в космос, надежности конструкции и точности работы оптических элементов телескопа.

СЕКЦИЯ 4.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ
КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ УГЛОВ
НА ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

*¹А. Ю. Митрофанова, ^{1,2}О. В. Кравченко,
¹Московский Государственный Технический Университет
им. Н. Э. Баумана, г. Москва,
²ФИЦ ИУ РАН, г. Москва*

ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ БЕСШОВНЫХ СПЛОШНЫХ ПОКРЫТИЙ
РЕГИОНОВ РФ ПО ДАННЫМ ГРУППИРОВКИ КА «КАНОПУС-В»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
«БАНКА БАЗОВЫХ ПРОДУКТОВ»

*А. Н. Марков, А. И. Васильев, А. В. Крылов,
Е.В. Волкова, А. С. Алексеевский, А. А. Михеев,
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы», г. Москва*

Ключевые слова: бесшовное сплошное покрытие, мозаика, «Канопус-В», стандартная обработка, базовые продукты, банк базовых продуктов

Развитием технологий геоинформационного сервиса «Банк базовых продуктов» (ББП) стала разработка подходов к формированию стандартных базовых продуктов, включая входной контроль, отбор и обработку первичной космической информации, а также создание решений по формированию бесшовных сплошных покрытий (БСП) по данным российских КА ДЗЗ. При этом БСП выступают в качестве одного из ключевых видов информационных продуктов ДЗЗ, предоставляемых потребителям и соответствуют концепции создания и развития информационной системы (цифровой платформы) в рамках проекта «Цифровая Земля».

В данной работе рассматриваются технологии ББП для формирования бесшовных сплошных покрытий регионов РФ по данным группировки КА Канопус-В, а также опыт их применения при создании покрытий на территорию Московской, Тверской, Кемеровской, Омской и Калининградской областей.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ПРОВЕДЕНИЮ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ КОРОТКОВОЛНОВЫХ КАНАЛОВ ПРИБОРА МСУ-МР СПУТНИКА «МЕТЕОР-М» № 2

*М. О. Кучма, В. Д. Блощинский,
Дальневосточный Центр ФГБУ «Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета», г. Хабаровск*

Атмосферная коррекция (далее – АК) – это процедура устранения влияния атмосферы на значения отражательной способности Земли, полученные с помощью спутниковых или бортовых датчиков. Для получения продуктов с российских полярно-орбитальных космических аппаратов (далее – КА) используются, в том числе, данные многозонального сканирующего устройства малого разрешения (МСУ-МР), который установлен на КА «Метеор-М» № 2 и «Метеор-М» № 2-2. АК спутниковых измерений является необходимым условием успешного решения широкого спектра задач, например таких, как достоверная классификация объектов земной поверхности. Актуальность работы заключается в том, что впервые для российского спутникового прибора МСУ-МР была проведена процедура АК.

В Дальневосточном центре НИЦ «Планета» для проведения АК каналов 1 – 3 прибора МСУ-МР КА «Метеор-М» № 2 разработан программный комплекс, для работы которого были предварительно сгенерированы справочные таблицы (Look-Up Tables или LUT) с использованием модели переноса излучения в атмосфере «Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum». Программный комплекс позволяет оперативно в автоматическом режиме проводить атмосферную коррекцию для каналов 1 – 3 МСУ-МР с центральными длинами волн 0,6 мкм, 0,9 мкм и 1,6 мкм. При этом дополнительно используются такие данные, как оптическая толщина аэрозоля (далее – АОТ) по данным прибора MODIS с КА TERRA и AQUA, данные об озоне и водяном паре из прогностической модели GFS, а также карта высоты земной поверхности NASA Shuttle Radar Topographic Mission.

До внедрения алгоритма АК была проведена валидация результатов для канала с центральной длиной волны 0,6 мкм с эталонными данными, в качестве которых выступали данные портала EUMETSAT «Surface Albedo Validation Sites». В результате среднеквадратичная ошибка (далее – СКО) для коэффициента спектральной яркости (далее – КСЯ), который выражен в процентах, составила до АК 2,024, после – 1,098. Средняя ошибка (далее – СО) составила до АК 1,567 и 0,468 после. Коэффициент детерминации (далее – R), по которому можно судить о корреляции значений КСЯ спутникового прибора и эталонных данных, составил 0,88 и 0,93 до и после процедуры проведения АК соответственно.

Для дополнительной проверки разработанного алгоритма АК была проведена для данных первого канала прибора Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) КА MetOp-A, имеющего схожие спектральные характеристики с первым каналом прибора МСУ-МР. Для верификации были подобраны пролеты КА «Метеор-М» № 2 и MetOp-A в те дни, когда над тестовыми полигонами отсутствовала облачность. Для первого канала прибора AVHRR

с использованием его функции спектральной чувствительности была сгенерирована отдельная LUT и проведена АК. В результате СКО для КСЯ первого канала прибора AVHRR составила 1,967 и 1,556, CO – 2,587 и 1,074, R – 0,819 и 0,923 до и после процедуры проведения АК соответственно. Сравнение результатов работы алгоритма для данных прибора AVHRR и МСУ-МР показало, что корреляция КСЯ с эталонными данными в обоих случаях сопоставима.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СЕРИЙ «МЕТЕОР-М» И «ЭЛЕКТРО-Л»

*А. И. Андреев, А. А. Филей,
Дальневосточный Центр ФГБУ
«Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета»,
г. Хабаровск*

В Дальневосточном центре НИЦ «Планета» реализован программный комплекс восстановления параметров облачности по данным отечественных спутниковых приборов МСУ-МР КА серии «Метеор-М» и МСУ-ГС КА «Электро-Л» № 2. Новизна и практическая ценность заключается в том, что реализованные в комплексе алгоритмы, в отличие от традиционных пороговых подходов, основаны на свойствах рассеяния и поглощения электромагнитного излучения частицами облачности. При этом учитывается геометрия наблюдения, состояние атмосферы и влияние подстилающей поверхности.

Программный комплекс позволяет в автоматическом режиме производить распаковку данных с КА, рассчитывать коэффициенты спектральной яркости и углы наблюдения, а также получать следующие информационные продукты: фазовое состояние, оптическая толщина, эффективный радиус частиц, высота, давление и температура на верхней границе облачности, водозапас. Информационные продукты представляются в виде растровых изображений или цифровых наборов данных. Растровые изображения визуализируются на базе веб-технологий и активно используются в оперативной работе прогнозистических подразделений. Цифровые данные являются основой для машинного обучения активно внедряемых в работу НИЦ «Планета» алгоритмов, позволяющих проводить классификацию облачности для анализа и прогноза погоды в местах, где метеорологические наблюдения разрежены или отсутствуют полностью (океаны, тропические и полярные области).

Результаты работы комплекса по восстановлению параметров облачности сопоставлялись с результатами тематической обработки данных спутниковых приборов, а также с данными спутникового лидара CALIPSO и спутникового радара CloudSat. По результатам сопоставления искомые параметры облачности находятся в допустимых пределах погрешности измерений.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА

*А. И. Андреев, А. А. Филей, Л. С. Крамарева,
Дальневосточный Центр ФГБУ
«Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета», г. Хабаровск*

Одной из приоритетных задач спутниковой гидрометеорологии является детектирование облачных образований и снежного покрова, которое должно проводиться максимально быстро и точно. От этого зависит качество получаемой в дальнейшем информационной продукции и, как следствие, точность прогнозов и время, затрачиваемое на их составление. Для решения этих задач требуется разработка эффективных алгоритмов, которые должны учитывать сезонные и широтные климатические изменения для возможности их применения в автоматическом режиме. В настоящее время для реализации таких алгоритмов широкое развитие получили подходы на основе машинного обучения, а также текстурного анализа изображений. Алгоритмы машинного обучения позволяют аппроксимировать сложные функции распределения на основе большого количества данных и учитывать множество параметров при разработке моделей классификации. Текстурный анализ предоставляет дополнительную информацию о свойствах рассматриваемого на спутниковом изображении объекта – облачности или подстилающей поверхности. Сочетание этих двух подходов позволяет добиться высокой точности классификации даже в сложных условиях, как, например, детектирование облачности в присутствии снежного покрова, что связано со схожестью их спектральных характеристик. На основе большого набора маркированных данных о классификационных и текстурных характеристиках облачности и подстилающей поверхности, сформированного специалистами Центра, разработан программный комплекс для автоматизации получения масок облаков и снега, а также построения на их основе тематических продуктов по данным российских и зарубежных космических аппаратов. Преимущество комплекса заключается в применении искусственных нейронных сетей, позволяющих более точно восстанавливать информационные продукты в сравнении с классическими пороговыми методиками. Перспективность использования комплекса состоит в оперативном получении аналитической продукции в виде карт классификации облачности, ориентированных на выделение систем фронтального и внутримассового характера с конвективными явлениями. Такие карты, полученные по спутниковым данным, могут существенно дополнить (в силу большого пространственного покрытия) или заменить наблюдения, получаемые с сети наземных наблюдений и метеорологических радиолокаторов. Продукция необходима в первую очередь синоптикам-прогнозистам, в

том числе авиационным, для дополнительного анализа текущего состояния атмосферы и оценки динамики атмосферных процессов. Другим тематическим продуктом, рассчитываемым с использованием данного комплекса, является карта распределения снежного покрова. Информация, получаемая по этим картам, имеет большое значение в работе гидрологов, позволяя оценить в глобальном масштабе возможность усложнения паводковой ситуации в период таяния снега.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА ОПОРНЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АБРИСОВ

*А. С. Рыжиков,
Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В. Ф. Уткина, г. Рязань*

В Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ, г. Москва) применяется технология контроля и уточнения геодезической привязки снимков от КА серий «Ресурс-П», «Канопус-В», основанная на поиске одноименных объектов на снимке и опорном растровом покрытии. Это решение обеспечивает автоматическую обработку 90% снимков с безоблачными участками, попадающими на опорное покрытие, и гарантирует точность привязки не хуже 30 метров. Точность привязки в существующем решении ограничена разрешением опорного покрытия, синтезированного по данным КА Landsat-8. Для ее повышения до 1 – 1,5 метров необходимо привлечение абрисов (фрагментов опорных снимков высокого разрешения) с контрольными точками (КТ) – координатами хорошо распознаваемых и локализуемых участков земной поверхности. В настоящее время в НЦ ОМЗ создается банк абрисов по детальным снимкам от КА «Ресурс-П», поиск КТ выполняется вручную оператором.

Целью доклада является анализ методов автоматического поиска контрольных точек на снимках высокого пространственного разрешения.

В докладе отмечено, что к контрольным точкам предъявляется ряд требований.

1. Устойчивость. Окрестность КТ должна мало различаться на ортотрансформированных изображениях, полученных при различных углах съемки, в том числе разновременных.

2. Уникальность. Окрестность КТ должна содержать характерный объект, не представленный в других частях абриса.

3. Детектируемость. Должна быть обеспечена возможность надежной и точной (субпиксельной) идентификации положения КТ в системе координат анализируемого изображения.

В докладе рассмотрены два метода поиска КТ. Первый основан на детектировании точечных/угловых (детектор Харриса, автокорреляционная функция) характерных объектов на изображениях. Второй метод связан с опреде-

лением координат перекрестков дорог и иных характерных объектов дорожной сети, аэродромов, стадионов по векторным данным OpenStreetMap.

Проведен анализ, в какой мере КТ, найденные упомянутыми методами, удовлетворяют сформулированным ранее требованиям к КТ. Для обоих методов подсчитана доля КТ, которые удается в автоматическом режиме идентифицировать на разновременных снимках корреляционно-экстремальным поиском.

В заключении сформулированы рекомендации по построению механизма автоматического поиска КТ. Предложены способы отбраковки КТ, не удовлетворяющих требованиям устойчивости или уникальности.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

*А. Н. Лимонов, Л. А. Гаврилова,
ФГБОУ высшего образования Государственный университет
по землеустройству, г. Москва*

Метод фотограмметрии при изысканиях, проектировании и реконструкции автодорог в горной местности позволяет получить цифровую модель местности (ЦММ) и цифровую модель рельефа (ЦМР) в более короткие сроки и с меньшими экономическими затратами в сравнении с наземной топографической съемкой.

Инструкцией ВСН 30 – 84 по применению фотограмметрических методов при ландшафтном проектировании автомобильных дорог предусмотрена возможность оптимизации технологии изысканий. При этом возможны сокращения, объединения и изменения последовательности выполнения отдельных видов фотограмметрических работ при условии выполнения требований, обеспечивающих соответствующее качество изысканий и проектирования.

Развитие в настоящее время методов аэро- и космических съемок, компьютерных технологий фотограмметрической обработки получаемых снимков, наличие архивных космических изображений на изучаемые территории, например, хранящихся в ПО Google Планета Земля открытого доступа, применение беспилотных летательных аппаратов, несущих съемочные системы, позволяют совершенствовать проектно-изыскательские работы. Предлагается следующая последовательность комплексного использования данных дистанционного зондирования.

1. Подготовительный этап. Технико-экономическое обоснование проекта.

На этапе подготовки необходимо определить зону размещения трассы, изучить условия проектирования, провести сбор существующих картографо-геодезических и фотограмметрических материалов, осуществить сбор архивных аэро- и космических снимков.

2. Выбор вариантов направления трассы по данным ПО Google Планета Земля.

ПО Google Планета Земля позволяет, используя многофункциональность инструментария, получить данные о местности для составления предпроектного выбора оптимального варианта проложения трассы дороги.

3. Получение первичной цифровой модели рельефа (ЦМР) по направлению оптимального варианта трассы с использованием космических изображений.

Первичная цифровая модель рельефа создаётся с использованием инструментария ПО Google Планета Земля в два этапа.

На первом этапе производится построение продольных профилей различных вариантов трасс.

На втором этапе – построение поперечных профилей вдоль выбранной оптимальной трассы.

В целях подтверждения правильности выбора трассы использована опция создания 3D-модели местности. Погрешность определения высотной координаты пикетных точек ЦМР в нашем случае соответствовала 1,5 – 2,0 м.

Для получения крупномасштабной картографической основы, необходимой для проектирования трассы дороги, по направлению выбранного маршрута выполнена аэросъемка с беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

4. Технология аэросъемки с БПЛА включает: предварительный расчёт параметров аэросъемки; маркировку опорных и контрольных точек на участке работ; геодезическую подготовку – определение пространственных координат маркированных точек; производство АФС.

5. Фотограмметрическая обработка аэрофотоснимков в данном эксперименте производилась в программе Agisoft Photo Scan Professional по классической схеме.

6. Ортофототрансформирование снимков и создание ортофотоплана, как результата изыскательской работы с последующим использованием в качестве планово-картографической основы при проектировании автодороги.

Результаты фотограмметрической обработки свидетельствуют о возможности использования снимков, полученных с БПЛА, для геодезического обеспечения изысканий автомобильных дорог в горных районах.

7. Точность создаваемого ортофотоплана определяется точностью используемой цифровой модели рельефа. Экспериментальные исследования точности цифровых моделей рельефа (ЦМР) выполнены на тестовом участке, обеспеченном массивом опорных точек.

В процессе фотограмметрической обработки аэроснимков разработан алгоритм определения параметров перехода из системы координат, в которой получены ЭВО снимков, в геодезическую систему координат, в которой определены координаты контрольных точек.

В ходе эксперимента исследовано влияние расположения опорных точек на точность фотограмметрических построений. При расположении опорных точек по границе зоны обработки созданы ортофотопланы, по точности соответствующие масштабу $1:M = 1:100$. При локальном расположении опорных точек внутри зоны обработки получены ортофотопланы, по точности соответствующие масштабу $1:M = 1:1000$.

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

ОРБИТАЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ АВРОРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ, КАК ЧАСТЬ СИСТЕМНОГО КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

¹А. К. Кузьмин, ¹О. Л. Вайсберг, ¹А. М. Мёрзлый, ¹А. А. Петрукович,

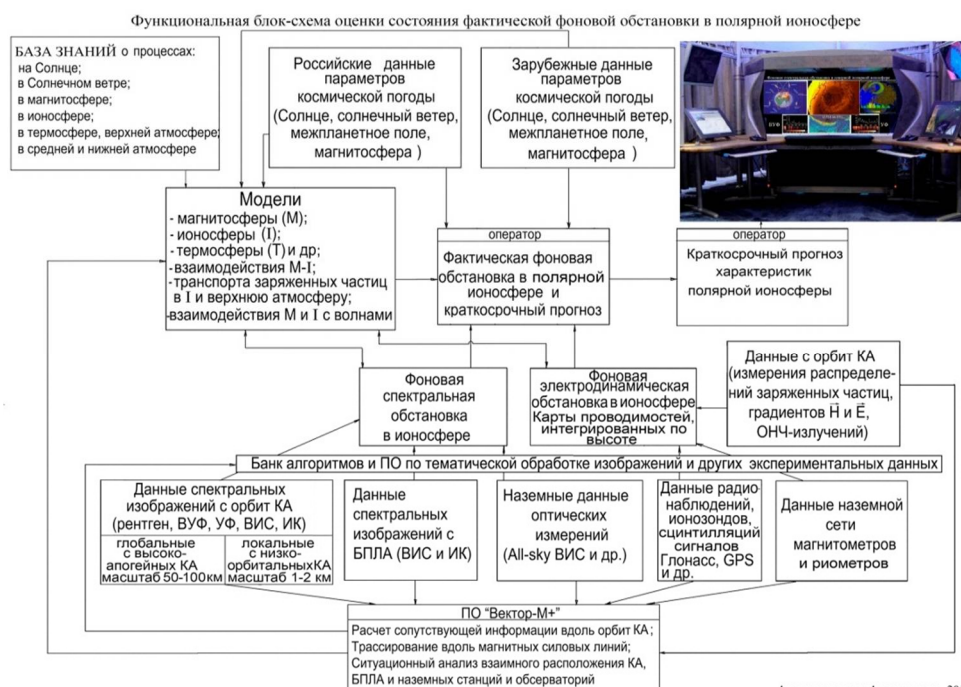
²Г. М. Крученицкий, ³М. А. Баныщикова,

¹ИКИ РАН, г. Москва,

²ЦАО Росгидромет, г. Долгопрудный,

³Томский государственный университет, г. Томск

В докладе на конкретных представленных примерах рассматривается лишь малая часть характеристик, входящих в перспективную систему контроля космической погоды (см. функциональную блок-схему на рисунке) и относящихся к дистанционной оптической диагностике состояния полярной ионосферы.



Примеры, иллюстрированные конкретными данными измерений авроральных эмиссий, полученными с различных орбит одновременно с характеристиками плазмы в окрестности космического аппарата, рассматриваются в контексте использования экспериментального зарубежного и отечественного методического опыта, некоторых новых аспектов разработки и характеристик оптической изображающей аппаратуры в готовящихся проектах, а также перспектив их развития в ближайшем будущем.

КОСМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ «ТЕРМИНАТОР» И «РАКУРС» НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

*В. В. Алматов, А. Н. Беляев, С. Ш. Николайшвили, А. Н. Омельченко,
Институт прикладной геофизики им. академика Е. К. Фёдорова,
г. Москва*

Целью проведения космических экспериментов (КЭ) «Терминатор» и «Ракурс» является обоснование возможности проведения космического мониторинга волновой активности атмосферы на высотах верхней мезосферы – нижней термосферы, регистрируя оптические эффекты, обусловленные прохождением внутренних гравитационных волн (ВГВ) через атмосферные эмиссионные слои.

Наиболее эффективным способом глобального контроля волновой активности атмосферы является регистрация с борта космического аппарата волновых возмущений дневного и ночного свечения атмосферы в Атмосферной полосе (0,0) молекулярного кислорода (762 нм).

В окрестности солнечного терминатора дневная эмиссия $O_2(a,0-0)$ возникает в яркий (несколько сотен кРл) эмиссионный слой с четко очерченными вертикальными границами (90 – 100 км), что позволяет рассматривать его как эффективный ВГВ-детектор. Основной задачей КЭ «Терминатор» является отработка технологии автоматической регистрации волновых возмущений этого слоя с борта космического аппарата.

Целью КЭ «Ракурс» является проведение многопозиционной съёмки участков ночного эмиссионного слоя $O_2(a,0-0)$, позволяющей получить их изображение под различными ракурсами. Разработанный метод математической обработки получаемых изображений позволяет восстановить трехмерные пространственные параметры ВГВ, проходящих через эмиссионный слой. Метод основан на решении интегрального уравнения Фредгольма первого рода, описывающего связь между ВГВ-спектром и пространственной структурой наблюдаемых возмущений эмиссионного слоя.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В. Ф. Мочалов

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

Оценивание последствий лесных пожаров является важной задачей в рамках реализации социально-экономической политики России. Основное внимание в работе уделяется вопросам оценки последствий пожаров в части определения следующих показателей: площадь пожара, экономический ущерб и степень лесовозобновления после пожара.

Работы, направленные на решение актуальной практической задачи, предполагают тесное взаимодействие научных и эксплуатирующих организаций. При этом решаются следующие основные научно-методические задачи:

- адаптация типовой технологии тематической обработки материалов мультиспектральной космической съёмки для определения в автоматизированном режиме указанных выше показателей;

- синтез требований к исходным данным для формирования спектрально-яркостных признаков и дальнейшей автоматизированной идентификации элементов ландшафта с учетом технических характеристик бортовой съёмочной аппаратуры;

- выбор набора тестовых участков леса для проведения наземных таксационных и спектрометрических измерений с учетом ранее синтезированных требований к исходным данным;

- формирование систематизированного набора устойчивых спектрально-яркостных признаков для количественного определения показателей для различных типов леса в условиях сезонной изменчивости;

- анализ информационных возможностей на основе расчета энтропии материалов мультиспектральной космической съёмки для дальнейшего определения количества видов идентифицируемых растительных сообществ;

- разработка набора критериев для идентификации и дальнейшего оценивания показателей, характеризующих состояние контролируемых участков леса после пожара;

- доработка алгоритмов автоматизированной идентификации элементов ландшафта и определения числовых значений показателей;

- выбор архивных и оперативных материалов мультиспектральной космической съёмки с учетом ранее синтезированных требований к исходным данным;

- определение числовых значений показателей, характеризующих последствия лесных пожаров.

В докладе представлен результат решения указанных выше научно-методических задач на примере лесов Ленинградской области.

В качестве методической основы принята традиционная технология обработки материалов мульти-и гиперспектральной аэрокосмической съёмки, применяемая в академии. На основе предварительного анализа технических характеристик бортовой съёмочной аппаратуры установлено, что потенциально для решения рассматриваемой практической задачи могут использоваться материалы съёмки от космических аппаратов Ресурс-П (бортовая аппаратура ГСА, «Геотон» и КШМСА), Канопус-В и Sentinel-2 (Европейское космическое агентство). Синтезированы требования к исходным данным для формирования тестовой обучающей выборки в части геометрических размещений мест, пройденных лесными пожарами, таксационных параметров леса и вида пожара. В качестве тестовых участков для формирования обучающей выборки при взаимодействии с эксплуатирующей организацией выбраны места возникновения низовых лесных пожаров в 2019 году площадью не менее одного гектара. В ходе наземных обследований уточнены таксационные параметры леса, последствия пожара и координаты границ гари. Данные использовались при формировании тестовой обучающей выборки. При обработке архивных материалов космической съёмки в сроки до и после пожара сформированы наборы спектрально-яркостных признаков для автоматической идентификации основных типов леса и мест прохождения низового пожара. На основе анализа энтропии изображений проведена оценка информационных свойств мультиспектральных изображений и установлены ориентировочные пределы по количеству уверенно идентифицируемых видов лесных растительных сообществ в автоматизированном режиме. Алгоритмы автоматизированной идентификации доработаны на основе тестовой обучающей выборки с точки зрения выбора информативных спектральных каналов, расчета опорных коэффициентов стресса растительности, обоснования пороговых значений коэффициентов спектральной яркости и выбранных коэффициентов стресса растительности. Определены числовые значения показателей, характеризующие последствия лесных пожаров. В частности определена площадь гари и ориентировочный экономический ущерб от пожара. Степень лесовозобновления оценивается на основе сравнительного анализа многолетней динамики изменения спектральных отражательных характеристик территории гари и прилегающих фоновых участков леса.

Результаты оценивания последствий примера лесного пожара с высокой точностью совпадают с данными из официального акта пожара, составленного эксплуатирующей организацией.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ГРОВОЙ АКТИВНОСТИ

*И. Д. Горлова,
ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической
гидрометеорологии «Планета»,
г. Москва*

Изучение закономерностей возникновения и развития грозовой активности, которая часто сопровождается опасные явления погоды, делает актуальной задачу комплексирования различных источников информации о грозах. В докладе представлены результаты совместной обработки данных о конвективной облачности с геостационарных и полярно-орбитальных спутников и информации о грозах по данным грозопеленгационной системы, доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С и наблюдений на метеорологических станциях Росгидромета на Европейской территории России. Приводятся примеры анализа грозовой активности на основе сравнения данных вышеперечисленных наблюдательных систем за 2019 – 2020 гг. (в том числе, за зимние периоды) статистического анализа данных грозопеленгационной системы за 2014 – 2015 гг. для Московского региона. Предлагается метод комплексной обработки данных системы грозопеленгации и ДМРЛ-С.

Исследована возможность дистанционного мониторинга общего содержания озона (ОСО) в атмосфере по данным измерений аппаратуры МСУ-ГС с отечественного геостационарного метеоспутника «Электро-Л» № 1. Наряду с измерениями МСУ-ГС в 3-х каналах (8.2 – 9.2, 9.2 – 10.2, 10.2 – 11.2 мкм) для оценивания ОСО в качестве дополнительных предикторов используются данные о вертикальных распределениях температуры в озоновом слое, температуре и давлении на уровне подстилающей поверхности (результаты спутникового зондирования или прогностические данные). Построение оценок ОСО выполняется с помощью регуляризованного регрессионного алгоритма (гребневая регрессия), причем для формирования обучающих и контрольных выборок используются независимые оценки ОСО по данным аппаратуры ОМІ, установленные на спутнике EOS Aura. Численные эксперименты по обработке реальных данных МСУ-ГС за отдельные сроки периода с ноября 2011 по август 2012 год показали возможность организации регулярного мониторинга полей ОСО с высокими пространственным и временным разрешением и приемлемым уровнем погрешности: модуль относительных средних отклонений и относительные среднеквадратичные отклонения между оценками по данным МСУ-ГС и ОМІ лежат в диапазоне 1 – 2 % и 5 – 7 %, соответственно, в зависимости от типа подстилающей поверхности.

ЗАВИСИМОСТЬ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ O^+ N^+ В СЕВЕРНЫХ И ЮЖНЫХ ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ С УЧЕТОМ СЕЗОННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СОЛНЦА ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «МЕТЕОР-М»

М. С. Иванов,
Институт прикладной геофизики им. академика Е. К. Федотова

Представлен анализ данных масс-спектрометрических измерений ионного состава верхней атмосферы на высотах 810 – 830 км. Радиочастотный масс-спектрометр РИМС установлен на КА «Метеор-М» № 1 и № 2. Анализировались сезонные данные с 2017 по 2018 гг.

Выявлен сезонный ход широтного распределения концентрации ионов азота и кислорода, связанный с положением Солнца.

Представленные данные показывают стабильность связи солнечной активности с концентрацией O^+ и N^+ (рис. 1).

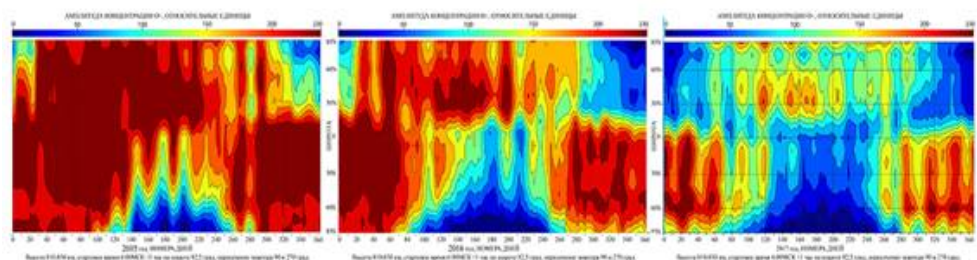


Рис. 1. Двумерные графики (карты) широтного распределения концентрации O^+ 2015, 2016 и 2017 гг.

Установлена стабильность повторения ежегодной структуры кислорода и азота (с учетом роста и падения концентраций в целом). Концентрация азота всегда в течение года в зоне Солнца отсутствует или очень слаба (рис. 1). Концентрация кислорода практически всегда находится в зоне Солнца (рис. 2)

На основании полученных данных сделано предположение о возможной причине изменения концентрации ионов кислорода и азота в приполярных областях (Южный полюс), связанной с изменением положения координат (вращением) магнитных полюсов Земли (период 12 часов) (рис. 2).

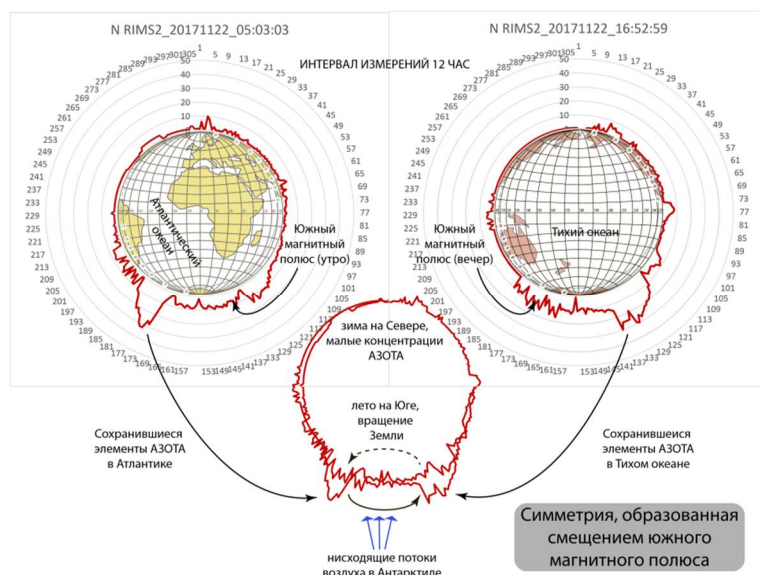


Рис. 2. Данные круговых наблюдений концентраций дневного и вечернего азота в ноябре 2017 г.

Данные, полученные в период «провалов» концентраций O^+ и N^+ , указывают на нисходящие атмосферные потоки из экзосферы в более низкие слои атмосферы, что способно оказывать влияние на общую циркуляцию воздушных масс в стратосфере, а также на концентрацию ее газовых составляющих (Озон).

ОКОЛОЗЕМНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО И ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИЕ КАК ОБЪЕКТЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

^{1,2}П. Ю. Орлов, ^{1,2}М. А. Боярчук,

¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,

²ФГБОУ высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), г. Москва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОМЕТРОВ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Ю. В. Киселева, А. Н. Рублев,

ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», г. Москва

В докладе представлены результаты определения общего содержания озона (OCO) по данным сканера SEVIRI геостационарного космического аппарата

(КА) Meteosat-11. Впервые определение ОСО выполняется без учета дополнительных данных прогноза о вертикальных профилях температуры, а только используя результаты измерений в спектральных каналах SEVIRI, лежащих в ИК-окне прозрачности атмосферы 8 – 12 мкм. В основе расчетной схемы определения ОСО лежат регрессии, которые были получены по данным измерений сканера SEVIRI и прибора OMI (Ozone Monitoring Instrument), установленного на КА Aura. Погрешность определения ОСО не превышает 30 ед. Д.

В дальнейшем предполагается использовать подобный метод для определения ОСО по данным российского многозонального сканирующего устройства МСУ-ГС на геостационарных КА серии «Электро-Л».

ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ СО СПУТНИКОВ СЕРИИ «МЕТЕОР-М»

¹А. Б. Успенский, ¹А. В. Кухарский,
²М. Д. Цырульников, ²Д. Р. Гайфулин,

¹Научно-исследовательский центр космической
гидрометеорологии «Планета», г. Москва,

²Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва

В состав бортового информационного комплекса полярно-орбитальных метеоспутников серии «Метеор-М» включена аппаратура дистанционного зондирования атмосферы – инфракрасный (ИК) фурье-спектрометр ИКФС-2 (гиперспектральный ИК-зондировщик) и микроволновый (МВ) радиометр МТВЗА-ГЯ (модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы).

Основная целевая функция указанной аппаратуры – получение данных температурно-влажностного зондирования атмосферы (ТВЗА), т. е. дистанционное определение вертикальных профилей температуры и влажности в атмосферном слое от поверхности Земли до 5 – 10 гПа. В НИЦ «Планета» разработаны и эксплуатируются технологии получения данных ТВЗА глобального и регионального покрытия при отсутствии и наличии облачности в поле зрения прибора, основанные на раздельном «обращении» измерений аппаратуры ИКФС-2 и МТВЗА-ГЯ. В докладе дано краткое описание созданных технологий, сообщаются результаты валидации спутниковых зондирований, полученные сопоставлением с данными ближайших радиозондирований. Рассмотрены направления дальнейшего развития и модернизации методов и технологий получения данных ТВЗА, включая комплексирование обработки измерений ИКФС-2 и МТВЗА-ГЯ, создание более эффективных алгоритмов фильтрации сцен с мощной облачностью и осадками в поле зрения ИКФС-2 и МТВЗА-ГЯ, подготовку процедур пост-процессинга (контроль и редактирование выходных продуктов ТВЗА).

Выходные продукты ТВЗА, существенно дополняющие аэрологические и синоптические данные в регионах с редкой сетью наземных наблюдений, уже сейчас используются в синоптическом анализе и прогнозе погоды. Кроме того, измерения уходящего излучения системы «Земля – атмосфера» в ИК и МВ диапазонах спектра с помощью спутниковых атмосферных зондировщиков, подобных ИКФС-2 и МТВЗА-ГЯ, чрезвычайно важны для информационного обеспечения глобального численного прогноза погоды (ЧПП). Последние годы измерения указанного состава используют вместо продуктов ТВЗА в системах глобального усвоения данных ведущих мировых прогностических центров, в том числе Гидрометцентра России, а сами системы усвоения являются составной частью схем ЧПП.

В докладе приводятся результаты экспериментального использования измерений МТВЗА-ГЯ и ИКФС-2 в системе усвоения данных Гидрометцентра России. Достоинство измерений МТВЗА-ГЯ – они не подвержены влиянию облаков, за исключением наиболее мощных с осадками. Достоинство измерений ИКФС-2 – их более высокое, по сравнению с МТВЗА-ГЯ, горизонтальное и вертикальное разрешение. Оператором спутниковых измерений в системе усвоения данных служит достаточно быстрая и высокоточная модель переноса излучения типа RTTOV.

Численные эксперименты выявили ощутимые положительные эффекты от усвоения данных МТВЗА-ГЯ и ИКФС-2, а именно повышение точности трёхсуточного прогноза погоды в Южном полушарии. В Северном полушарии эффект от усвоения этих данных нейтральный или слабо положительный.

ПРОТОТИП ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЛАНДШАФТНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ БЕЛОРУССКОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

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

Современные системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) хорошо развиты и оперируют большими объемами данных, которые невозможно обработать вручную. Отбор космических снимков (КС) высокого разрешения, содержащих нужную целевую информацию (ЦИ) для тематической обработки, представляет весьма трудоёмкий процесс, учитывая, что из всей ЦИ на снимке, может требоваться лишь незначительная часть. Авторами разработан прототип программного обеспечения ПО «ИнфоТекстура», который позволяет выполнять ландшафтную декомпозицию панхроматических КС, полученных от Белорусского космического аппарата (БКА). Ландшафтная декомпо-

зияция КС способствует сокращению времени и трудозатрат, требующихся на отбор подходящих для тематической обработки снимков.

Функциональная схема ПО «ИнфоТекстура» приведена на рис. 1. Из схемы видно, что в состав ПО входит классификатор текстур и база данных (БД), в которой накапливаются результаты ландшафтной декомпозиции КС.

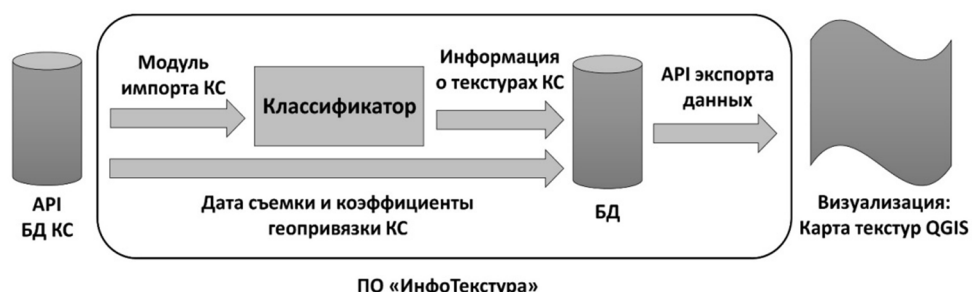


Рис. 1. Функциональная схема ПО «ИнфоТекстура»

Доступ к информации БД «ИнфоТекстура» обеспечивает API доступа, реализованный одной из программных компонент ПО «ИнфоТекстура». Доступ к КС БКА обеспечивается программной компонентой ПО «ИнфоТекстура», реализующей протокол подключения к API гибридного банка данных Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ).

Технология распознавания ландшафта строится на обработке КС скользящим окном 93 на 93 пикселя с распознаванием вида текстуры в каждом его положении. Распознавание видов текстур производится с использованием классификатора на основе нейронных сетей. Результаты классификации фрагмента КС в каждом положении скользящего окна сохраняются в БД «ИнфоТекстура». Ключевыми элементами сохраняемой информации являются: географические координаты четырехугольного полигона в центре скользящего окна, размер которого равен шагу скольжения; вид текстуры в скользящем окне; дата съемки и RPC-коэффициенты геопривязки КС.

Визуализация результатов ландшафтной декомпозиции КС на картоснове была выполнена с привлечением свободной геоинформационной системы Quantum Gis Desktop. Пример визуализации фрагмента КС показан на рис. 2.

Красным цветом на рис. 2, б обозначен населенный пункт, зеленым — лес, а салатовым — луг.

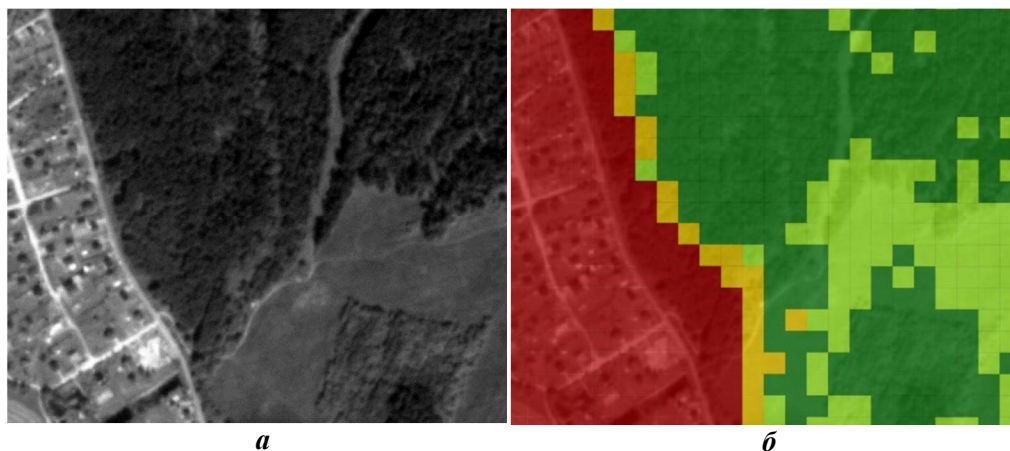


Рис. 2. Результаты ландшафтной декомпозиции фрагмента КС:
***а* – исходный фрагмент КС; *б* – фрагмент КС с результатами**
ландшафтной декомпозиции

Результаты ландшафтной декомпозиции КС могут быть использованы для оперативной оценки текущего состояния ландшафта и динамики его изменений на КС участка местности сделанных в разные моменты времени, а также могут найти применение при кадастровом мониторинге, локализации наводнений, экспресс оценки площади ландшафтов. В дальнейшем, для увеличения точности распознавания ландшафтов наряду с панхроматическими снимками высокого разрешения планируется использовать ещё и мультиспектральные снимки, получаемые как от космических аппаратов ДЗЗ, так и с помощью пилотируемых и беспилотных летальных аппаратов.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕР ДАУРСКОЙ СТЕПИ ЗАБАЙКАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*М. А. Голятина,
ФГБУ «Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета»
(ФГБУ «НИЦ «Планета»), г. Москва,
ФГБУ науки Институт природных ресурсов, экологии и
криологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита*

Бессточные озера степной климатической зоны Российской территории Даурской степи способны отражать экологическое состояние региона в це-

лом, а также уровень его увлажненности. Важно оценить современное состояние озер, выявить закономерности, по которым происходят изменения, формирующие текущее состояние, поскольку понимая закономерности можно предвидеть тенденции режима водоемов, что необходимо для целей планирования их рационального использования и охраны.

В настоящее время информация, полученная с помощью космических аппаратов, является оперативной и эффективной, а в ряде случаев – единственным источником данных о процессах, происходящих на поверхности Земли и в ее приземном слое. Данные, полученные в результате обработки многоспектральных спутниковых изображений, дают полное представление о пространственно-временном распределении природных объектов и процессах, в том числе – динамике изменения водных объектов.

Исследуемая территория относится к Онон-Торейской высокой равнине. Средняя высота рельефа составляет 600 – 800 м. Исследуемые озера неглубокие, горько-соленые, имеют преимущественно бессточный тип питания. В периоды повышенной влажности их насчитывается до нескольких сотен. Озера Зун-Торей и Барун-Торей являются крупнейшими гидрологическими объектами территории. В многоводные климатические фазы площади озер достигают отметок 300 и 580 км², а глубины составляют 7 и 5 м, соответственно.

На формирование климата здесь определяющее влияние оказывают восточные муссонные и сухие южные воздушные массы, так как расположение хребтов, окаймляющих Онон-Торейскую равнину, защищают ее территорию от Атлантического и Арктического воздушных переносов. Климат резкоконтинентальный с отрицательными среднегодовыми температурами воздуха (– 0,1 – –2,0 °С), небольшим среднегодовым количеством осадков (300 – 370 мм), коротким безморозным периодом и высокой продолжительностью солнечного сияния.

Анализ динамики количества озер и площадей их водной поверхности выполнен на территории, покрывающей около 22160 км² на Российской территории Даурской степи (см. рисунок).

Для детектирования водных поверхностей использовались мультиспектральные спутниковые изображения космических аппаратов Landsat TM, ETM+ и OLI (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) за период с 1989 по 2019 гг. за май и сентябрь, в исключительных случаях использовались спутниковые изображения за летние месяцы. Такой выбор обусловлен климатическими особенностями региона. Спутниковые изображения КА Landsat имеют пространственное разрешение 30 м на пиксель, периодичность съемки составляет 16 суток.



Территория исследования и расположение изучаемых озер

Определение площади водного зеркала и количества озер выполнено с помощью спектрального водного индекса, так как ранее было показано, что по сравнению с другими методами детектирования водной поверхности, данный способ достаточно прост в вычислении.

Анализ динамики изменения водного зеркала озер степной зоны Российской территории Даурской степи за период с 1989 – 2019 гг. показал, что максимальное количество озер наблюдалось в 1992 г. (1245 шт.) с общей площадью их водных поверхностей 1088 км². С 1993 года произошло существенное снижение исследуемых показателей, динамика которых выражается достоверным при 5% уровне значимости отрицательным трендом. Минимальных значений за исследуемый период оба показателя достигли в 2016 г., при этом суммарная площадь озер уменьшилась более чем на 70% по отношению к максимальной и составила 319,4 км², а их количество – в 10 раз.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПО ДАННЫМ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*А. А. Максимов,
ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии
«Планета», г. Москва, Россия*

Наиболее эффективным источником информации о ледяном покрове являются спутниковые данные, роль которых существенно возросла в связи уменьшением количества морских гидрометеорологических станций и прекращением авиационных наблюдений за ледовой обстановкой. Спутниковые данные широко используются для картирования ледовой обстановки замерзающих морей, а также для мониторинга опасных ледовых явлений. В отдельных случаях, только благодаря информации дистанционного зондирова-

ния можно получить представление о состоянии ледяного покрова или об опасных ледовых явлениях и ледяных образованиях в отдаленных районах.

В перечень опасных ледовых явлений входят: раннее появление льдов, интенсивный дрейф и сильное сжатие, появление на трассах льда, не проходимого судами, обледенение судов, навалы дрейфующих льдов на берег и морские гидротехнические сооружения. Как правило, из опасных ледовых явлений порождаются опасные ледяные образования на поверхности морей и океанов. Возникновение зон интенсивного сжатия льда приводит к образованию торосов и гряд торосов. К опасным ледяным образованиям относятся торосы, гряды торосов, стамухи, айсберги и др.

В докладе рассматриваются результаты мониторинга опасных ледовых явлений и ледяных образований по спутниковым данным высокого пространственного разрешения. В частности, по данным среднего и высокого пространственного разрешения спутников серии EOS (Aqua, Terra), «Метеор-М» № 2, Landsat-8, Sentinel-1 и Sentinel-2, космических аппаратов серии «Канопус-В» в ледовые периоды 2016 – 2019 гг. осуществлялся мониторинг стамух в акватории Северного Каспия. Определялись положение (широта, долгота) стамухи, её геометрические размеры, период существования (для случаев, когда это было возможно). С помощью интерактивного дешифрирования осуществлялось оконтуривание стамух с последующей записью результата дешифрирования в векторном формате (в виде shp-файлов). По результатам этой работы была сформирована база данных обнаруженных со спутников стамух в Северном Каспии. Учитывая малые глубины Каспийского моря (в местах сосредоточения стамух), на некоторых спутниковых изображениях имелась возможность увидеть сквозь толщу воды неоднородности морского дна, а именно, следы воздействия (экзарации) стамух на донный грунт. Следует отметить, что на таких спутниковых изображениях, наблюдаются десятки следов воздействия стамух на морское дно, в то время как по используемым в настоящее время данным, их обнаруживается на порядок меньше.

В работе также приводятся примеры обнаружения и контроля других опасных ледовых образований – торосов, гряд торосов и айсбергов.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ И УСЛОВИЙ ИХ РАЗВИТИЯ

*Е. В. Василенко,
Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
«Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»
(ФГБУ «НИЦ «Планета»), г. Москва*

Одним из факторов, определяющих качество агрометеорологических прогнозов, является густота наблюдательной сети и частота, с которой проводят-

ся измерения. Однако метеостанции на территории России расположены сравнительно далеко друг от друга, а измерения ряда важных агрометеорологических параметров проводятся редко. Поэтому для детального отображения ситуации на сельхозугодиях необходимо привлекать другие источники информации.

В такой ситуации мощным подспорьем агрометеорологу служат данные ДЗЗ. Применение космической информации по вегетационным индексам и биофизическим параметрам позволяет увеличить уровень детальности оценки состояния сельхозугодий до масштаба поля.

Также по спутниковым данным оцениваются метеорологические параметры, влияющие на состояние растений. На базе геостационарных спутников серии Meteosat, а также полярно-орбитальных спутников серии Metop производятся такие продукты, как относительная влажность почвы, температура земной поверхности, маска облачности, мгновенная интенсивность осадков. Эти продукты поступают в ФГБУ «НИЦ «Планета» по системе международного обмена EUMETCast. По пространственному и временному разрешению эта информация значительно превосходит данные с метеостанций.

Однако, для того, чтобы спутниковые продукты нашли свое применение в агрометеорологической практике, необходимо выполнить ряд работ. А именно: преобразовать спутниковые данные в привычные для агрометеоролога единицы измерения; провести валидацию; выявить ниши в работе агрометеоролога, где польза от использования спутниковых продуктов будет значительна.

По данным скаттерометра ASCAT КА серии Metop восстанавливается относительная влажность почв. Разрешение продукта – 12.5 км, повторяемость съемки – 2-3 раза в день, глубина слоя оценки влажности почв – до 5 см. Автором был разработан метод пересчета относительной влажности почвы в миллиметры запасов продуктивной влаги (ЗПВ) для слоя 0-20 см. Корреляция между пересчитанными спутниковыми и наземными данными по ЗПВ – 0.67. Данные ASCAT также используются в качестве начальных данных в модели вертикального влаго- и теплопереноса в системе «почва–растительность–атмосфера». Совместное использование данных ASCAT и наземных измерений влажности почв, проводимых ежедекадно, позволяет получать суточные и полусуточные поля объективного анализа ЗПВ. Переувлажнение верхнего слоя почвы хорошо прослеживается по спутниковым данным, поэтому влажность почв по ASCAT используется для оперативного мониторинга условий проведения полевых работ.

Оценки температуры земной поверхности производятся на основе измерений спутников серии Meteosat. Временное разрешение – 15 минут, пространственное – 5 км. Продукт имеет «пробелы» из-за облаков. Но, так как экстремально высокие и низкие температуры характерны для безоблачной погоды, этот продукт достаточно уверенно детектирует (66 % случаев) опасные для растений температурные условия.

На основе данных геостационарных спутников серии Meteosat по мгновенной интенсивности осадков в ФГБУ «НИЦ «Планета» строятся карты суточных сумм осадков с разрешением в 5 км. Несмотря на то, что корреляция с измерениями метеостанций невысокая – 0,2, области выпадения осадков отображаются корректно.

На основе данных геостационарных спутников серии Meteosat по распределению облачности, а также времени восхода и заката солнца в ФГБУ «НИЦ «Планета» рассчитываются суточные поля продолжительности солнечного сияния (ПСС) и сумм фотосинтетически активной радиации (ФАР). Разрешение – 5 км. Корреляция с наземными данными – 0,72. Применения продукта – усвоение в моделях продуктивности и водного баланса.

Автором создан и внедрен в оперативную практику ряд программных комплексов по вычислению и визуализации на основе спутниковых данных таких метеорологических полей, как суточные суммы осадков, относительная влажность почв, ПСС, ФАР, суточные минимальные и максимальные температуры земной поверхности.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ ДЕТЕКТОРОМ ТУС НА БОРТУ СПУТНИКА «ЛОМОНОСОВ»

*П. А. Климов от имени коллаборации «Ломоносов»,
ФГБОУ высшего профессионального образования
«Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына,
г. Москва*

Орбитальный детектор (телескоп) ТУС запущен в составе научной аппаратуры спутника «Ломоносов» 28 апреля 2016 г. с космодрома Восточный. Этот прибор предназначен для регистрации слабого УФ-свечения треков космических лучей предельно высоких энергий (КЛ ПВЭ, частиц с энергией больше $7 \cdot 10^{19}$ эВ) в атмосфере Земли с борта искусственного спутника. Для выполнения целевой задачи детектор обладает высоким временным разрешением и чувствительностью. ТУС представляет собой телескоп-рефлектор, состоящий из двух основных частей: зеркала-концентратора френелевского типа большой площади (2 м^2), предназначенного для сбора и фокусировки УФ-свечения, и фотоприемника, состоящего из 256 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) типа Hamamatsu R1463 с соответствующей электроникой. Диапазон длин волн, в котором производится измерение, составляет 240 – 400 нм. Угол обзора ячейки составляет 10 мрад, что на уровне Земли соответствует пространственному разрешению 5 км при высоте орбиты 500 км. Все поле зрения детектора составляет $\pm 4,5$ град.

Детектор рассчитан на работу в разных временных режимах: с разрешением 0,8 мкс, 24,6 мкс, 0,4 мс и 6,6 мс. Это позволяет производить регистрацию разнообразных явлений – от самых быстрых, типа широких атмосферных ливней (ШАЛ) от КЛ ПВЭ и транзиентных атмосферных явлений типа эльфов – до квазистационарных: антропогенных источников, облачности, полярных сияний.

За время активного существования прибора (с момента запуска и до декабря 2017 года) накоплена большая база данных измерений во всех четырех режимах работы. Проведены поиск и исследование событий-кандидатов в ШАЛ КЛ ПВЭ. Обнаружены и проанализированы несколько событий, имитирующих сигналы от широких атмосферных ливней. Данные события обладают всеми характерными чертами свечения ШАЛ (линейный трек с релятивистским перемещением источника, кривая свечения с аналогичной формой и длительностью), но при этом амплитуда свечения чрезвычайно высока. Кроме этого, обнаружены необычные транзиентные явления – многократные эльфы (расширяющиеся светящиеся кольца областей нагрева электронов ионосферы электромагнитным импульсом молнии) и зарегистрированы необычные короткие всплески УФ-свечения вне грозовых областей. Полярная орбита спутника позволила производить измерения в высоких широтах (до 80° СШ), и тем самым наблюдать временную и пространственную структуру свечения в авроральном овале. Также проведена регистрация метеоров и поиск в данных детектора нуклеаритов – гипотетической массивной частицы темной материи, состоящей из трех типов кварков. В результате обработки данных детектора ТУС событий, удовлетворяющих критериям сигнала от нуклеаритов, на данный момент не обнаружено.

Таким образом, детектор ТУС на борту спутника «Ломоносов» является универсальным телескопом для наблюдения разнообразных явлений в атмосфере Земли с высокой чувствительностью и временным разрешением.

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

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ АНТЕННО-
ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОЛИНИЙ X-ДИАПАЗОНА
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «МЕТЕОР-М»,
«КАНОПУС-В» В ПЕРИОД ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

О. В. Бекренев, А. К. Гончаров, С. В. Кучер,
Научный центр оперативного мониторинга Земли
АО «Российские космические системы», г. Москва

В докладе рассмотрены результаты измерений характеристик бортовых АФУ радиолиний X-диапазона КА «Метеор-М», «Канопус-В» в период их эксплуатации. Проведена оценка значений ЭИИМ и диаграммы направленности АФУ КА. Проведено сравнение полученных характеристик АФУ КА «Метеор-М» и «Канопус-В» в период их эксплуатации с предполетными данными и данными, полученными для КА Terra.

Прием информации с КА ДЗЗ с заданной достоверностью определяется энергетическим потенциалом бортовой аппаратуры КА и потенциалом наземных средств приема. При этом чем выше ЭИИМ борта, тем с меньшими затратами может быть сформирована наземная инфраструктура.

В представленном докладе рассмотрен подход к проведению измерений характеристик АФУ бортовых радиолиний X-диапазона в период эксплуатации КА ДЗЗ. Оценка этих характеристик и контроль их сохранности в период эксплуатации КА ДЗЗ является необходимым элементом обеспечения надежности и достоверности приема информации.

Измерения выполнены на приемном комплексе НЦ ОМЗ с диаметром антенны 3,7 м с аттестованными характеристиками. Измерения выполнены для углов места от 5° до 90° и разных азимутов.

Результаты измерений позволяют сделать следующие выводы:

- измеренные значения коэффициента усиления КА «Метеор-М» № 2 и КА «Метеор-М» № 2-2, КА «Канопус-В» № 1, № 2, № 3, № 4, № 6 в период их эксплуатации в значительной степени совпадают с данными предполетных измерений;

- измеренное значение ЭИИМ КА Terra в полной мере отвечает заявленным характеристикам;

- отмечается неравномерность коэффициента усиления АФУ КА «Метеор-М» и «Канопус-В» для разных значений азимута. Неравномерность по азимуту достигает ± 3 дБ (для малых углов места);

- для КА «Метеор-М» следует отметить недостаточный динамический диапазон коэффициента усиления (~ 6 дБ) для диапазона углов места ($5^\circ \div 90^\circ$), что не обеспечивает компенсации снижения сигнала за счет удаленности от КА и приводит к значительному снижению сигнала на малых углах места;

– для КА «Канопус-В» динамический диапазон коэффициента усиления составляет 9 дБ, что в значительной степени компенсирует снижение сигнала за счет расстояния и обеспечивает лучшее соотношение с/ш на входе приемного комплекса;

– для КА Terra динамический диапазон коэффициента усиления составляет 12 дБ, что в полной мере компенсирует снижение сигнала из-за удаленности от КА и позволяет иметь равномерную характеристику с/ш на входе приемного комплекса для всех углов места.

Вывод работы: АФУ КА «Метеор-М» и «Канопус-В» должны быть доработаны, обеспечив равномерный уровень сигнала для всех углов места (как у КА Terra), должен быть повышен энергопотенциал за счет введения помехозащищающего кодирования.

ПОДАВЛЕНИЕ ЗАДНЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН В МАЛОГАБАРИТНЫХ СИСТЕМАХ ВЫСОКОТОЧНОГО СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

¹Д. В. Татарников, ^{1, 2, 3}А. А. Генералов,
¹ФГБОУ высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва,
Топкон Позиционинг Системс (ТПС, ООО), г. Москва,
Институт Проблем Управления РАН (ИПУ РАН), г. Москва

ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ АНТЕННА С МОНОИМПУЛЬСНЫМ РУПОРНЫМ ОБЛУЧАТЕЛЕМ ДЛЯ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

И. Г. Орлов,
ФГБОУ высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва

В задачах разработки современных систем спутниковой связи (ССС) все чаще предъявляются требования по обеспечению высокой направленности излучения при малом уровне бокового излучения. При этом современные антенные системы должны обеспечивать заданные характеристики в широкой полосе частот.

В работе была поставлена задача разработки антенны для приема информации с КА, способной обеспечить суммарно-разностную диаграмму направленности (ДН), с линейной поляризацией с частотой от 2200 до 2300 МГц, КСВ не более 1,5, при этом диаметр зеркала должен быть не более 5 метров.

Для обеспечения хорошего качества связи антенное устройство ССС должно иметь узконаправленную ДН и высокий коэффициент усиления (КУ) в направлении приема. Как вариант исполнения можно принять параболическую антенну. Такой тип антенн получил широкое применение в ССС. Столь широкое применение объясняется возможностью получения высоких харак-

теристик направленности (большой коэффициент усиления, малая ширина луча, хорошие диапазонные свойства), простотой и надежностью конструкции, их относительной дешевизной.

В качестве облучателя примем моноимпульсный рупор. Основным преимуществом по сравнению с облучателями с одноканальной пеленгацией является то, что определение направления на источник сигнала в данном типе антенны осуществляется за один импульс. Техническим средством реализации моноимпульсной пеленгации может служить многоканальный прием. Поэтому принцип моноимпульсной пеленгации заключается в приеме отраженных от цели сигналов одновременно по нескольким независимым приемным каналам с последующим сравнением их параметров. За счет этого достигается точное автоматическое сопровождение цели.

В работе был проведен обзор антенн для систем спутниковой связи. В качестве одного из возможных вариантов построения рассмотрена параболическая антенна с моноимпульсным рупорным облучателем, имеющая суммарно-разностную ДН.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТРИЧНОЙ СХЕМЫ ЦИФРОВОГО ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

*П. А. Шмачилин, Т. Ю. Шумилов,
ФГБОУ высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва*

С развитием цифровой обработки сигналов и развитием цифровой элементной базы появляются возможности построение цифровых антенных решеток (ЦАР), как антенных решеток (АР), в которых цифровая обработка сигнала производится непосредственно в приеме-передающем модуле рядом с антенным элементом. Переходя к цифровой обработке сигналов (ЦОС) в приёмно-передающем модуле (ППМ) на несущей частоте, антенная решётка исключит потери мощности сигнала, искажения сигнала, позволит обеспечить более эффективную многоканальную обработку сигналов в приемных антенных решетках. Влияние дестабилизирующих факторов, неизбежного технологического разброса на аналоговый сигнал при переходе к цифровому представлению этого сигнала практически исключаются в связи с тем, что при формировании цифрового сигнала используются пороговые явления, приводящие к переходу в бинарную область значений, в которой цифровой электронный прибор пребывает в одном из своих возможных устойчивых состояний. Копирование цифрового сигнала без потерь позволяет расширить динамический диапазон ЦАР в сравнении с ФАР, не прибегая к дополнительным усилительным каскадам для каждого канала. Эффективная работа таких

систем связана с наличием соответствующей элементной базы, способной осуществлять аналого-цифровые преобразования на несущей частоте, а также потоковую обработку цифровых сигналов в реальном времени на больших скоростях. На текущий момент на рынке можно найти аналого-цифровые преобразователи, способные обеспечивать преобразование сигналов на частотах до 23 ГГц.

В зависимости от возможности элементной базы и диапазона частот можно применять различные варианты построения ППМ, можно производить аналого-цифровое преобразование на промежуточной частоте, либо на несущей частоте сигнала.

В работе рассматривается задача падения волны на полотно ЦАР под определенным углом с последующей пространственной селекцией его в частотной области. В классической диаграммообразующей схеме система фазовращателей образует набор фазовых множителей, компенсирующих разность хода волн между излучателями, появляющуюся в результате падения волны на апертуру АР под некоторым углом. При этом фазовые множители могут быть рассчитаны для конкретного углового направления формирования луча только для одной (центральной) частоты спектра сигнала. При этом если принимаемый сигнал отличается по частоте от расчётной частоты фазового распределения, то начнёт проявляться эффект частотного хода луча (частотного сканирования), что на практике может ограничить полосу частот ФАР. В ЦАР существует возможность разложения принятого цифрового сигнала в спектр по заданному набору гармоник непосредственно в каждом ППМ и рассмотрения задачи диаграммообразования для каждой гармонической составляющей спектра в отдельности.

В работе приведены результаты моделирования тестовой задачи падения на апертуру ЦАР двух гармонических волн. Рассмотрены случаи, при которых две волны имеют разные частоты и падают под одним и тем же углом, под двумя различными углами, а также случай, когда две когерентные монохроматические волны падают с двух разных угловых направлений. Показана возможность применения матричного метода для пространственно-частотной селекции данных волн в ЦАР.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХДИАПАЗОННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

¹Е. В. Овчинникова, ¹Ван Винь Фам, ²Э. В. Гаджиев, ³О. В. Васильев,

¹ФГБОУ высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва,

²АО «Научно-исследовательский институт электромеханики», г. Истра,

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

ЦИФРОВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА С НЕЙРОСЕТЕВЫМ БЛОКОМ КАЛИБРОВКИ

¹С. Г. Кондратьева, ¹П. А. Шмачилин, ²Н. П. Аносова,
¹ФГБОУ высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва,
²ФГБОУ высшего образования
«Российский университет дружбы народов», г. Москва

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРОМАШИНЫ С РОТОРОМ, СОЗДАННЫМ ПО СХЕМЕ ХАЛЬБАХА

А. Б. Захаренко, А. К. Надкин, К. С. Осикова,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

В настоящее время предложено множество новых конструктивных исполнений ротора синхронных электрических машин с постоянными магнитами. Среди них следует отметить конструкцию, определяющую расположение векторов намагниченности постоянных магнитов ротора «по схеме Хальбаха». Одной из её особенностей является концентрация магнитного потока и магнитной индукции в воздушном зазоре. При этом в известных литературных источниках отсутствует методика проектирования синхронной электромашины, созданной без использования явления сверхпроводимости, позволяющая повысить индукцию в воздушном зазоре до 1,5 Тл и более для достижения наилучших удельных показателей. Эта задача особенно актуальна для создания двигателя-маховика космического назначения. В работе предложена новая конструкция синхронной машины с постоянными магнитами, намагниченными по схеме Хальбаха.

Методика проектирования в общем случае должна включать следующие этапы:

1. Выбор диаметра двигателя исходя из назначения и особенностей системы электропривода.
2. Выбор конструкции крепления ротора, например, консольной.
3. Анализ качеств точности, допусков и посадок изготовления деталей на основе возможностей имеющегося оборудования. Определение минимально-возможного зазора между статором и ротором на основе анализа допусков.
4. Вариация числа полюсов, радиальных размеров постоянных магнитов и ярем ротора, а также схем и размеров обмотки статора для максимизации индукции в воздушном зазоре.
5. Выбор активной длины двигателя исходя из необходимого вращающего момента.

Проектирование двигателя-маховика с постоянными магнитами, намагниченными по схеме Хальбаха (рис. 1), было проведено на основе аналогии с существующим двигателем-маховиком. Исходя из возможности вписывания в конструктив аналога, был выбран средний диаметр обмотки $D_{\text{ср}} = 100$ мм.

Зависимости индукции в среднем сечении обмотки якоря от линейной координаты внутри полюсного деления построены для высот постоянных магнитов 2, 5, 8, 11, 14, 17 мм (рис. 2) для $2p = 12$. График показывает, что увеличение высоты магнита с равным шагом приводит к все меньшему увеличению магнитной индукции. Поэтому увеличение высоты магнита свыше 17 мм нецелесообразно.

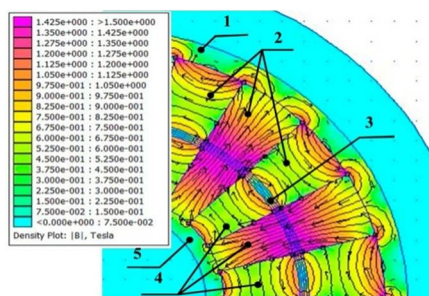


Рис. 1. Магнитная система предлагаемого двигателя
1, 5 – ярма; 2, 4 – магниты;
3 – обмотка

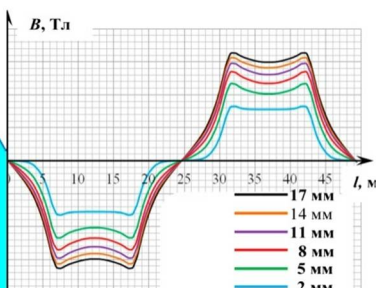


Рис. 2. Зависимости индукции в среднем сечении обмотки якоря от линейной координаты на полюсном делении

Выводы

1. Предложена новая конструкция электромашины с ротором, созданным по схеме Хальбаха, позволяющая увеличить максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре по сравнению с традиционными машинами.
2. Предложен алгоритм проектирования электрической машины, позволивший повысить магнитную индукцию в воздушном зазоре электромашины с ротором, созданным по схеме Хальбаха до 1,5 Тл.
3. Разработан двигатель-маховик, позволяющий улучшить удельную мощность и удельный момент на 25%, эффективность на 11,5% по сравнению с известным аналогом.

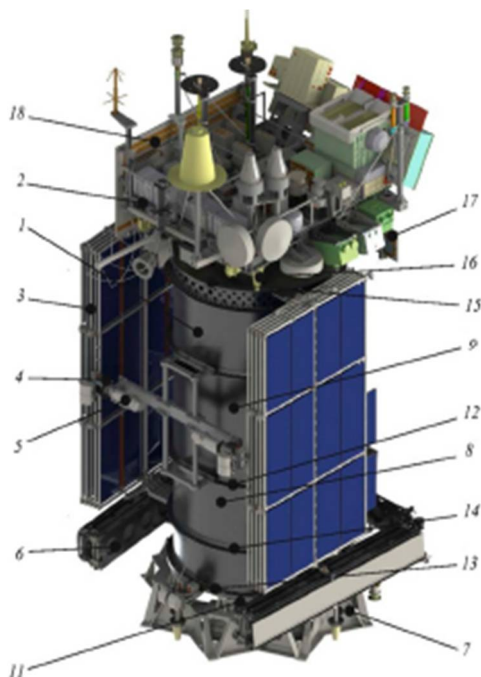
АНТЕННАЯ СИСТЕМА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СЕРИИ «МЕТЕОР-М»

¹А. Б. Захаренко, ¹А. Ю. Федотов,
²А. Г. Генералов, ²Э. В. Гаджиев, ²М. Р. Салихов,
¹АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва,
²АО «НИИЭМ», г. Истра

«Метеор-М» – серия 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.

На рисунке представлен КА «Метеор-М» № 2-2.



Объемная модель КА «Метеор-М» № 2-2

В составе бортовых систем КА серии «Метеор-М» разработаны и успешно применяются антенны для:

- бортовой информационной системы с радиолинией метрового диапазона (БИС-МВ);
- бортовой информационной телеметрической системы модернизированной (БИТС-М);
- малогабаритной бортовой информационно-телеметрической системы модернизированной (МБИТС-М);
- бортового радиокomплекса спасание модернизированный (РК-СМ-МКА);
- бортового радиокomплекса системы сбора и передачи данных (БРК ССПД);
- радиолинии передачи целевой информации (РЛЦИ);
- командно-измерительной системы (КИС);
- автономной системы навигации (АСН).

В докладе подробно представлены конструкция и электрические параметры разработанных антенн.

В ходе анализа представленных выше бортовых антенн КА серии «Метеор-М» предложены перспективные решения в части антенной системы аппарата, приведённые в данном докладе. Показаны способы их реализации и преимущества.

МОДЕЛИ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПО ИОНОСФЕРНЫМ СПУТНИКОВЫМ РАДИОЛИНИЯМ

*В. В. Батанов, Л. Е. Назаров, З. Т. Назарова,
Фрязинский филиал института радиотехники
и электроники им. В. А. Котельникова РАН, г. Фрязино*

Ионосфера является неоднородной дисперсионной средой распространения, которая обуславливает фазо-частотные и амплитудно-частотные искажения цифровых сигналов при их распространении. Наряду с аддитивными канальными помехами эти искажения являются основными факторами снижения надежности передачи информации, что определяет актуальность создания и развития соответствующих моделей ионосферных искажений и использования этих моделей при разработке спутниковых систем связи, систем радиолокации ДЗЗ.

Основу разработанных методов анализа искажений сигналов при распространении по ионосферным спутниковым радиолиниям представляет решение волнового уравнения относительно плоской волны $E(z, f)$ с частотой f , нормально падающей на слой неоднородной среды с диэлектрической проницаемостью $\epsilon(z, f)$ и распространяющейся по z

$$\frac{d^2 E(z, f)}{dz^2} + \frac{(2\pi)^2 f^2}{c^2} \epsilon(z, f) E(z, f) = 0,$$

где c – скорость света.

Для частот f , используемых в спутниковых информационных системах (системах связи, радиолокации ДЗЗ), коэффициент диэлектрической проницаемости ионосферы $\epsilon(z, f)$ задается соотношением

$$\epsilon(z, f) = 1 - f_p^2(z) / f^2,$$

где $f_p(z) = \sqrt{80,8 N_z(z)}$ – собственная частота ионосферы (кГц); $N_z(z)$ – электронная плотность ионосферы (эл/см³) на высоте z .

Разработанные методы описания искаженных радиоимпульсов при распространении по ионосферным линиям на основе решения волнового уравнения относятся к двум классам: методы описания во временной области, рассматривая действие ионосферной линии эквивалентное линейной фильтрации; методы описания в частотной области с использованием аппарата спектрального преобразования Фурье.

Искажения сигналов при применении корреляционной обработки обуславливают наличие энергетических потерь по отношению к распространению в свободном пространстве и заключаются в двух факторах: происходит временное рассеяние сигналов при распространении по ионосферной линии; изменяется огибающая сигналов по отношению к огибающей исходного сигнала.

С использованием созданных и развитых моделей распространения сигналов по спутниковым каналам передачи разработаны методики оценивания влия-

яния ионосферных линий передачи на эффективность систем связи и радиолокации ДЗЗ и относительно мощности межсимвольных и межканальных помех, возникающих при распространении широкополосных сигналов по ионосферным линиям спутниковых радиолиний. С использованием этих методик показано, что вариации амплитуд сигналов в P -, L -частотных диапазонах достигают 5 дБ – энергетические потери для сигналов с фазовой манипуляцией с частотной полосой до 20 МГц в P -частотном диапазоне, используемых в системах связи, достигают до 2,5 дБ и более, что необходимо учитывать при расчете энергетического бюджета разрабатываемых и создаваемых широкополосных спутниковых радиолиний систем связи и систем радиолокации ДЗЗ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №20-07-00525).

ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ, ГЕНЕРАТОРЫ И ПОДСИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ КОМПАНИИ RAKON

*П. Л. Евграфов,
ООО «СД Солюшнс», г. Санкт-Петербург*

Приоритетными направлениями деятельности французской компании Rakon являются разработка и производство компонентов для военных и космических применений. Кварцевые изделия компании Rakon отлично зарекомендовали себя при реализации множества международных программ. Компания является одним из немногих европейских поставщиков, изделия которого сертифицированы Европейским космическим агентством (ESA) для применения в космической отрасли.

В настоящее время компания Rakon активно развивает новую линейку (New Space) кварцевых генераторов и подсистем, оптимизированную для применения в составе бортовой аппаратуры космических аппаратов, рассчитанных на 8-летний срок активного существования (САС). Примером применения компонентов линейки New Space может служить формат малых и сверхмалых искусственных спутников Земли Cubesat, в которых обычно используются стандартные комплектующие класса COTS. Для данного сегмента рынка компания Rakon предлагает ряд инновационных изделий, сочетающих в себе повышенную стойкость к воздействию спецфакторов с выгодной ценой. Изделия New Space обладают стойкостью к радиации уровня Rad-Tolerant, имеют компактные размеры и низкое энергопотребление, что является критическим фактором для применения в бортовой аппаратуре КА.

Другим направлением разработки изделий New Space являются подсистемы на основе кварцевых генераторов собственного производства: Master Reference Oscillator, Frequency Generation Unit. Устройства оптимизированы для построения спутниковой системы навигации GNSS и по стоимости являются более выгодной альтернативой модулям атомного стандарта частоты Space CSAC.

При разработке и производстве своих изделий компания Rakon уделяет особое внимание высочайшему контролю выпускаемой продукции, проводит многоэтапные испытания, подтверждая параметры генераторов необходимыми документами. Компания выпускает продукцию в металлических или керамических герметичных корпусах по гибридной и дискретной технологиям согласно стандарту MIL-PRF-55310, обладающих высокой стойкостью к механическим воздействиям, экстремальным температурам и радиации. Благодаря применению материалов самого высокого качества (монокристаллов кварца) и тщательно отработанной технологии производства достигается сочетание высокой стабильности в течение всего срока эксплуатации с низким уровнем флуктуаций и повышенной надежностью.

Компания Rakon считает своими важнейшими принципами следование инновациям, совершенствование технологий и стремление обеспечить высочайший уровень качества взаимодействия с заказчиками.

**КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ GaAs И GaN ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА МИС ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ
МОДУЛЕЙ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ, В ТОМ ЧИСЛЕ
ВРЛ И ППМ АФАР КА
(на основе технологий GaAs и GaN производителя United Monolithic
Semiconductors (Франция))**

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

Требования к обеспечению эффективности космических аппаратов и необходимость достижения сроков активного существования до 15 лет и более обязывают разработчика использовать особые подходы по тщательному подбору элементной базы для использования в составе служебных систем и полезной нагрузки разрабатываемых перспективных КА. Обеспечение надежности может осуществляться благодаря использованию квалифицированной «космической» компонентной базы, либо поиском, отбором и квалификацией компонентов индустриального уровня качества.

Оба подхода могут использоваться на практике, и выбор должен быть обусловлен интегральной оценкой времени и затрат на проведение квалификации элементов «перезачетом» уже выполненных и предоставленных производителем отчетов по испытаниям, либо полным объемом квалификации индустриальной партии микросхем по требуемой модели ВВФ. В последнем случае разработчик рискует столкнуться с разнопартийностью элементов, менее тщательным контролем качества партии элементов с вероятным непрохождением последующих квалификационных испытаний, либо разными технологическими процессами, которые заказчик использует для создания однотипной номенклатуры разного уровня качества.

Вопрос различных применений цифровой и аналоговой квалифицированной элементной базы рассмотрен достаточно глубоко. Особняком стоит вы-

бор элементной СВЧ базы для СВЧ АФАР либо ВРЛ, ППМ и любых иных спутниковых систем, подразумевающих прием либо передачу информации. В данной презентации будет рассмотрен подход Европейского космического агентства в целом и компании United Monolithic Semiconductors в частности к обеспечению надежности и работоспособности СВЧ-тракта космического аппарата.

Компания UMS, основанная в 1996 г., обладает значительным опытом создания микросхем космического уровня качества. Компания является дочерним предприятием Thales и Airbus и с самого основания была ориентирована на разработку передовых решений для создания компонентов СВЧ-тракта, удовлетворяющих по техническим характеристикам и надежности требованиям, предъявляемым к изделиям космического уровня качества. Арсенидные и нитридные технологические процессы производителя прошли квалификацию Европейского космического агентства. Продукция компании UMS нашла применение в составе аппаратуры ДЗЗ спутников Sentinel, MetOp, TerraSAR и других.

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

В докладе будет представлен краткий обзор технологических процессов производителя, предназначенных для создания индустриальной и высоконадежной элементной базы, в т. ч. квалифицированных для создания изделий космического уровня качества, и рассмотрен объем и результаты испытаний, характерных для указанных процессов.

Кроме того, будет представлен краткий обзор образцов МИС наиболее востребованной и перспективной GaAs и GaN номенклатуры, создаваемой на указанных технологических процессах для радарных, связных и РЭБ применений.

НОВЫЕ ПЛИС ЕВРОПЕЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БОРТОВОЙ АППАРАТУРЕ КА

¹В. Муаллем, ²К. В. Бердичевский, ²А. В. Королёв,

¹3D PLUS, Франция,

²ООО «СД Солюшнс», г. Санкт-Петербург

Бортовая радиоэлектронная аппаратура (РЭА) космического аппарата является одним из основных средств, обеспечивающих его надежное функционирование и заданные технические характеристики. В последние годы происходит быстрое развитие технологий создания интегральных схем (ИС), применяемых в РЭА космических аппаратов, и номенклатура ИС постоянно пополняется новыми изделиями. Каждое новое изделие обладает более высо-

кой надежностью, производительностью и имеет более низкую стоимость, чем применяемые ранее. Компания 3D PLUS (Франция) уже более 20 лет занимается разработкой и производством высоконадежных модулей памяти для ответственных применений, в том числе и для применений в космической технике. С развитием технологий и ростом потребностей заказчиков инженеры компании 3D PLUS начали работать над более сложными устройствами и создали модуль космического уровня качества FUSIO RT, представляющий собой компьютерное ядро на основе ПЛИС NanoXplore европейского производства. Наличие ПЛИС в этом компактном модуле обеспечивает высокую гибкость и производительность разрабатываемой системы, а также оптимизацию затрат.

Модуль FUSIO RT построен на основе блочной архитектуры, состоящей из трех блоков: базовый блок содержит ПЛИС со встроенным микропроцессором и конфигурационное ПЗУ, опциональные блоки содержат ОЗУ и дополнительное ПЗУ для хранения данных.

Модуль FUSIO RT, разработанный компанией 3D PLUS по заказу национального центра космических исследований Франции (CNES) для применения в космической отрасли, обладает такими ключевыми преимуществами, как миниатюризация, радиационно стойкая конструкция, блочная архитектура и длительный срок технической поддержки.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ КА

*А. С. Катков,
ООО «СД Солюшнс», г. Санкт-Петербург*

Компания Eххelia (Франция) уже более 50 лет занимается разработкой и производством широкого перечня пассивных компонентов для ответственных применений, в том числе для применения в составе бортовой аппаратуры космических аппаратов. В номенклатуру производителя входят конденсаторы с различными типами диэлектриков, моточные изделия, помехоподавляющие и сетевые фильтры. В процессе развития технологий компания осваивала производство новых типов конденсаторов и применение новых типов диэлектриков.

Выбор типа конденсатора при разработке различных бортовых систем космических аппаратов определяется спецификой применения. Например,

высокоемкостные керамические и пленочные конденсаторы (на основе полиэтилентерефталата) могут использоваться в системах распределения энергии космического аппарата. При этом применение любого из этих типов конденсаторов имеет свои преимущества и недостатки, которые будут рассмотрены в докладе.

Изделия компании Eххelia были успешно применены во многих международных космических миссиях, самыми известными из которых являются IRIDIUM, GlobalStar, InSight, Bepi Colombo, Galileo, Eutelsat, ChangE-4. Высокая надежность конденсаторов подтверждается отработанными за многие годы технологическими процессами и программой испытаний, соответствующей требованиям Европейского космического агентства.

В докладе будет представлен обзор технических решений, даны примеры их применения, а также будет дан краткий обзор развития новой технологии производства конденсаторов на основе органического диэлектрика.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

¹Д. И. Новоселов, ²Е. В. Брагина, ³О. В. Андреев,

¹ Федеральное государственное бюджетное
военное образовательное учреждение высшего образования
Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки,

² Федеральное государственное бюджетное учреждение
27 ЦНИИ Минобороны России, г. Москва,

³ Федеральное государственное бюджетное
военное образовательное учреждение высшего образования
Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки

В соответствии с действующими нормативными актами Российской Федерации на спасательные воинские формирования (СВФ) Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, возлагаются задачи по защите населения и территорий, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в том числе за пределами территории Российской Федерации.

Анализ опыта ликвидации различных чрезвычайных ситуаций (ЧС) показал, что в современных условиях планирование, организация и управление подразделениями в ходе ведения аварийно-спасательных и других неотлож-

ных работ невозможно без качественной, всесторонней оценки обстановки. Она должна происходить очень оперативно, поскольку от этого зависят человеческие жизни. В этой связи, современные космические данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) стали важной составляющей при обеспечении действий СВФ МЧС России.

Данные ДЗЗ оптимально подходят для решения задач управления в районах ЧС. Они являются наиболее доступным и оперативным источником актуальной высокоточной информации о местности. Оперативность получения данных может достигать нескольких часов после выполнения съемки, в том числе и вне зависимости от погодных условий при использовании радарных спутников. На основе этих данных могут создаваться ситуационные оперативные карты, карты изменений местности, карты оценки ущерба и хода восстановительных работ.

Использование данных ДЗЗ позволит обеспечить действия подразделений СВФ МЧС России аналоговой и цифровой (электронной) информацией, необходимой для своевременного выполнения задач по предназначению.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ НАЗЕМНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ ПРИ ВАЛИДАЦИИ И КАЛИБРОВКЕ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

¹В. А. Пантюшин, ²О. А. Левичев,

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

Государственный университет по землеустройству, г. Москва

²АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

Для прямой оценки линейного разрешения на местности при валидации и калибровке целевой аппаратуры космических комплексов дистанционного зондирования земли (ЦА КК ДЗЗ) видимого диапазона необходимо максимально учесть требования к условиям проведения съемки, к климатическим условиям в районе проведения съемки и состоянию атмосферы. Важное значение на качество валидации и калибровку оказывают применяемые методики и оборудование, а также уровень подготовки специалистов, проводящих измерения и обработку данных.

Исследования, проводимые в рамках опытно-конструкторских работ (ОКР) «Регион-В-Валидация-РК» и «Валидация-РК25» позволили сформировать требования к составу и параметрам наземных тест-объектов (ТО), а также необходимый комплекс проводимых наземных измерений.

Наземный тест-объект представлен мирой штриховой трехшпальной с максимальными и минимальными значениями полей яркости, образцами деградации определенных фотометрических и геометрических значений.

На основе анализа выполненных измерений на наземных тест-объектах полигонов зарубежных стран, а также с учетом проводимых исследований в рамках опытно-конструкторских работ, разработана комплексная методика измерений наземных тест-объектов при валидации и калибровке целевой аппаратуры космических комплексов дистанционного зондирования Земли.

Комплексная методика наземных измерений тест-объекта включает подготовительный этап, этап проведения съемки ТО и заключительный этап.

На подготовительном этапе проверяются параметры готовности ТО к съемке и проводимым измерениям, а также готовность привлекаемого оборудования и технических средств для измерений.

На этапе проведения съемки ТО определяются параметры метеоданных, прозрачности атмосферы, а также фотометрические параметры миры и полей яркости.

На заключительном этапе определяются параметры деградации миры.

Разработанная методика позволит получить точные значения разрешающей способности материалов дистанционного зондирования при валидации и калибровке целевой аппаратуры в короткие сроки и с максимальной экономией финансовых и технических средств.

АЛГОРИТМЫ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ИНФРАКРАСНОГО ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА ИКФС-2

*Д. А. Козлов, Д. О. Монахов, А. Г. Никулин,
И. А. Козлов, И. С. Черкашин,*

Исследовательский центр им. М. В. Келдыша, г. Москва

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр ИКФС-2 в составе КА «Метеор-М» предназначен для измерения спектров теплового излучения атмосферы Земли и решения на их основе задач оперативной метеорологии и климатологии. Регистрируемые прибором интерферограммы представляют собой автокорреляцию амплитуды электрического поля как функцию оптической разности хода (ОРХ), связанную со спектральной плотностью входного излучения преобразованием Фурье.

С точки зрения потока целевой информации, формируемой прибором ИКФС-2, каждая интерферограмма (ИФГ) является дискретным множеством отсчетов оцифрованного сигнала на выходе фотоприемного устройства и имеет следующие параметры:

- диапазон изменения ОРХ двухсторонней ИФГ ($\pm 1,7$ см), определяемый требуемым спектральным разрешением;
- шаг дискретизации ИФГ по ОРХ, определяемый длиной волны излучения лазера референтного канала (1,31 мкм);
- число отсчетов интерферограммы ($N \sim 26000$);

– разрядность АЦП (18 бит), определяемая отношением «сигнал-шум» в ИФГ.

С учетом периодичности съема ИФГ (0,6 с) поток целевой информации без учета сжатия составляет 762 Кбит/с. Для снижения потока передаваемой информации применяется сжатие за счет кодирования отсчетов ИФГ различным количеством бит (с увеличением значения ОРХ необходимое число бит уменьшается). Это позволяет обеспечить коэффициент сжатия порядка 1,4, в результате общий поток данных от прибора (целевая, телеметрическая и служебная информация) составляет порядка 600 Кбит/с.

На этапе наземной первичной обработки информации фурье-спектрометра ИКФС-2 регистрируемые прибором интерферограммы преобразуются в калиброванные спектры объекта наблюдения, выраженные в абсолютных значениях измеряемой физической величины (СИЭЯ или яркостной температуры), обеспеченные координатно-временной привязкой и параметрами качества. Алгоритмы первичной обработки должны реализовывать:

- стандартную радиометрическую калибровку измерений, выполняемую на основе периодических измерений опорных источников излучения (бортового черного тела и космоса);
- коррекцию нелинейности фотоприемника (фоторезистор HgCdTe);
- спектральную привязку измерений к шкале волновых чисел (с погрешностью не более 5 ppm);
- коррекцию особенностей аппаратной функции прибора, вызванных самоаподизацией и остаточной разъюстировкой интерферометра;
- применение аподизации выходных спектров и пересчет на фиксированную сетку спектральных отсчетов (в соответствии с требованиями потребителя информации);
- временную привязку измерений с учетом сигналов суточной (или секундной) метки;
- геопривязку измерений с учетом циклограммы сканирования, положения и ориентации КА, а также установочных углов прибора на КА;
- определение параметров качества выходных спектральных данных.

Все перечисленные алгоритмы реализуются программным комплексом анализа и первичной обработки данных ИКФС-2 (ПК «IKFSPrepSuite»).

В соответствии с требованиями тематического заказчика (Росгидромет) для КА «Метеор-М» № 2-5, № 2-6 планируется модернизация аппаратуры ИКФС-2, заключающаяся в введении второго ИК-канала и расширении рабочего спектрального диапазона прибора с (5 – 15) мкм до (3,5 – 15) мкм. В связи с тем, что при этом требуется передача интерферограмм второго ИК-канала, а поток информации от прибора к КА должен остаться неизменным (600 Кбит/с), необходима доработка алгоритмов бортовой и наземной первичной обработки информации прибора.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ КАЛИБРОВКИ
ОРБИТАЛЬНОГО 3D-ГИРОКОМПАСА
В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОГРАММНОГО
ПОВОРОТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО КУРСУ**

*И. Н. Абезяев, П. Е. Величко, А. И. Поцеловкин,
АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов*

Рассматривается пространственный 3D-гироскоп (гироскоп) с возможностью автокомпенсации инструментальных погрешностей в фиксированных программных курсовых положениях относительно орбитальной системы координат.

Выполнено исследование, направленное на решение задачи автокомпенсации инструментальных погрешностей гироскопа в режиме непрерывного программного поворота космического аппарата по курсу, с целью сокращения времени калибровочных работ.

Для решения задачи предложено ввести в контур коррекции гироскопа интегрирующие устройства, включенные в обратные связи сигналов коррекции.

Приведен алгоритм, описывающий процесс калибровки гироскопа, выполнено математическое моделирование, подтверждающее сокращение общего времени калибровочных работ при сохранении точности ориентации космического аппарата относительно орбитальной системы координат при использовании метода автокомпенсации для фиксированных курсовых положений.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	3
СЕКЦИЯ 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ, ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ	4
СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУКЦИИ ПЛАТФОРМ И СЛУЖЕБНЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	18
СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ	25
СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	37
СЕКЦИЯ 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА	44
СЕКЦИЯ 6. АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА КА, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОДА	61