

Д-р техн. наук Ю.В. Трифонов

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НПП ВНИИЭМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПЕРАТИВНОГО НАБЛЮДЕНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И АТМОСФЕРЫ

Основные этапы работ

Космические аппараты оперативного наблюдения Земли и атмосферы создавались с начала 60-х г. первоначально для решения задач метеорологии и контроля окружающего космического пространства на высоте орбиты КА [1]. В период с 1963 по 1967 гг. была создана экспериментальная метеорологическая космическая система - МКС со среднеорбитальными КА «Метеор-1». В 1967 г. началось поэтапное развертывание Государственной метеорологической космической системы – ГМКС с КА «Метеор-2» [2].

В период 1974-1981 гг. были созданы отечественные космические комплексы (КК) «Метеор-Природа» двух поколений для изучения природных ресурсов Земли.

С 1980 г. началось поэтапное развертывание КК «Ресурс-О1» для экологического, природоресурсного мониторинга окружающей среды и контроля чрезвычайных ситуаций. Одновременно началось создание нижнего яруса гидрометеорологической космической системы «Планета» с КА «Метеор-3» [3].

В 1994 г. началось развертывание верхнего яруса ГМКС «Планета» с КА «Электро» [4].

Одним из принципиальных новых результатов повышения надежности и эффективности указанных КК была разработка и внедрение автоматизированной системы комплексных испытаний при изготовлении и подготовке КА к пуску – АИС. В системе была применена электронно-вычислительная машина В-3М, разработанная в институте. АИС была первой системой в отечественной космонавтике, способной проводить испытания на заводе-изготовителе и на технической базе космодрома. Разработанное программное обеспечение давало возможность регистрации реакций бортовых систем на испытательные воздействия с обработкой данных в реальном масштабе времени. Результаты испытаний ав-

томатически архивировались и после подписей служили официальным протоколом. Таким образом, концепция отработки космической техники, опирающаяся в основном на длительные летные испытания КА, утрачивала свои позиции и это было важным принципиальным достижением для космонавтики.

В начале 80-х гг. началась разработка нового поколения КА для двухъярусной системы гидрометеорологического обеспечения страны. В 1983 г. эта тематика Постановлением правительства была закреплена за ВНИИЭМ. Директор института Н.Н. Шереметьевский был назначен Генеральным конструктором, директор Истринского филиала В.И.Ададько – Главным конструктором КК нижнего яруса с КА «Метеор-3», зам. директора ВНИИЭМ Ю.В. Трифонов – Главным конструктором гидрометеорологической системы «Планета», включая КК «Планета-С» с геостационарными КА «Электро», и КК для изучения природных ресурсов Земли с КА «Ресурс-О» на солнечно-синхронных орбитах.

Космическая система «Планета-С» с геостационарным КА «Электро»

В соответствии с решениями директивных органов в середине 80-х г. началась разработка и создание высокоорбитальной космической гидрометеорологической системы «Планета-С» с целью получения оперативной гидрометеорологической и гелиогеофизической информации в интересах обороны страны, народного хозяйства, науки о Земле и Солнце и международного сотрудничества.

На первом этапе был запланирован запуск одного КА в точку 76° в.д. на экваторе.

Первый оперативный российский геостационарный гидрометеорологический КА «Электро» (ГОМС) был выведен на орбиту 1.01.1994 г. ракетоносителем «Протон» с разгонным блоком и успешно функционировал в течение почти четырех лет. ГОМС входил в состав глобальной метеорологической системы совместно с GOES (США), МЕТЕОСАТ (Европейское космическое агентство), GMS (Япония).

С запуском КА «Электро» начала действовать двухъярусная Единая космическая система гидрометеорологического обеспечения «Планета», состоящая из высокоорбитального КА «Электро» и среднеорбитальных КА «Метеор-3».

Задуманный и реализованный как средоточие новейших технических решений геостационарный КА «Электро» должен был обеспечивать при автоматическом управлении бортовыми системами надежную работу на орбите в течение нескольких лет, быть точно

ориентированным в пространстве и стабилизирован по скорости, иметь необходимые динамические и энергетические условия работы для получения качественных телевизионных изображений высокого разрешения, а также осуществлять одновременную передачу и ретрансляцию информации по различным направлениям в нескольких диапазонах частот без взаимных помех.

Необходимость обеспечения длительного автономного функционирования и общей продолжительности работы КА «Электро» потребовала автоматизации операций детального диагностирования состояния и управления резервами бортовых систем КА, что оказалось достижимым только при широком использовании бортовой вычислительно-управляющей системы с развитым программным обеспечением и возможностью его коррекции с помощью средств НКУ в процессе орбитального функционирования КА.

При проектировании КА «Электро» были решены сложные научно-технические проблемы по разработке и созданию ряда новых бортовых систем. К их числу относятся:

- прецизионная (до 2-х угл. мин) трехосная электромеханическая система ориентации и стабилизации с использованием двигателей-маховиков, солнечного координатора, датчика Полярной звезды и микропроцессорной ЭВМ, что дает существенные преимущества перед аналогичными зарубежными спутниками (европейский КА «МЕТЕОСАТ» и японский КА «GMS») стабилизируются вращением с точностью $0,1^\circ$ в части реализации технических проблем, связанных с вопросами установки некоторых видов информационной аппаратуры, передачи и ретрансляции информации, управления КА и др.;

- бортовая управляющая система с трехпроцессорной управляющей ЭВМ собственной разработки ВНИИЭМ, осуществляющая программно-временное управление работой бортовых систем, диагностику их состояния, управления в нештатных ситуациях и формирование оперативных сообщений для передачи на Землю с периодичностью 1 ч;

- автономная электромеханическая система ориентации солнечных батарей;

- система коррекции и разгрузки с использованием специальных электронагревных реактивных двигателей, работающих на аммиаке с тягой 15 г – для начального успокоения и коррекции орбиты с целью приведения КА в заданный долготно-широтный диапазон и удержания в нем в процессе всего срока функционирования;

- пассивный радиационный холодильник для охлаждения инфракрасного приемника бортовой телевизионной аппаратуры;

- принципиально новый электромеханический прецизионный

(до долей угл. с) привод сканирования телевизионной системы с лазерным интерферометром;

- автоматизированная испытательная система, построенная на базе многопроцессорных вычислительных устройств.

После отделения от ракеты-носителя КА с помощью корректирующих двигателей был приведен в рабочую область и удерживался в ней с заданной точностью в течение почти четырех лет.

Бортовые служебные системы обеспечили предусмотренный режим ориентации, энергоснабжения и терморегулирования.

Командно-измерительная система и аппаратура телеизмерений позволили проводить регулярный контроль состояния бортовой аппаратуры и управление с участием средств НКУ.

Бортовая управляющая система выполнила задачи автономной диагностики бортовых систем и управления ими.

Информационная аппаратура (телевизионный комплекс и радиационно-магнитометрическая система) регулярно поставляли полезную информацию (изображения Земли в ИК диапазоне спектра и гелиогеофизическую информацию), которая обрабатывалась в наземных вычислительных комплексах и передавалась для использования потребителям.

За время эксплуатации от КА было принято около 20000 изображений Земли в ИК диапазоне спектра. Эта информация с июня 1995 г. оперативно использовалась гидрометеорологическим центром для анализа и прогноза погоды.

Бортовой ретранслятор обеспечил передачу полезной первичной информации с КА и доставку обработанной гидрометеорологической информации отечественным и зарубежным потребителям.

Бортовая радиационно-метрическая система работала непрерывно, в режиме трехосной ориентации КА, при этом передача на Землю гелиогеофизических данных осуществлялась каждый час. Информация обрабатывалась и использовалась при оперативном контроле геофизической обстановки в околоземном космическом пространстве.

Несмотря на обнаруженные неисправности на борту, удалось обеспечить штатный режим работы КА, благодаря наличию функциональной избыточности в основных системах, возможности корректировки бортового программного обеспечения в полете и оперативного управления от НКУ.

Расчетный запас рабочего тела для двигателей коррекции и разгрузки оказался достаточным, что позволяет уверенно планировать расход рабочего тела для требуемых перспективных сроков функционирования 7-10 и более лет.

Летные испытания и опытная эксплуатация КА выявили дефек-

ты, недостатки и недоработки в бортовых системах, устранение которых позволит существенно повысить надежность и эффективность следующего образца геостационарного КА «Электро-ГОМС».

Среднеорбитальные КА «Метеор-Природа» и «Ресурс-О1»

Уже в течение первых лет эксплуатации метеорологических КА стало ясно, что платформы – носители информационно-измерительной аппаратуры (ИИА) значительно превышают потребности сравнительно простого и ограниченного набора имеющихся метеорологических приборов. В связи с этим началось активное сотрудничество с создателями экспериментальной ИИА различного назначения. Так был создан и запущен 23.12.78 г. космический аппарат «Астрофизика» («Космос-1060») – экспериментальный КА для определения координат ядерных взрывов.

Проведя цикл экспериментальных работ, ВНИИЭМ стал разрабатывать на базе метеоспутников специализированные КА. Возникло новое направление использования космической техники [3].

С 1974 по 1981 гг. началось создание специализированных КА для оперативного природоресурсного и экологического наблюдения Земли из космоса «Метеор-Природа». Первое поколение этих КА, «Метеор-Природа» №№ 1 и 2 функционировали на прямых, приполярных орбитах (наклонение 81-82°) с высотой около 900 км, второе – на солнечно-синхронных орбитах высотой 650 км. Снижение высоты было осуществлено для улучшения разрешающей способности информационно-измерительной аппаратуры КА ИПРЗ.

С запуском КА «Метеор-Природа» № 1 (09.07.74 г.) начала действовать отечественная эксплуатационно-экспериментальная космическая система изучения природных ресурсов Земли.

На КА «Метеор-Природа» №2 (пуск 15.05.76 г.) проводилась отработка отечественной экспериментальной аппаратуры для ведения непрерывного мониторинга радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, а также микроволновой, СВЧ-аппаратуры. Был проведен также международный эксперимент со спектрометром-интерферометром (Германская демократическая республика) для определения вертикального профиля температуры и содержания влаги в атмосфере. Впервые была получена и обработана измерительная информация для дистанционного зондирования атмосферы. Всего было изготовлено пять КА «Метеор-Природа» и осуществлены запуски двух КА первого поколения – на высоту около 900 км с наклоном 81-82°, трех КА второго поколения – впервые в СССР – на солнечно-синхронные орбиты, высотой 650 км. На этих КА проводилась отработка служебной и

экспериментальной информационно-измерительной аппаратуры для следующей серии экоприродоресурсных КА «Ресурс-01».

На солнечно-синхронных орбитах КА «Метеор-Природа» №№ 2-2, 2-3 и 2-4 (пуски 29.06.77 г., 25.01.79 г. и 10.07.81 г.), были продолжены эксперименты с установленными на предыдущих КА приборами для отработки методов дистанционных измерений и обработки полученной информации. На борту КА «Метеор-Природа» № 2-4 были установлены сканирующая телевизионная аппаратура для получения изображений поверхности Земли в нескольких областях спектра и экспериментальный трехканальный микроволновый радиометр, а также комплекс научной аппаратуры, разработанный и изготовленный специалистами народной Республики Болгарии по программе «Болгария-1300», который включал в себя: многоканальный спектрометр, работающий в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра, одноканальный микроволновый радиометр, вычислительную систему для регистрации и предварительной обработки информации. В течение трех с лишним лет (вместо гарантированных 6 месяцев) спутник выдавал научную информацию на пункты приема России и в центральную лабораторию космических исследований Академии наук НРБ для обработки и использования.

По мере накопления опыта, потребители предъявляли новые требования к информации, получаемой от научных приборов, что, в свою очередь, инициировало более высокие требования к бортовым служебным системам, которые последовательно реализовывались в экоприродоресурсных КА третьего поколения «Ресурс-01». Эти КА предназначались для пополнения орбитальной группировки космической системы дистанционного зондирования Земли, включающей КА «Ресурс-01», «Ресурс-Ф», «Океан-01», «Метеор» и «Электро».

Отдельные приборы дистанционного зондирования, методы обработки и интерпретации поступающей информации, а также особенности практического применения КА «Ресурс-01» отрабатывались на космических аппаратах серии «Метеор-Природа». Основным отличием КА «Ресурс-01» была возможность передачи с борта КА цифровой информации, которая после тематической обработки, проводимой по многочисленным целевым программам, использовалась российскими и зарубежными потребителями в виде мультиспектральных изображений.

Первый, экспериментальный КА «Ресурс-01» был изготовлен на базе унифицированного метеорологического КА «Метеор-2». Пуск осуществлен 18.06.80 г. На этом КА, кроме штатного комплекса РТВК, продолжавшего программу «Метеор-Природа», были установлены: качественно новый бортовой информационный ком-

плекс БИК-Э (оба комплекса разработаны Российским НИИ космического приборостроения) в составе трехканального оптико-электронного устройства МСУ-Э высокого разрешения с электронным сканированием, полосой обзора одного прибора 45 км и зоной захвата 650 км за счет возможности перенацеливания, а также пятиканального сканирующего устройства наклонного зондирования среднего разрешения МСУ-СК с полосой обзора 600 км; восьмиканальный сканирующий радиометр высокого разрешения «Фрагмент» с полосой обзора 85 км (Институт космических исследований АН СССР).

Приборы информационного комплекса давали изображения одних и тех же участков Земли с различными уровнями разрешения (1 км, 200, 80 и 30 м) в нескольких зонах видимой и ближней инфракрасной области спектра электромагнитных волн.

Данные от радиометра «Фрагмент», который работал более 3 лет, обработанные учеными ИКИ, МГУ и ИКИ ГДР, дали много ценного материала как в методическом, так и в практическом плане.

Данные БИК-Э использовались преимущественно для оценки лесных запасов, прогнозов урожайности зерновых культур, строительства дорог, контроля загрязнения внутренних водоемов, где для получения этих результатов требуются изображения высокого разрешения с больших территорий, обеспечиваемых МСУ-Э и МСУ-СК.

На КА также был установлен и испытан радиационный холодильник для охлаждения инфракрасных приемников, удовлетворяющих требованиям бортовых телевизионных комплексов КА типа «Электро».

КА «Ресурс-О1» № 1 эксплуатировался более восьми лет. Бортовой комплекс БИК-Э вместе с цифровой радиолинией и запоминающими устройствами высокой плотности составили основу информационного комплекса эксплуатационных КА «Ресурс-О1».

Очередной КА этой серии – «Ресурс-О1» № 2 был выведен на орбиту 20.04.88 г. Это был последний пуск КА «Ресурс-О1» ракетоносителем «Восток». Всего за 11 лет на солнечно-синхронные орбиты этим ракетоносителем с космодрома Байконур были осуществлены пуски шести отечественных КА: в период с 1977 по 1981 гг. – трех КА «Метеор-Природа», а с 1980 по 1988 гг. – двух КА серии «Ресурс-О1» и одного экспериментального КА «Ресурс-О1Э» в 1985 г.

С 1994 г. продолжились пуски, но уже новым ракетоносителем «Зенит», КА «Ресурс-О1». Впервые в мировой практике на широтно-стабилизированную по высоте орбиту (в диапазон 663-690 км) был выведен КА «Ресурс-О1» № 3.

Включение в состав КА экспериментальной радиолнии сантиметрового диапазона создало условия применения сети малых пунктов приема информации, установленных непосредственно у местных потребителей, создать на их основе территориальные центры получения, обработки и использования данных ДЗЗ. С целью обеспечения функционирования этой сети с распределенным доступом ко всем данным КА «Ресурс-О1» № 3 проведено переоборудование нескольких перемещаемых комплексов для приема информации в дециметровом диапазоне. Информация с КА «Ресурс-О1» № 3 широко применяется в регионах России, а также принимается и обрабатывается в Швеции в интересах многих фирм и организаций Европы. Отработаны организационные формы проведения работ по планированию целевого применения КА, а также принципы взаимодействия государственных и коммерческих организаций при совместной деятельности. Развитие наземной инфраструктуры, в свою очередь, стимулирует необходимость наращивания орбитальной группировки и состава бортовой аппаратуры последующих КА.

В ходе почти четырехлетнего функционирования КА «Ресурс-О1» № 3, в июле 1998 г. ракетоносителем «Зенит» также на широтно-стабилизированную солнечно-синхронную орбиту, но уже в диапазон высот 818 – 845 км (орбитальный аналог французского КА «SPOT») был выведен КА «Ресурс-О1» № 4. Он должен был со временем заменить КА «Ресурс-О1» № 3. К сожалению, из-за отказа передатчиков область применения КА в 1999 г. резко сузилась. Однако нельзя не сказать о тех крупных результатах, которые были получены при создании и первом этапе функционирования этого КА.

Кроме традиционного экоприродоресурсного комплекса, в состав КА «Ресурс-О1» № 4 была включена аппаратура для проведения радиационно-метрических, гелиогеофизических и гидрометеорологических измерений. По решаемым задачам и информационным характеристикам бортовых приборов КА «Ресурс-О1» № 4 превосходил все предшествующие аппараты серии «Ресурс-О1». Более полное использование массогабаритных резервов служебной платформы КА позволили значительно повысить эффективность использования аппарата путем установки комплексов бортовой аппаратуры различного назначения, а также установки пяти малых спутников, принадлежащих Австралии, Германии, Израилю, Таиланду и Чили.

КА «Ресурс-О1» № 4 отличается от предыдущих аппаратов этого типа модернизированным бортовым природоресурсным комплексом, в котором увеличена вдвое емкость запоминающего устройства – с 6 до 12 мин записи, а пропускная способность радиолнии с 7,68 до 15,3 Мбит/с (при передаче на малые пункты приема

информации) или 61,44 Мбит/с (для основных и региональных центров приема и обработки данных, расположенных в гг. Обнинск, Долгопрудный и Новосибирск).

В состав этого бортового комплекса входят сканирующие устройства среднего и высокого разрешения МСУ-СК с полосой обзора 760 км и МСУ-Э с полосой обзора 60 км в надире и 84 км на краю зоны и полосой захвата 650~150 км, бортовое запоминающее устройство и радиолиния передачи видеоинформации. В МСУ-СК введен шестой поддиапазон для обнаружения пожаров. Существенно улучшено соотношение сигнал/шум. Разрешение МСУ-Э повышено до 27 м.

В интересах метеорологического обеспечения на КА установлены:

- телевизионный метеорологический радиометр МР-900 с шириной обзора 2500 км;
- сканирующий прибор для анализа радиационного баланса системы Земля-атмосфера (СРРБ, Франция);
- измеритель солнечной постоянной ИСП-2.

В интересах гелиогеофизических наблюдений на КА установлены:

- прибор для контроля радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве РМК-М (Россия-Белоруссия);
- малогабаритный телескоп для регистрации параметров космических лучей (Nina, Италия).

Для сбора-передачи экологической информации от наземных средств установлена радиотехническая система ИРИС (Германия-Бельгия).

Пять малых, отделяемых спутников различных стран, установленных на КА «Ресурс-О1» № 4, стали уникальным примером международного сотрудничества.

Спутник WESTPAC австралийско-российской разработки представляет собой пассивный КА - сферу с лазерными уголковыми отражателями. Разработанный механизм поддержания положения центра масс КА с точностью 0,5 мм позволяет использовать его как объект с очень малым собственным смещением и определять по его наблюдениям изменения координат наземных станций.

Спутник SAFIR-2 немецкой разработки имеет двунаправленную систему связи для наземных корреспондентов. Первые ретрансляторы SAFIR-R SAFIR-1 были установлены на предыдущем КА «Ресурс-О1» № 3.

TechSat-2 является вторым израильским мини-спутником. Его задачей являются испытания нового оборудования и проведения экспериментов в области связи, дистанционного зондирования, астрономии и наук о Земле. Он призван продемонстрировать эффективность малых спутников для решения широкого круга задач.

FASat-Bravo – мини-спутник английской разработки, выполненной по заказу Чили. Главной научной задачей спутника является слежение за состоянием озонового слоя над территорией Чили. Кроме того, на FASat-Bravo установлена система отображения Земли.

TMSat – мини-спутник английской разработки – первый спутник, в изготовлении которого принимали участие тайландские специалисты. На нем установлен ряд новых экспериментальных полезных нагрузок, включая цифровую систему обработки сигналов, предназначенную для исследования способов улучшения спутниковой связи. В комплект входят широкоугольная и узкоугольная видеокамеры, способные получать многозональные снимки земной поверхности с разрешением до 100 м.

Сочетание высокого и среднего разрешения соответственно в узкой и широкой полосе обзора у отечественных КА типа «Ресурс-О1» обеспечивает возможность осуществления мониторингового режима с периодичностью регионального обзора 3-4 суток со свободным доступом массовых потребителей и возможностью детального досмотра с достаточно высоким разрешением экологогеофизических объектов. Эта возможность широкоохватного, мониторингового режима наблюдения с возможностью детального досмотра интересующих потребителей локальных образований является уникальной особенностью КА «Ресурс-О1», определяющей как бы «нишу», которую занимают отечественные средства экоприродоресурсного назначения среди зарубежных аналогов.

Основные заделы по НИОКР на рубеже XXI века

Основу программы работ по эксплуатации и дальнейшему совершенствованию КА оперативного наблюдения и дистанционного зондирования Земли и атмосферы составляют:

1. Прошедшие в 1988-2000 гг. длительные эксплуатационные проверки КА «Ресурс-О1» №№ 2, 3, 4 и «Электро-1» с отработанной наземной инфраструктурой приема и первичной обработки информации на базе стационарных пунктов Росгидромета и развивающейся сети перемещаемых малых станций типа «СКАНЭР» региональной и ведомственной принадлежности.

2. Результаты НИОКР по КА «Электро-2» и «Ресурс-О1» № 5 для решения задач экоприродоресурсного и гидрометеорологического мониторинга, при максимальном сохранении конструктивов и параметров унифицированных многоцелевых космических платформ верхнего и нижнего ярусов.

3. На базе созданного задела в НПП ВНИИЭМ разработана

унифицированная малая космическая платформа (УМКП-800), позволяющая обеспечить работоспособность на солнечно-синхронных и геостационарных орбитах КА массой до 800 кг, изготавливаются технологические образцы блоков и систем. Разработан эскизный проект перспективного гидрометеорологического КА «Метеор-Ресурс». Этот проект победил в конкурсе Росавиакосмоса в 2000 г. и на базе предложенных решений внесен в Федеральную космическую программу на 2001-2005 гг., по теме, по которой открыто финансирование и начата опытно-конструкторская работа по космическому комплексу «Метеор-Ресурс».

Возможно использование платформы УМКЛ-800 и для создания геостационарного КА «Электро-М» второго поколения.

Одной из особенностей накопленного опыта развития космических средств разработки НПП ВНИИЭМ является использование средств иностранных инвесторов, оплачивающих установку интегрированных в структуру КА полезных нагрузок, а также отделяемых МКА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электромеханика в космосе / Иосифьян А.Г. // Сер. Космонавтика. Астрономия. М.: Знание. 1977. №3.
2. Советские космические аппараты для дистанционного зондирования типа «Метеор» / Иосифьян А.Г., Шереметьевский Н.Н., Трифонов Ю.В. // Электротехника. 1982. № 6.
3. Космические аппараты оперативного метеорологического и природно-ресурсного назначения. Проблемы. Технические решения. Международная интеграция / Адасько В.И., Иосифьян А.Г., Трифонов Ю.В., Шереметьевский Н.Н. // Электротехника. 1991. № 9.
4. Geostationary Space System «Electro» (GOMS): Preconditions for Creation and Structure / Stepan A. Stoma, Yuri V. Trifonov // Space Bulletin. Vol. 2. No. 3. 1995.