

Ю.В. Трифонов, А.В. Горбунов, А.Л. Чуркин  
ФГУП «НПП ВНИИЭМ»

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА В ФГУП «НПП ВНИИЭМ»

### Краткая предыстория создания КА наблюдения Земли и атмосферы

В начале 60-х годов XX века ВНИИ Электротехники Минэлектротехпрома (ныне ФГУП «НПП ВНИИЭМ») по инициативе и под руководством Главного конструктора А.Г. Иосифьяна, при участии ряда организаций Минрадиопрома, Миноборонпрома и Минобщемаша впервые разработал и в период 1964-1967гг. провел летно-конструкторские испытания (ЛКИ) метеоспутников первого поколения "Метеор". В 1967 г. организации Госкомгидромета при участии ВНИИЭМ начали экспериментальную эксплуатацию первой в Советском Союзе космической метеорологической системы "Метеор", включавшей два космических аппарата (КА), объявленных сообщением ТАСС как "Космос-144" и "Космос-156", и наземные информационные комплексы.

Разработанная ВНИИЭМ и подтвержденная успешными результатами ЛКИ и опытной эксплуатацией конструкторская документация на КА была внедрена в серийное производство на Южном машиностроительном заводе (ЮМЗ) Минобщемаша. Поставки Министерству обороны КА "Метеор" для штатной эксплуатации производились ЮМЗ до 1978 г., при этом изготовление служебных систем КА и техническое руководство эксплуатацией системы сохранялись за ВНИИЭМ.

ВНИИЭМ продолжал конструкторские работы по модернизации КА "Метеор" и в 1974 г., заменив информационный комплекс, начал также впервые в СССР летные испытания КА серии "Метеор-Природа" для изучения природных ресурсов Земли (ИПРЗ). В орбитальном полете серии этих КА (5 КА до 1985 г.) были получены важные результаты, позволившие в дальнейшем развернуть полномасштабную эксплуатацию КА для ИПРЗ.

Одновременно ВНИИЭМ с кооперацией разрабатывал совершенно новый космический аппарат "Метеор-2", оснащенный служебной и информационной аппаратурой, соответствующей в те годы уровню зарубежной космической техники. В рамках этой работы, опираясь на собственный опыт и мировые тенденции развития технических средств наблюдения Земли из космоса, ВНИИЭМ создал оригинальную спутниковую платформу СП-1, парамет-

ры которой удовлетворяли требованиям многоцелевых приборов дистанционного зондирования Земли из космоса второго поколения.

ВНИИЭМ соответствующими постановлениями руководства Советского Союза был определен головной организацией по КА и космической метеосистеме "Метеор-2". Информационная аппаратура КА и наземные комплексы создавались "ВНИИ Телевидения", ВНИИ "Альтаир" и ЦКБ "Геофизика".

После того, как в 1975-1978 гг. успешно прошли летно-конструкторские испытания КА «Метеор-2», отработанная в Москве конструкторская документация КА «Метеор-2» была внедрена в производство Истринского филиала ВНИИЭМ. В 1982 г. Постановлением Правительства была принята в эксплуатацию Государственная метеорологическая космическая система (ГМКС) «Метеор-2». Поставки Министерству обороны КА «Метеор-2» для ГМКС в период 1978-1990 гг. выполнял Истринский филиал ВНИИЭМ (ныне ФГУП НИИЭМ, г. Истра).

### Методология дистанционного зондирования из космоса. Основные определения

Дистанционное зондирование Земли из космоса (ДЗЗ) осуществляется пассивным и активным методами. При пассивном ДЗЗ приборы, установленные на борту космического аппарата, измеряют характеристики уходящего (отраженного солнечного и генерированного системой Земля – атмосфера) электромагнитного излучения в широком диапазоне волн. Принято использовать ультрафиолетовый (0,2-0,4 мкм), видимый (0,4-0,8 мкм), ближний инфракрасный (0,8-5 мкм) диапазоны отраженного излучения, а также дальний инфракрасный (10-14 мкм) и микроволновый (миллиметры и сантиметры) диапазоны собственного излучения Земли и атмосферы.

В интересах ряда наук о Земле, гидрометеорологии, океанологии, геологии, экологии водного и воздушного бассейнов, а также решения конкретных прикладных задач научного, хозяйственного и оборонного назначения, используют отдельные участки указанных диапазонов спектра – поддиапазоны или спектральные зоны, границы которых определяются долями микронов, миллиметров, сантиметров. Такие

способы наблюдения называются спектрозональными или мультиспектральными измерениями.

На ранних этапах развития техники наблюдения Земли из космоса для оценки распределения облачного, ледового, снежного покрова, для различения разнообразных природных или сельскохозяйственных ландшафтов, для составления топографических и тематических карт использовались телевизионные или фотографические изображения. Эти изображения могли быть панхроматическими или мультиспектральными, обладали (в особенности фотографические) высоким пространственным разрешением, хорошим геометрическим качеством, они широко применялись и продолжают применяться для специальных целей, хотя и не всегда обладают измерительными (радиометрическими) свойствами.

В дальнейшем, по мере развития методологии численных прогнозов погоды, необходимости глубокого анализа состояния, состава, характеристик природных или сельскохозяйственных угодий, экологического мониторинга водных и воздушных бассейнов, выявления различных загрязнений поверхности суши и решения множества других задач от приборов, находящихся в космосе, потребовалась высокая радиометрическая точность и стабильность калибровочных характеристик. В настоящее время практически все приборы дистанционного зондирования ("remote sensing" – дистанционное измерение), должны иметь хорошие измерительные свойства, что отражается в их названиях. Существует несколько классов и множество типов приборов для получения искомой цифровой информации в пределах данного диапазона волн – радиометры, фотометры, спектрометрические приборы, спектрометры, видеоспектрометры и т.д.

В активных методах ДЗЗ для создания первичного потока облучения Земли используются радиолокаторы различных типов и диапазонов, реже применяются лазерные локаторы (лидары). Источником целевой информации является поток отраженного от различных природных образований радио или светового (инфракрасного) излучения.

Условно к методам ДЗЗ относят контактные способы измерений, например приборы для изучения околоземного космоса путем селекции космических частиц и непосредственных измерений параметров магнитосферы, ионосферы Земли, а также радиотехнические приборы (приемники), позволяющие собирать информацию о контактных измерениях температуры, влажности, давлении и других метеопараметров приземной атмосферы, производимых и передаваемых автоматическими

мобильными или неподвижными наземными станциями (буями).

Для решения множества научных и прикладных задач исследования Земли, атмосферы и околоземного космического пространства (ОКП) методами дистанционного зондирования помимо наличия на борту спутника специальных информационно-измерительных приборов и радиолиний для передачи данных, необходимо, чтобы целевая информация удовлетворяла широкому набору требований, определяемых назначением КА или космической системы из нескольких КА ДЗЗ. Использование методов и аппаратуры ДЗЗ практически осуществимо и полезно, если потребителям обеспечивается:

- получение спектрозональной измерительной информации необходимого пространственного, спектрального разрешения и радиометрической точности с допустимыми геометрическими искажениями и географической привязкой информации к местности;
- возможность одновременного (синхронного) получения комплексных измерений и изображений поверхности Земли, а также профилей температуры, влажности и газового состава атмосферы, в нескольких различных диапазонах и многих поддиапазонах спектра электромагнитных волн;
- постоянная или регулируемая периодичность получения информации с одних и тех же районов Земли в одинаковых условиях солнечной освещенности для изучения динамики процессов, происходящих в природных образованиях;
- возможность оперативного и точного наведения трасс съемки с КА на определенные районы для частых наблюдений при стихийных бедствиях или на измерительные наземные полигоны при проведении комплексных подспутниковых экспериментов;
- оптимальное сочетание достаточно оперативного глобального обзора всей земной поверхности с возможностями получения локальной информации детального осмотра.

К основным параметрам качества космической информации ДЗЗ, определяющим эффективность ее целевого использования, относятся спектральные диапазоны, комплексность их сочетаний, пространственное разрешение, радиометрическая точность, полоса захвата и полоса обзора, скорость и режимы передачи информации.

Каждый из этих параметров и совокупность их реализации в бортовых информационно-радиотехнических комплексах КА определяют множество требований к параметрам ориентации и стабилизации, конструктивной компоновке, массогабаритным и энергетическим характеристикам, терморегимам, циклограммам работы и другим

свойствам спутниковой платформы и космического аппарата в целом, баллистике и динамике его орбитального движения и т.д.

**Спектральные диапазоны.** Конкретный выбор спектральных диапазонов  $D_\lambda$ , в которых необходимо получить космическую информацию, определяется целевым назначением комплекса приборов данного типа КА. Весь используемый спектр электромагнитных излучений от ультрафиолета до микроволнового обычно состоит из нескольких спектральных диапазонов, несущих информацию о различных свойствах и состоянии поверхности Земли и ее атмосферы. При этом каждый из них может быть разбит на отдельные узкие поддиапазоны.

Комплексность информации характеризуется количеством и шириной диапазона спектра  $D_\lambda$ , поддиапазонов  $d_{\lambda i}$  в каждом диапазоне, а также суммарным числом диапазонов спектра электромагнитных волн:

$$n_\lambda = \sum_{i=1}^D d_{\lambda i} (i = 1, D),$$

используемых для проведения одновременных измерений данным КА.

Стремление к комплексным синхронным измерениям определяется необходимостью получения полноты и достоверности информации, требующей учета множества факторов, влияющих на излучение, отражение и рассеяние энергии в системе "Земля – атмосфера", многогранностью математических алгоритмов обработки и интерпретации космической информации.

**Пространственное разрешение** космической информации определяется мгновенным полем зрения регистрирующего прибора и при данной высоте орбиты характеризуется размером элементарной площадки излучающей поверхности ("пиксела"), спектрональный поток радиации с которой воспринимается бортовым прибором как точечный (излучение точки определенной яркости), поэтому говорят о горизонтальном разрешении на поверхности Земли или просто на местности. Величина разрешения на местности (в кв. м или кв. км) является важнейшим показателем качества космической информации и задается в технических требованиях на КА ДЗЗ.

Этот параметр определяет геометрические характеристики изображения или поля измерения, поэтому его принято называть геометрическим разрешением на местности  $\Delta R_\lambda$  для данного участка спектра.

К числу параметров, характеризующих космическую информацию дистанционного зондирования Земли, относится **полоса захвата на местности**, измеряемая в километрах и определяющая ширину

территории, осматриваемой информационным прибором постоянной ориентации при одном прохождении КА над данным районом. Полоса захвата на местности определяется полным полем зрения и особенностями построения информационного прибора, баллистическими характеристиками КА (высота и стабильность орбиты), и ограничена допустимыми геометрическими искажениями информации из-за кривизны поверхности Земли.

**Полоса обзора**, измеряемая в км, характеризуется границами территории, которая может быть осмотрена информационным прибором при изменении направления его оптической оси поперек направления полета в процессе одного прохождения над данной территорией.

Достаточно часто при использовании приборов высокого и сверхвысокого разрешения, характеризующихся малой полосой захвата, возникает необходимость снять информацию с территории, лежащей не в зоне полосы захвата прибора, а в смежных районах. Решить эту проблему можно либо за счет системы ориентации спутниковой платформы, позволяющей отклонять вертикальную ось КА перпендикулярно к трассе полета вправо или влево на определенный угол, либо за счет отклонения оси визирования прибора.

**Скорость** поступления (передачи) цифровой информации или **информативность**, измеряемая в бит/с, является обобщающим параметром космической информации, характеризуется количеством информации, передаваемой или запоминаемой в единицу времени, и определяется совокупностью показателей информационных приборов: суммарным числом спектральных поддиапазонов, геометрическим разрешением, полосой захвата, числом уровней квантования сигнала, обеспечивающим заданную радиометрическую точность.

Важным параметром качества информации ДЗЗ, распространяемой потребителям, является **точность географической привязки**, т.е. точность определения координат совокупности элементов пространственного разрешения - кадра ("пикселов") на местности на Земле. Геопривязка является сложной функцией текущего или прогнозируемого положения проекции центра масс КА (так называемой подспутниковой точки), углового движения геометрических осей КА относительно его центра масс (ориентации КА) и учета фактического различия между направлениями оптических осей информационных приборов и датчиков ориентации.

Обычно геопривязка осуществляется при первичной обработке на Земле информации с учетом данных, полученных от КА, и ряда других факторов.

## Структура КА ДЗЗ и общие требования к его конструкции и комплексу служебных систем

Хотя исторически использование космической техники для наблюдения Земли началось с создания метеорологических КА, но уже в процессе эксплуатации первого поколения таких КА ("Tiros", "Nimbus", "Метеор") выявилась существенная общность методов наблюдения и принципов построения информационных приборов изучения окружающей среды (поверхности суши, океана, приземной атмосферы) в интересах не только метеорологии, но и исследований природных ресурсов Земли и экологического мониторинга. Одновременно выявилась и общность требований, предъявляемых бортовой информационной аппаратурой к конструкции и комплексу бортовых систем, обеспечивающих работоспособность информационных приборов. Не случайно КА для изучения природных ресурсов Земли первого поколения ("Landsat" и "Метеор-Природа") были созданы с использованием систем и конструкции метеорологических КА "Nimbus" и "Метеор" и заменой информационных приборов.

В современной космической технике принято структурное деление космического аппарата на спутниковую платформу (СП) и бортовой информационный комплекс (БИК), состав и характеристики которого определяют конкретное целевое назначение КА.

В состав спутниковых платформ [1] обычно входят несущие конструкции, объединяющие всю аппаратуру КА в единое устройство, и бортовые служебные системы, обеспечивающие функционирование КА в целом и его информационного комплекса, в том числе:

- система трехосной ориентации и стабилизации (СОС);
- система энергоснабжения и распределения энергии (СЭС);
- система обеспечения теплового режима (СТР);
- системы управления, контроля состояния, орбитального положения КА (БКУ), а также связи с наземным комплексом управления (НКУ);
- антенно-фидерные устройства и бортовая кабельная сеть (АФУ и БКС);
- система отделения КА от ракеты – носителя.

Анализ системных требований, принципов построения космической информационной аппаратуры дистанционного зондирования и оригинальные исследования путей обеспечения и сохранения при орбитальной эксплуатации заданных параметров качества информации наблюдения Земли и атмо-

сферы позволил выявить и реализовать при проектировании специфические особенности структуры, конструкции и характеристик спутниковых платформ для КА ДЗЗ. В общем виде эти особенности представляются следующим образом.

Чтобы обеспечить постоянное наблюдение за Землей с необходимым пространственным разрешением, географической привязкой данных измерений и минимальными геометрическими искажениями получаемых изображений, КА для дистанционного зондирования должны, прежде всего, иметь высокую точность ориентации в орбитальной системе координат (на Землю и по вектору скорости спутника) и стабилизации собственных угловых скоростей движения аппарата вокруг центра масс. Точность ориентации и стабилизации должна быть тем выше, чем выше пространственная разрешающая способность аппаратуры дистанционного зондирования и чем точнее требования географической привязки.

Особое внимание должно быть уделено динамическим характеристикам КА с тем, чтобы не допустить нескомпенсированных внутренних возмущающих моментов в аппаратуре спутника, например при поворотах солнечных батарей в процессе их ориентации на Солнце, при качании сканирующих механизмов и других движущихся масс. Внешние возмущающие моменты, вызванные аэродинамикой полета, солнечным давлением, гравитационными возмущениями и пр. должны быть минимизированы конструктивными способами, а остаточные моменты скомпенсированы без расхода рабочего тела, например с использованием магнитного поля Земли.

Поскольку КА ДЗЗ глобального и регионального наблюдения в интересах гидрометеорологии, ИПРЗ, экологического мониторинга и т.д. должны обеспечивать установку комплексов различных информационных приборов, нескольких радиолиний и обеспечения одновременного включения этих приборов в различных режимах, для такого КА требуется достаточно мощная система энергопитания с большим динамическим диапазоном нагрузок и сложной логикой управления. Должна обеспечиваться непрерывность поступления энергии на солнечной части витка (автономная ориентация солнечных батарей) и в тени (химических батарей значительной емкости).

Многорезимность съема информации ДЗ в совокупности с выбором определенных сочетаний районов получения и сброса данных вызывает потребность в специальном программно-временном устройстве с долговременной памятью или использовании управляющей ЭВМ на борту КА. Большие

массивы накапливаемой и передаваемой информации в сочетании со стремлением экономить бортовые энергоресурсы и ограниченностью зон радиовидимости наземных пунктов приема требуют применения узконаправленных ориентированных бортовых антенн, иногда со специальными электроприводами наведения.

Поскольку аппаратура ДЗ является измерительной, требуется обеспечить постоянство температурного режима, не только в местах конструктивной установки приборов, но и внутри их корпусов, в период работы и в "паузах". Для инфракрасной аппаратуры требуется "глубокое" охлаждение ее датчиков. Кроме того, необходимо защитить высокочувствительную прецизионную аппаратуру от помех и взаимовлияний сравнительно мощных электротехнических и радиотехнических систем в широком диапазоне спектра электромагнитных волн.

Естественно, что спутниковая платформа и КА ДЗЗ в целом, будучи весьма сложными и дорогими устройствами, должны обладать высокой надежностью и гарантированным сроком службы не менее 3-5 или более лет. Для этого в их структуре должны использоваться в разумной степени все известные способы обеспечения надежности и живучести, включая структурную, аппаратно - программную и функциональную избыточность. Система наземной отработки и комплексных испытаний КА должна обеспечивать высокую достоверность и объективность всесторонних проверок. К этому надо добавить, что к космическим аппаратам ДЗЗ можно в высокой степени предъявлять требования автономности, т.е. способности достаточно длительное время, особенно в эксплуатационном режиме, работать, не требуя информационных связей с наземными комплексами управления, входящими в единый для российских КА командно-измерительный комплекс с целью уменьшения его загрузки. Это требование связано как с обеспечением высокой надежности бортовой аппаратуры, так и использованием эффективных методологий и автоматических бортовых систем контроля и управления спутником.

Конструкция космической платформы и КА в целом должна выдерживать без остаточных деформаций все виды динамических и статических нагрузок и быть динамически уравновешенной с высокой точностью в орбитальном полете.

Температурная и динамическая стабильность относительной установки измерительных приборов и датчиков ориентации должна обеспечивать заданную точность географической привязки изображений и измерений. Конструкция в целом должна быть достаточно унифицированной и позволять без

существенных доработок устанавливать различную, в том числе и экспериментальную аппаратуру. Для обеспечения и сохранения в длительном полете большинства характеристик качества информации ДЗЗ нужны специфические баллистические параметры полета КА, поэтому в конструкции должна предусматриваться возможность установки на платформе корректирующих двигателей малой тяги с высоким импульсом для точной установки необходимой орбиты и последующего поддержания ее стабильности.

### **Спутниковая платформа первого поколения (СП-I)**

При разработке спутниковых платформ (СП) и КА ДЗЗ ВНИИЭМ опирался на мощный научно-технический и конструкторско-технологический потенциал, накопленный коллективом института в ходе многолетних работ по созданию прецизионных и надежных электромеханических устройств, и электрооборудование для ракетно-космической техники. ВНИИЭМ, руководимый А.Г. Иосифьяном, который был членом Совета Главных конструкторов под председательством С.П. Королева, участвовал во всех программах создания советских баллистических ракет, первых спутников и пилотируемых космических кораблей. В дальнейшем, под руководством академика Н.Н. Шереметьевского, создавались новые поколения прецизионной электромеханики, в том числе уникальные исполнительные органы ориентации пилотируемых станций (шары-маховики, гиросины), и другие устройства, многие из которых поставляются и сейчас для разных КА.

Поэтому специфической особенностью спутниковых платформ для КА ДЗЗ, создаваемых НПП ВНИИЭМ, является внедрение в структуру платформ и приборов КА прецизионной электромеханики и минимизация на этой основе внешней кооперации при изготовлении СП. Большинство ее устройств создаются в НПП ВНИИЭМ. Прежде всего, это относится к системе ориентации и стабилизации СП, главной функцией которой, является создание условий обеспечивающих необходимое качество информации ДЗЗ.

Многолетнее (более 8-ми лет) нормальное функционирование КА "Ресурс-ОЭ" в реальных условиях космического полета с уникальным комплексом информационной аппаратуры ДЗЗ подтвердило соответствие параметров ориентации, стабилизации и других составляющих спутниковой платформы СП-I первого поколения для пространственных разрешений до 30-45 м, определенной радиометрической точности, тепловых параметров и качества электро-

энергии КА. В состав платформы СП-I на КА "Ресурс-ОЭ" с целью отработки статических методов получения криогенных температур для глубокого охлаждения приемников излучения радиометров в дальнем (10-14 мкм) инфракрасном диапазоне был введен разработанный НИИЭМ радиационный холодильник. Впервые на низкоорбитальном КА, в условиях значительного теплопотока от Земли, были получены температуры 100-105°.

Построенные на базе СП-I космические аппараты "Ресурс-ОЭ" и "Ресурс-О1" [2] имели в основном составе комплексы аппаратуры БИК-Э, количество информационных приборов МСУ-Э, МСУ-СК при этом было удвоено для обеспечения необходимой надежности.

Разработанная в 1975-1980 гг. платформа СП-I, конструкция и основные эксплуатационные характеристики которой соответствовали тогда уровню мировой космической техники для ДЗ, позволила создать на ее основе космические аппараты глобального и регионального наблюдения Земли, околоземного космоса, а также провести ряд космических экспериментов. На этих КА обеспечивалась на приполярных и синхронно-солнечных орбитах высотой 600-900 км длительная (до 8 лет) работоспособность и интеграция комплексов многозональной информационной аппаратуры ДЗЗ в ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах спектра ЭВМ, а также приборов непосредственных измерений свойств магнитосферы, ионосферы, околоземной плазмы и параметров элементарных космических частиц. Параметры качества многоспектральных изображений, полученных из космоса, находились по пространственному разрешению в пределах 50-1500 м, по полосам захвата 50-3000 км, по информативности до 16 Гбит/с, по периодичности от двух раз в сутки при глобальном обзоре в интересах гидрометеорологии до одного просмотра в четыре-пять суток при региональном наблюдении в интересах ИПРЗ и

экологического мониторинга.

На базе спутниковой платформы СП-I были созданы и успешно эксплуатировались космические системы и комплексы различного назначения:

1. Государственная метеорологическая космическая система (ГМКС) "Метеор-2" (22 КА в 1975-1995 гг.).
2. Космические комплексы для исследования природных ресурсов Земли и оперативного экологического мониторинга "Ресурс-О1" (6 КА, 1980-2000 гг.).
3. Космический комплекс "Интеркосмос -Болгария 1300" для геофизических исследований ионосферы, магнитосферы Земли и околоземного космоса (1981- 1983 гг.).
4. Экспериментальный космический комплекс "Астрофизика" для обнаружения (засечки) и точного определения координат приземных ядерных взрывов (1978-1979 гг.).

Таким образом, всего на базе платформы СП-I было создано и эксплуатировалось 30 космических аппаратов ДЗЗ, на которых использовались информационные приборы и радиолинии 34 типов. Средний срок службы тридцати КА ДЗЗ на основе платформы СП-I составил 3 года 8 месяцев и определялся функционированием информационной аппаратуры, при "закрытии" КА аппаратура платформы оставалась полностью работоспособной.

#### Спутниковая платформа СП-II второго поколения для КА ДЗЗ ("Ресурс-УКП")

Ко второй половине 80-х годов ведущие страны – операторы космических систем ДЗЗ и многочисленные потребители данных наблюдений Земли и атмосферы накопили огромный опыт многоцелевого использования информации, как в регулярных целях гидрометеорологии, оценок состояния окружающей среды, так и для выявления и последующего устранения различных чрезвычайных ситуаций природного и антропогенного характера. Общий анализ перспектив мирового развития космических технологий в области ДЗЗ выявил следующие тенденции:

- быстрый рост числа, расширение круга целевых направлений и изменение характера множества прикладных задач, решаемых потребителями на основе измерительной многоспектральной информации, получаемой от КА ДЗЗ;
- значительный прогресс в повышении качества информации – пространственного разрешения, радиометрической точности, оперативности (периодичности) информации, возможности одновременного получения информации во многих спектральных диапазонах и поддиапазонах и, как следствие, значительного увеличения общей скорости передачи информации (информативности) КА;



Рис.1. КА «Ресурс-О1» №4

– для российских условий того времени чрезвычайно актуальным стало уменьшение затрат на разработку и пуски КА путем создания многоцелевых аппаратов, базирующихся на модернизированных платформах.

Возникла необходимость серьезного усовершенствования спутниковых платформ для КА ДЗЗ с учетом указанных тенденций. Учитывая открывшуюся в то время возможность более глубокого взаимодействия с зарубежными космическими фирмами в научно-техническом и коммерческом планах, особо важной стала конструктивная и, частично, схемная унификация российских платформ с зарубежными полезными нагрузками.

В рамках совершенствования гидрометеорологических и природно-ресурсных космических систем НПП ВНИИЭМ совместно с Истринским филиалом (с 1993г. НИИЭМ г. Истра) создали спутниковую платформу второго поколения для КА ДЗЗ – СП-II.

В платформе СП-II при сохранении отработанных в СП-I общих конструктивно-компоновочных и структурно-функциональных принципов реализован ряд технических новшеств и впервые достигнут высокий уровень унификации для решения многоцелевых задач с использованием российской и зарубежной аппаратуры.

На базе унифицированной спутниковой платформы СП-II и ее элементов НПП ВНИИЭМ совместно с НИИЭМ г. Истра и кооперацией были созданы и эксплуатировались четыре типа КА ДЗЗ.

Метеорологический и геогелиофизический КА "Метеор-3". На семи КА этой серии (1985-1997гг.) в составе информационного комплекса ДЗЗ были приборы США, Франции и Германии. Средний срок активного функционирования КА составил более четырех лет.

Многоцелевые КА "Ресурс-О1" № 4 (1998г.) (рис.1) и "Метеор-3М" № 1 (2001г.) для исследования природных ресурсов Земли, экологического мониторинга, гидрометеорологии, геогелиофизики. На этих КА, кроме штатных и экспериментальных российских информационных приборов, устанавливались приборы и отделяемые малые КА, разработанные в десяти зарубежных странах, включая США, Францию, Германию, Италию, Англию, Австралию, Израиль и другие. Всего на упомянутых КА было установлено 58 приборов 32 типов, 7 радиолиний и осуществлен попутный запуск 9 малых КА, в том числе на коммерческой основе 13 приборов и семь малых КА зарубежной разработки.

Унифицированные системы и узлы СП-II (энергоснабжение, терморегулирование, элементы ориентации, конструкция) широко использовались при соз-

дании первого в России геостационарного гидрометеорологического КА "Электро" (рис.2), несколько лет работавшего в международной космической системе.

Главным организационным итогом работ по созданию унифицированных платформ для КА ДЗЗ явилось решение Правительства РФ о включении серийного изготовления спутниковой платформы (СП-II), получившей наименование "Ресурс-УКП", в Государственный заказ на 2002-2004гг. для разработки многоцелевых КА ДЗЗ на ее базе.

В дальнейшем платформа СП-II будет именоваться "Ресурс-УКП" в соответствии с Государственным заказом.

### Общие итоги создания унифицированных платформ для КА ДЗЗ и перспективы их применения

Важным научно-техническим результатом работ по созданию и внедрению спутниковых платформ СП-I и "Ресурс-УКП" является впервые сформули-

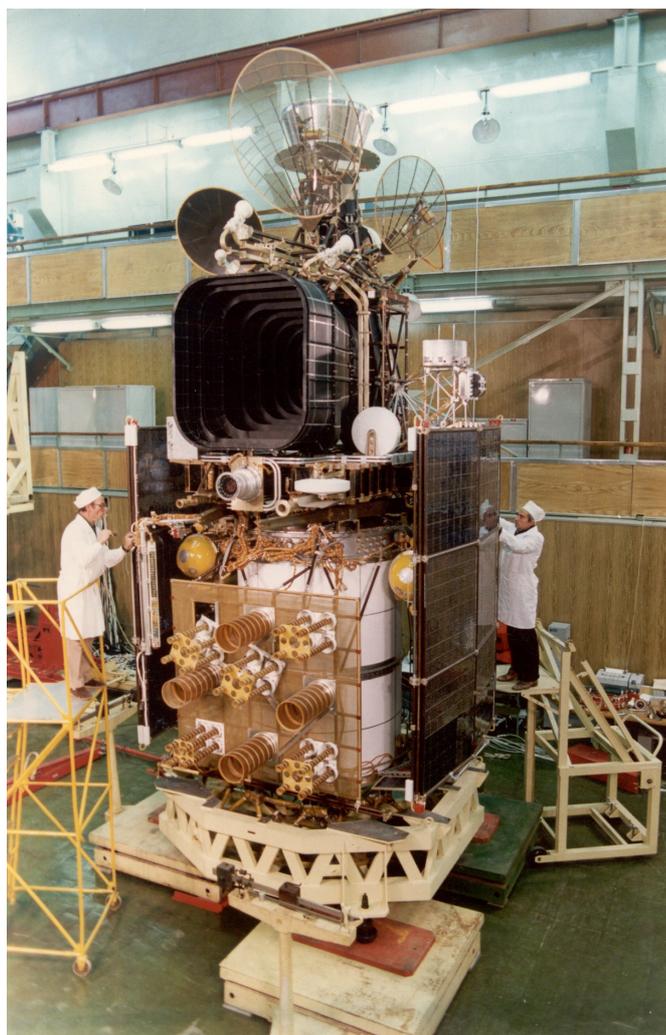


Рис.2. КА «Электро»

рованная комплексная технология разработки КА ДЗЗ на основе указанных платформ. Сущность комплексной технологии заключается в следующих положениях:

- в общности впервые выявленных расчетных соотношений и проектно-конструкторских связей параметров качества космической информации ДЗЗ с конструктивной структурой и характеристиками бортовых систем спутниковых платформ – носителей целевых информационных комплексов КА ДЗЗ;
- в определении граничных условий (допустимых пределов) многообразных характеристик платформ при использовании приборов дистанционного зондирования, предназначенных для решения задач различных классов и областей применения на основе регистрации и измерения потоков электромагнитных излучений, идущих от Земли, атмосферы и космоса, независимо от происхождения и диапазонов их источников – природных (собственные, отраженные) или антропогенных, созданных наземными средствами (радиотехнические, световые, ядерные и т.д.);
- в концепции создания спутниковых платформ для КА ДЗЗ как многоцелевых, унифицированных для российских и зарубежных информационно-приборных комплексов наблюдения Земли, обеспечивающих заданные точностные и пространственно-временные параметры качества целевой информации, высокую надежность, отказоустойчивость и

живучесть при длительном сроке активного функционирования, обладающих энергетическими возможностями и конструктивной компоновкой, инвариантными к условиям орбитального полета и приборному составу полезных нагрузок;

- в подтверждении путем опытно-конструкторских разработок указанного выше единства структуры унифицированных платформ при установке многоцелевых бортовых средств приема в широком диапазоне спектра излучений с учетом поэтапного совершенствования параметров качества информации ДЗЗ;
- в реальном использовании созданных и модернизируемых унифицированных платформ при разработке, изготовлении и эксплуатации многих космических аппаратов и космических систем для решения существующих и перспективных задач многоцелевого дистанционного зондирования Земли.

Главным результатом цикла (1975-2000 гг.) научно-технических исследований и опытно-конструкторских разработок, приведших к созданию и внедрению в практику космической техники дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) унифицированных спутниковых платформ стало применение двух исполнений этих платформ в качестве базовых для нескольких поколений автоматических космических аппаратов оперативного наблюдения Земли и атмосферы методами ДЗЗ в совокупности с бортовыми информационными комплексами различных

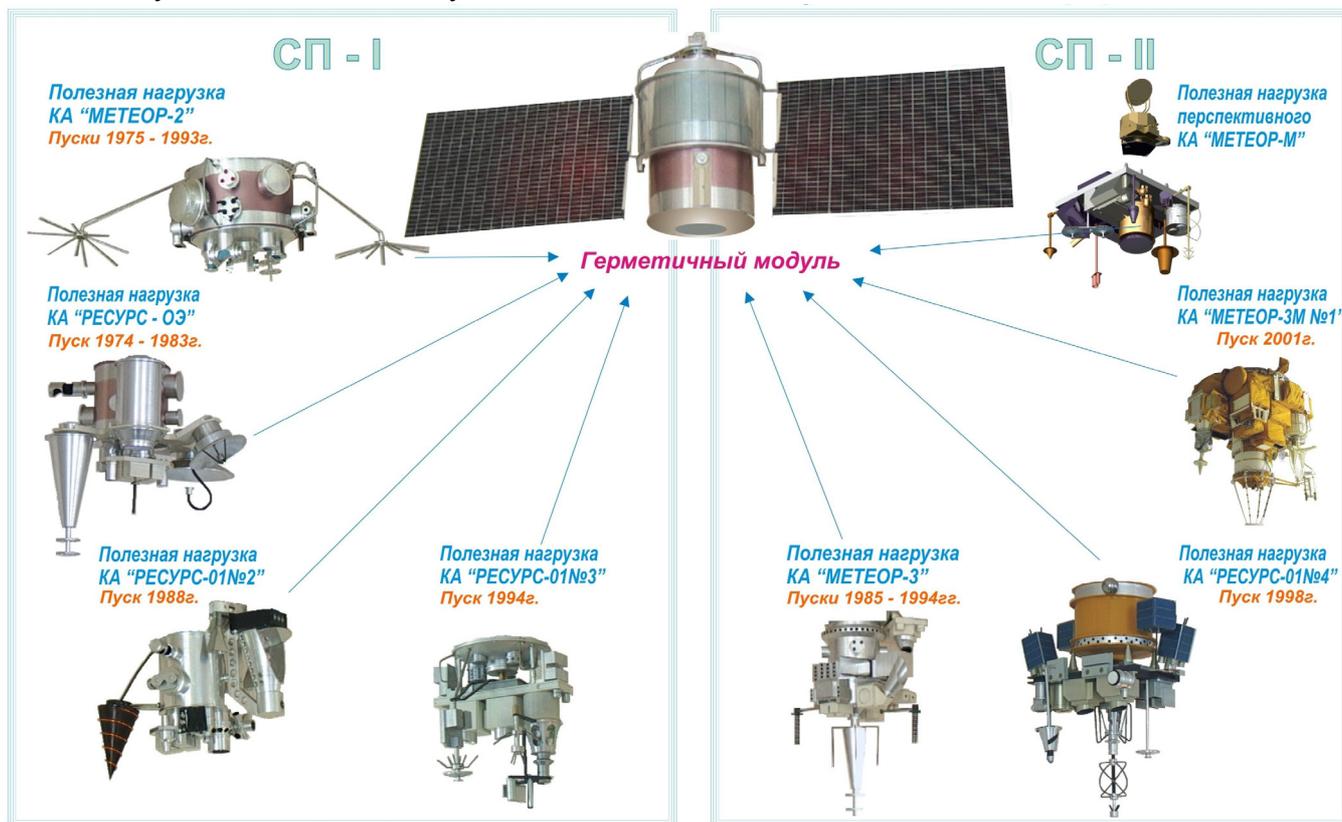


Рис.3. КА ДЗЗ, построенные на основе спутниковых платформ

составов, характеристик и назначений (рис.3).

Указанные КА ДЗЗ явились основой возникновения и развития в Советском Союзе и России одного из важнейших направлений прикладного использования космической техники – оперативного дистанционного зондирования Земли и окружающей среды в интересах гидрометеорологии, изучения природных ресурсов Земли, экологического мониторинга, контроля появления и оценки последствий чрезвычайных ситуаций.

В процессе работ цикла 1975-2000гг. был получен ряд крупных научно-технических и практических результатов.

На основе системного анализа и исследований параметров космической информации, необходимой для решения многоцелевых задач наблюдения Земли и атмосферы методами дистанционного зондирования, принципов построения многоспектральных информационных приборов, сканирующих по пространству и спектру, способов учета влияния атмосферы, а также алгоритмов первичной и целевой обработки информации наземными средствами, были выведены расчетные уравнения связи и проектно-конструкторские соотношения между параметрами качества космической информации и характеристиками спутниковых платформ – носителей информационных приборов, а также баллистическими особенностями космических систем ДЗЗ. Использование указанных уравнений и соотношений определило свойства и конструкции спутниковых платформ и КА в целом на всех этапах развития информации ДЗЗ [3].

Разработаны и внедрены новые комплексные технологии создания космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, основанные на использовании в составе КА унифицированных спутниковых платформ двух поколений СП-I и СП-II ("Ресурс-УКП"). Платформы (служебные системы и конструкции) предназначены для создания необходимых условий работоспособности в орбитальном полете бортовых информационных комплексов и обеспечения длительного и регулярного получения информации ДЗЗ в полном объеме при сохранении заданных параметров качества.

На базе спутниковой платформы первого поколения были созданы и эксплуатировались тридцать КА.

В период создания платформы СП-I НПП ВНИИЭМ был решен ряд новых технических и практических проблем.

Впервые в космической технике страны НПП ВНИИЭМ создана и отработана электромеханическая точная система трехосной ориентации и стабилизации КА, не требующая расхода рабочего тела для маневров и компенсации внешних возмущающих

моментов. Для ориентации впервые разработаны оригинальные двухосные датчики инфракрасного горизонта Земли, исполнительные электродвигатели – маховики и подсистемы разгрузки с использованием магнитного поля Земли, нашедшие применение в различных КА других космических фирм страны.

Впервые разработана и применена автономная следящая система ориентации солнечных батарей. В дальнейшем подобные системы нашли широкое применение в космической технике страны.

В платформу СП-II внесены технические новшества. С целью обеспечения высокой пространственной и радиометрической точности, в систему ориентации и стабилизации введены новые датчики направления на Землю и по курсу, датчики угловой скорости и исполнительные органы – маховики, что в сочетании с новыми законами управления позволило в три –четыре раза повысить точность ориентации (до 8-10 угл. мин) и на порядок точность стабилизации (до  $10^{-4}$  угл. град/с).

Средства локальной термостабилизации радиометрических приборов и их мест крепления обеспечили постоянство температуры приборов до  $\pm 1^\circ$ . Эти меры в сочетании с минимизацией внутренних и внешних возмущающих моментов, позволили устанавливать на платформу приборы с повышенным в 10 раз пространственным разрешением и в 5-6 раз радиометрической точностью.

В конструкцию платформы введена термостабильная внешняя приборная рама, что позволило, при общем повышении относительной геометрической точности размещения многоприборных мультиспектральных информационных комплексов, обеспечить для них оптическую совместимость пересекających полей обзора, а также расположить механические интерфейсы отделяемых малых КА.

Для эксплуатации информационных комплексов в различных режимах непрерывного и сеансного получения информации установленная мощность энергопитания СП-II увеличена в три раза, в состав платформы введены цифровые программно-временные устройства, а также антенные комплексы повышенной до 128 Мбит/с информативности в трех-четырех международных диапазонах.

Особое внимание уделено унификации технических возможностей размещения на платформе различных российских и зарубежных приборов, в том числе на коммерческой основе. По контракту с NASA (США) были выпущены специальные сертификационные документы ICD, подтверждающие возможности не только научно-технического, но и коммерческого сотрудничества. В конструкцию и структуру платформы СП-II были введены унифицированные интерфейсы по всем направлениям ин-

теграции неотделяемых приборов и отделяемых малых КА зарубежной разработки.

На базе унифицированной спутниковой платформы второго поколения СП-II были разработаны нижеприведенные КА ДЗЗ.

Метеорологические КА "Метеор-3" 7 КА (1985-1997 гг.), целью которых было продолжение эксплуатации ГМКС. В КА "Метеор-3", кроме штатных, были введены новые приборы ДЗЗ, российского производства, а также впервые включены зарубежные приборы, созданные в США, Франции и Германии.

Многоцелевой КА "Ресурс-О1" № 4 (1998г.) предназначенный для продолжения эксплуатации космической системы ИПРЗ и экологического мониторинга "Ресурс-О1" с модернизированными многоспектральными приборами высокого и среднего разрешения, а также геогелиофизические и гидрометеорологические приборы. Важное значение имело коммерческое размещение на КА "Ресурс-О1" № 4 приборов, разработанных во Франции, Италии, Германии, Бельгии, а также попутный вывод на орбиту пяти малых КА (Израиль, Германия, Австралия, и Англия – 2 КА).

Многоцелевой КА "Метеор-3М" № 1 (2001г.), предназначенный для:

- продолжения эксплуатации модернизированных комплексов глобального метеонаблюдения и геогелиофизических наблюдений ОКП;
- продолжения многоспектральных наблюдений поверхности Земли в интересах ИПРЗ;
- летно-конструкторских испытаний новых российских приборов зондирования атмосферы в микроволновом диапазоне и наблюдения озона в ультрафиолетовом диапазоне.

Особое значение имеет орбитальная эксплуатация на коммерческой основе прибора для определения состава атмосферы SAGE-III (США). Интеграция этого прецизионного прибора в состав КА "Метеор-3М" № 1 была произведена по специальному соглашению с NASA, его успешная эксплуатация, продолжающаяся 15 месяцев (март 2003г.), подтвердила соответствие платформы СП-II высоким требованиям унификации с зарубежными приборами. Его информация, принимаемая одновременно в США и России, представляет большой научный и практический интерес.

Унифицированные системы и узлы СП-II (энергоснабжение, терморегулирование, элементы ориентации и конструкции) широко использовались при создании первого в России геостационарного гидрометеорологического КА "Электрон", несколько лет (1994-1998 гг.) работавшего в международной космической системе.

Успешная эксплуатация спутниковой платформы в составе КА "Метеор-3", "Метеор-3М", "Ресурс-О1" № 4, подтверждение надежности и долговечности

платформы СП-II, а также готовности конструкторской документации на платформу к серийному производству позволили Государственной комиссии по летным испытаниям в своем Отчете "рекомендовать унифицированную спутниковую платформу СП-II под названием "Ресурс-УКП" к серийному производству. Правительством РФ по этому вопросу принято решение, упомянутое в начале данного раздела.

В настоящее время в рамках Федеральной космической программы ФКП-2005 (раздел 2 п.1) производится разработка многоцелевого КА "Метеор-М". В соответствии с утвержденным заказчиком тактико-техническим заданием КА "Метеор-М" на первом этапе (два КА) создается на базе унифицированной платформы "Ресурс-УКП". Использование данной платформы обосновано рядом причин, в том числе возможностью включения в состав информационного комплекса современных российских и зарубежных приборов, с параметрами качества соответствующим мировому уровню, а также наличием Госзаказа на платформу. КА создается для комплексных всепогодных дистанционных и контактных измерений параметров атмосферы, суши, океана, околоземного космоса и экологического мониторинга среды в интересах социально-экономического развития и обороны страны. На КА устанавливается 15-17 приборов, включая радиолокатор бокового обзора и четыре радиолитии международных диапазонов.

На платформе "Ресурс-УКП" будет также базироваться современный КА "Корона-Фотон" для комплексного изучения Солнца, выполняемый согласно ФКП-2005 раздел 3 п.6.

#### **Модернизация спутниковой платформы «Ресурс-УКП» для КА «Метеор-М»**

Согласно ТТЗ на КА «Метеор-М» его ГПР увеличен до 5-ти лет, на КА установлен новый информационный комплекс (девять приборов) с четырьмя радиолитиями.

При создании КА «Метеор-М» №1 и 2, построенных на базе платформы «Ресурс-УКП», ее модернизации произведены в следующих направлениях.

Мощность системы энергоснабжения КА повышена почти в два раза за счет увеличения площади СБ и установки новых аккумуляторов большой емкости. В состав СЭС КА при общем первичном источнике (СБ) входят две подсистемы накопления и регулирования энергии СЭС-1 и СЭС-2. В каждую подсистему включены две аккумуляторные никель-кадмиевые батареи (АБ) емкостью до 90 А·ч. каждая, по одному автомату питания АП, терморезисторы и согласующее устройство. Кроме того, в состав СЭС КА введен блок переключения батарей (БПБ), позволяющий при отказе двух любых АБ

проводить их замещение, при этом эксплуатационные возможности КА по энергообеспечению приборов сохраняются полностью.

Одна из этих подсистем СЭС-1 в штатном режиме обеспечивает энергией все служебные и большую часть информационных систем КА, вторая СЭС-2 питает бортовой радиолокатор (БРЛК) «Северянин-М», а также входящие в состав КА №1 экспериментальные системы - ориентации спутниковой навигации и контроля положения осей КА.

Для обеспечения заданного ГПР в состав КА введена вторая система единого времени «Лавр». Обе системы имеют полное внутреннее холодное резервирование.

Установлена вновь разработанная система ориентации солнечных батарей (СОСБ-830), поскольку по конструктивным соображениям потребовалась ориентация панелей СБ по высоте. В СП-II ориентация СБ выполнялась по азимуту.

Полностью переработана система терморегулирования КА - в гермоконтейнере введена двухконтурная система охлаждения, соответственно установлены два комплекта вентиляторов. Поддержание заданного теплового режима приборов и узлов конструкции, размещенных на внешней раме в открытом космосе, обеспечивается тепловыми трубами совместно с управляемой подсистемой нагревателей и радиаторов.

Заново разработана система бортовых коммутационных устройств. Помимо силового релейно-контакторного блока создана сеть цифровых контрольно-управляющих устройств на базе микроЭВМ, состоящая из центрального блока и интерфейсов - периферийных адаптеров (12 блоков), взаимодействующих с группами служебных и информационных приборов. Создано программное обеспечение системы, реализующее в совокупности с аппаратными средствами, надежный контроль и управление режимами работы КА. Еще один периферийный адаптер (БАУ) дублирует основные функции бортового программно-временного устройства.

Наземная и летная отработка системы позволит в дальнейшем в совокупности с цифровой системой ориентации реализовать интегрированный бортовой комплекс управления (БКУ) космического аппарата в целом.

В качестве экспериментальной в КА «Метеор-М» №1 установлена и будет работать в телеметрическом режиме цифровая система ориентации и стабилизации (ЭСО) КА, полностью управляемая бортовой ЭВМ. После отработки в полете КА «Метеор-М» №1 программно-математического обеспечения и аппаратуры система будет дополнена ре-

альными исполнительными органами (двигатели-маховики и подсистема магнитной разгрузки), а также необходимыми для обеспечения пятилетнего ГПР элементами резервирования. В качестве штатной системы ориентации и стабилизации отработанная цифровая система будет установлена в КА «Метеор-М» №2.

С целью дальнейшего повышения точности ориентации и стабилизации будущих КА ДЗЗ и получения на борту высокоточной информации об орбитальном положении КА и угловом положении его геометрических осей, на КА «Метеор-М» №1 устанавливаются элементы экспериментального комплекса координатно-временного обеспечения.

Этими элементами являются:

– аппаратура автономной спутниковой навигации (АСН), использующая навигационное поле российской системы ГЛОНАСС, а также американской системы GPS;

– прецизионный звездный координатор БОКЗ-М (ИКИ РАН) с точностью определения углового положения КА до 10 угл.с.

После наземной обработки эта информация позволит провести прецизионную географическую привязку текущего положения подспутниковой точки КА.

Требования ТТЗ на КК с КА «Метеор-М» в полной степени будут удовлетворены при установке на КА «Метеор-М» №2 интегрированной системы БСКВУ (РИРВ г. С.-Петербург), включающей в себя блок точного времени на борту КА, прибор АСН и взаимодействующей со звездными датчиками типа БОКЗ.

Принципиальным изменениям, связанным с установкой на КА «Метеор-М» нового бортового информационного комплекса (БИК), вышеуказанных модернизированных служебных и экспериментальных систем, подверглась общая конструкция платформ СП-II и КА в целом, его бортовая кабельная сеть и антенно-фидерные устройства.

## Литература

1. Трифонов Ю.В. Создание и внедрение унифицированных спутниковых платформ для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли и атмосферы // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – Т. 102. – С. 5-11.
2. Горбунов А.В. Космическая система «Ресурс-01». Проблемы создания и эксплуатации космических аппаратов оперативного наблюдения Земли // Труды ВНИИЭМ. – Т. 99. – С. 5-17.
3. Справочник потребителя спутниковой информации / Под редакцией В.В. Асмуса. – СПб: Гидрометеоздат, 2005.