

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

УДК 629.783

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «МЕТЕОР»

А.А. Гусев, И.Ю. Ильина,
В.К. Саульский, А.Л. Чуркин
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Проведён анализ задач, требований, проблем, принятых проектных решений и особенностей создания новой космической платформы (КП) для перспективного океанографического спутника «Метеор-М» №3. Рассмотрены и обоснованы основные отличия этой КП от применявшейся до сих пор на протяжении свыше четверти века унифицированной космической платформы «Ресурс-УКП». Сформированы принципы построения, рекомендуемые для использования как при разработке перспективных океанографических, так и гидрометеорологических спутников, а также космических аппаратов всепогодного наблюдения. Новая космическая платформа должна стать базовой для следующего поколения спутников дистанционного зондирования Земли в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Ключевые слова: космическая платформа, гидрометеорологический спутник, океанографический спутник, всепогодное наблюдение, силовая конструкция, полезная нагрузка, бортовая служебная система.

ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» является одним из предприятий – пионеров в области создания российских космических аппаратов для наблюдения Земли. На протяжении свыше четырёх десятилетий ВНИИЭМ разрабатывает метеорологические спутники серии «Метеор» [1]. Параллельно с метеоспутниками был создан ряд природно-ресурсных КА типа «Ресурс-ОЭ» и «Ресурс-О1» [2]. В настоящее время на орбите функционирует и активно эксплуатируется в интересах Росгидромета и других хозяйственных отраслей гидрометеорологический КА «Метеор-М» № 1 [3]. Он был запущен в 2009 г. КА «Метеор-М» № 1 (рис. 1.) является первым аппаратом космического комплекса «Метеор-3М» [3], который будет состоять из четырёх КА гидрометеорологического назначения и одного КА океанографического назначения [5].

Начиная с середины 80-х годов прошлого века, все метеорологические и природно-ресурсные КА, разработки ВНИИЭМ, создавались на основе унифицированной космической платформы (УКП) «Ресурс-УКП» [3].

Термин «космическая платформа» (КП) обозначает совокупность конструктивно-компоновочной схемы и бортовых служебных систем. Добавление полезной нагрузки превращает КП в полноценный космический аппарат (КА).

На этапах своего развития «Ресурс-УКП» (первоначальное название «Спутниковая платформа II» или сокращенно СП-II) неоднократно модернизировалась, достигнув высоких результатов. Подтверждением этого стало получение премии Пра-

вительства Российской Федерации в 2003 г. за создание данной платформы [3].

В общей сложности на базе «Ресурс-УКП» разработано 10 КА: 7 КА «Метеор-3» (1985 – 1997 гг.), природно-ресурсный КА «Ресурс-О1» № 4 (1998 г.), КА «Метеор-3М» № 1 (2001 г.) и, наконец, уже упомянутый КА «Метеор-М» №1 (2009 г.) [2].

СП-II («Ресурс-УКП») разрабатывалась на основе уже отработанных на спутниковой платформе

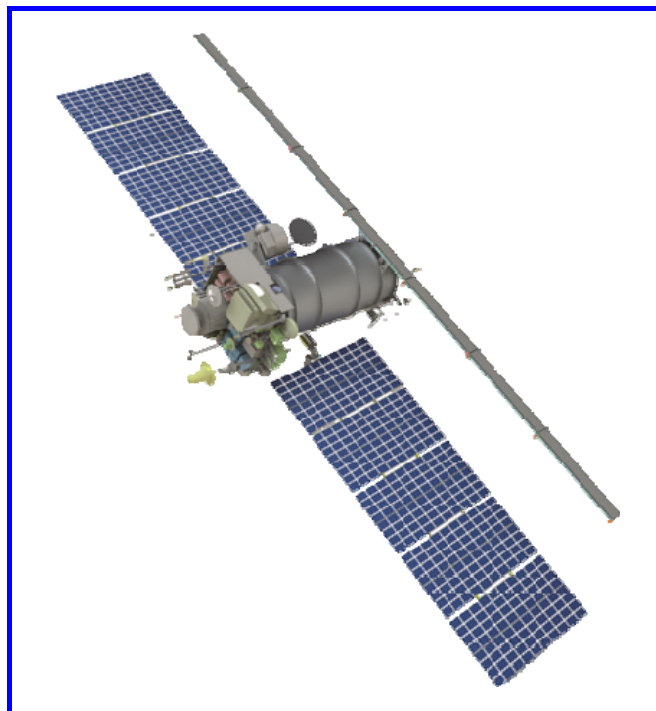


Рис. 1. Общий вид метеорологического
КА «Метеор-М» № 1

предыдущего поколения СП-I общих конструктивно-компоновочных и структурно-функциональных принципов. В платформе СП-II был реализован на момент её создания ряд новшеств, благодаря которым достигнут высокий уровень унификации для решения многоцелевых задач с использованием российской и зарубежной аппаратуры [2].

Важным научно-техническим результатом работ по созданию и внедрению спутниковых платформ СП-I и «Ресурс-УКП» является реализация эффективной и экономичной комплексной технологии разработки КА для различных направлений ДЗЗ. В ней сочетаются следующие принципы:

- применение с минимальными изменениями надёжной и хорошо отработанной конструкции и служебных систем;

- широкие возможности варьирования состава, массогабаритных характеристик и энергопотребления целевых приборов;

- выделение значительного ресурса по решению дополнительных научных и коммерческих задач;

- учёт общероссийских и мировых тенденций проектирования КА ДЗЗ и внедрение новых достижений в области создания конструкционных материалов, датчиков, технологий, компьютерной техники, программного обеспечения и т. д.;

- отработка в космосе (при очередных запусках КА ДЗЗ) перспективных усовершенствований внутренних блоков и элементов систем космической платформы при сохранении её принципиального состава.

Полезно отметить, что для практического осуществления последнего принципа на борту вновь создаваемых в нашей организации спутников ДЗЗ регулярно устанавливаются экспериментальные устройства. В случае их успешного испытания на орбите они в дальнейшем заменяют соответствующие блоки и подсистемы, ранее применявшиеся на КА ВНИИЭМ.

Рассмотрим конструктивно-компоновочную схему «Ресурс-УКП», проиллюстрированную на рис. 2. Центральным звеном этой космической платформы является герметичный контейнер. Он имеет форму цилиндра диаметром 1400 мм и длиной 2900 мм. Гермоконтейнер служит главным силовым элементом конструкции УКП, обеспечивающим прочность и жёсткость КА, требуемые для выдерживания статических и динамических нагрузок в процессе запуска и эксплуатации в космическом пространстве, а также при транспортировке и других наземных операциях.

В гермоконтейнере размещаются бортовые служебные системы, предназначенные для поддержания жизнеспособности КА, и часть полезной нагрузки, предназначенной для установки только в герметизированных приборных отсеках. Внутри герметичного контейнера сохраняется заданный тепловой режим за счёт циркуляции рабочего газа, состоящего, главным образом, из азота. Циркуляция достигается с помощью четырёх вентиляторов. Для подогрева газа используются электронагреватели, а для охлаждения – радиационные поверхности на корпусе гермоконтейнера, отводящие избыточное тепло в окружающий космос.

Снаружи (вне) гермоконтейнера закреплена внешняя приборная рама для размещения на ней остальной полезной нагрузки с массой до 700 кг. Кроме того, имеется привод, на оси которого расположены два комплекта панелей солнечной батареи, питающих электрической энергией УКП и КА в целом. Благодаря приводу, солнечная батарея ориентируется в направлении на Солнце.

Полезной особенностью «Ресурс-УКП» является возможность прикрепления к корпусу гермоконтейнера различных наборов дополнительных коммерческих нагрузок с общей массой до 400 кг. После выведения КА на орбиту они отделяются и совершают самостоятельные полёты в космическом пространстве.

В составе «Ресурс-УКП» используются следующие бортовые служебные системы:

- бортовой комплекс управления (БКУ);

- система энергоснабжения (СЭС);

- система терморегулирования (СТР);

- система ориентации корпуса (СОК);

- система ориентации солнечной батареи (СОСБ);

- антенно-фидерные устройства (АФУ);

- система отделения от ракеты-носителя.

Этот состав носит практически устоявшийся характер для космических аппаратов, разработки ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», он с относительно небольшими изменениями будет сохраняться и на перспективных метеоспутниках типа «Метеор» в следующем поколении. В качестве возможных вариаций состава служебных систем целесообразно отметить следующие: добавление бортовой двигательной установки для коррекции орбиты и выполнения других орбитальных манёвров, отказ (в некоторых случаях) от ориентации солнечных батарей, разделение отдельных служебных систем (БКУ, СТР) на входящие в них подсистемы с наделением последних статусом самостоятельных бортовых систем или, наоборот, их включением на правах элементов в конструкцию КП или другие бортовые служебные системы.

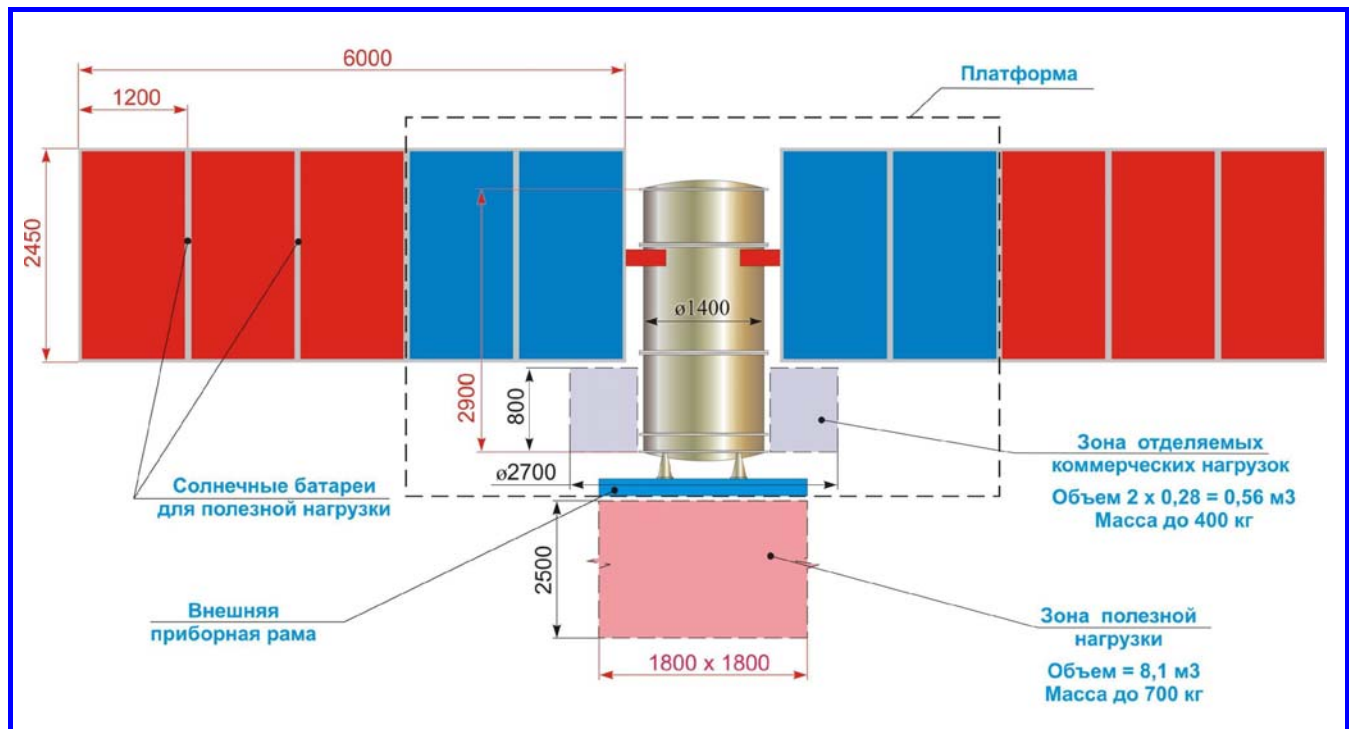


Рис. 2. Конструктивно-компоновочная схема «Ресурс-УКП»

Например из БКУ и (частично) СЭС на перспективных метеорологических спутниках могут вычлениваться и становиться автономными звеньями КП следующие системы: бортовая вычислительная система, бортовая аппаратура командно-измерительной системы, бортовая радиотелеметрическая система, бортовая аппаратура спутниковой навигации, бортовая коммутационная аппаратура. Это даёт основание для проведения автономных испытаний каждой из выделенных систем по отдельности.

Внутренний состав каждой из рассматриваемых служебных систем с течением времени подвергается модификации с учётом появления новых принципов работы, более совершенных датчиков и компьютерных средств, перспективных материалов и технологий, продвинутых методов проектирования и программного обеспечения и других новшеств.

Остановимся более подробно на функциях и принципах построения служебных систем «Ресурс-УКП».

Бортовой комплекс управления состоит из современных компьютерных аппаратно-программных средств и должен выполнять следующие основные функции:

- обеспечение взаимодействия и управление работой бортовых служебных и целевых (научных) систем;
- автономные навигационные вычисления на основе приёма радиосигналов от навигационных спутников;
- информационный обмен с наземным комплексом управления (НКУ) и реализация его команд;
- контроль состояния и работоспособности бортовых систем;

– формирование и выдачу секундных меток приборам спутника.

Система энергоснабжения обеспечивает электропитание всех бортовых приборов-потребителей. СЭС включает в качестве первичного источника энергии солнечную батарею. Вторичным источником служит аккумуляторная батарея. В состав СЭС входят также средства распределения питания и стабилизации напряжения.

Система терморегулирования, помимо отмеченных выше активных элементов поддержания циркуляции рабочего газа в гермоконтейнере, т. е. вентиляторов, использует ряд разнообразных пассивных средств. К ним относятся тепловые трубы разного вида, термопокрытия, радиаторы и радиационные поверхности, маты экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ), электронагреватели, тепловыделяющие элементы и т. д.

Система ориентации корпуса относится к электромеханическому типу. Она базируется на традиционном для ВНИИЭМ и доказавшем свою высокую эффективность в процессе эксплуатации спутников серии «Метеор» сочетании следующих подсистем:

- совокупности датчиков для определения местной инфракрасной вертикали Земли, направлений на Солнце и выделенные звёзды, величин угловых скоростей КА;
- исполнительных механизмов в виде электродвигателей-маховиков;
- подсистемы магнитной разгрузки избыточных

кинетических моментов, накопленных электродвигателями-маховиками (подсистема состоит из электромагнитов для выполнения разгрузки и трёхкомпонентных магнитометров для выбора наилучших периодов времени, когда магнитное поле Земли благоприятно для разгрузки);

– средств интерфейса для управления подсистемами СОК и взаимодействия с БКУ.

В своё время ВНИИЭМ выступал в роли первопроходца по созданию и совершенствованию электромеханических систем ориентации [1]. Основой для этого послужил большой опыт и задел ВНИИЭМ в области разработки различных электродвигателей и других средств электромеханики. Специалисты предприятия продолжают работу по дальнейшему совершенствованию бортовых средств ориентации и стабилизации электромеханического типа.

Система ориентации солнечной батареи предназначена для реализации оптимального расположения солнечных панелей перпендикулярно к направлению на Солнце. Она состоит из устройств для первоначального раскрытия панелей (после вывода КА в космос) и дальнейшего обеспечения их поворотов по показаниям солнечных датчиков.

Антенно-фидерные устройства включают ряд автономных АФУ отдельных служебных и целевых систем КП и КА в целом.

В системе отделения имеется адаптер, закрепляемый на разгонном блоке ракеты-носителя, и наборы пирозамков, пружинных толкателей, отрывных электроразъёмов и вспомогательных элементов крепления.

Завершая краткое описание «Ресурс-УКП», отметим, что последний из созданных на её базе спутников «Метеор-М» № 1, предназначен для оперативного получения в глобальном масштабе следующей информации:

– гидрометеорологических характеристик атмосферы и подстилающей поверхности (в интересах повышения достоверности прогнозов погоды и изучения эволюции климата);

– данных о местоположении и характере опасных погодных процессов с целью выдачи предупреждений об их наступлении;

– трёхмерных полей температуры и влагосодержания атмосферы;

– данных об облачности и снежно-ледовом покрове на суше и Мировом океане;

– данных о растительном покрове и природно-хозяйственной деятельности;

– данных от наземных платформ сбора данных;

– гелиогеофизических данных об обстановке в околоземном космическом пространстве (ОКП).

Для получения вышеуказанной информации на борту КА «Метеор-М» № 1 установлена следующая целевая аппаратура [1, 3, 4]:

– многозональное сканирующее устройство малого разрешения МСУ-МР;

– комплекс многозональной спектральной съёмки среднего разрешения КМСС;

– бортовой радиолокационный комплекс БРЛК;

– гелиогеофизический аппаратный комплекс ГГК;

– модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА-ГЯ).

В рамках Федеральной космической программы на основе «Ресурс-УКП» в ближайшие годы запланировано изготовление ещё трёх гидрометеорологических спутников, аналогичных КА «Метеор-М» №1 [5]. Однако для перспективных океанографических КА типа «Метеор-М» № 3, оснащаемых очень большими и энергоёмкими комплексами целевых приборов с присутствием в них бортовых радиолокаторов с крупногабаритными антеннами на базе активных фазированных антенных решёток (АФАР), во ВНИИЭМ проектируется новая КП. При этом используются базовые решения, соответствующие как современным тенденциям в области разработки КП, так и опыту предприятия, накопленному при эксплуатации «Ресурс-УКП»:

– унификация конструкции и служебных систем новых космических платформ;

– негерметичное исполнение;

– использование конструкции приборного отсека в качестве силовой основы;

– применение современных облегчённых и прочных конструкционных материалов (композиты, алюминиевые сплавы и т. п.);

– усовершенствованная электромеханическая система ориентации и стабилизации с магнитной разгрузкой;

– солнечные батареи из унифицированных по типоразмеру гетероструктурных модулей фотопреобразователей (ФП) на основе арсенида галлия;

– литий-ионные аккумуляторные батареи с высокими техническими и ресурсными параметрами;

– средства терморегулирования на основе практически только пассивных элементов (тепловые трубы, терморегулирующие покрытия, радиаторы, маты ЭВТИ и т. п.);

– автономность и «интеллектуальность» борта за счёт высокоэффективных аппаратно-программных средств и технологий;

– прецизионное координатно-временное обеспечение за счёт совместного использования данных от звёздных датчиков и сигналов навигационных спутников;

- широкое применение современных методов автоматизированного проектирования для оптимизации компоновки бортовых систем и элементов;
- создание определённых резервов для возможных изменений массоэнергетических характеристик полезной нагрузки;
- создание резервов массы и энергии для коммерческих грузов.

Необходимость создания новой КП для КА «Метеор-М» № 3 также обусловлена установкой на его борту совершенно другой целевой аппаратуры (в отличие от КА гидрометеорологического назначения) для решения следующих задач [3, 5]:

- обеспечения безопасности мореплавания и проведения фундаментальных и прикладных исследований Мирового океана;
- прогнозирования, мониторинга и информационного обеспечения мероприятий по ликвидации последствий наводнений;
- оперативного контроля состояния водной среды и соблюдения правил использования континентального шельфа в исключительной экономической зоне РФ;
- своевременного обнаружения, определения площади и конфигурации разливов нефтепродуктов на водной поверхности, а также общего мониторинга развития загрязнений акваторий Мирового океана;
- мониторинга промысловых районов Мирового океана в целях информационного обеспечения производственной деятельности рыболовного флота.

В состав целевой аппаратуры спутника входят следующие приборы [5]:

- сканер цветности океана МСУ-О;
- сканер береговой зоны СБЗ;
- бортовой радиолокационный комплекс ЭЛСАР-1;
- скаттерометр (СКАТ-МЗ);
- аппаратура радиозатменного мониторинга атмосферы АРМА-МЗ.

Наличие на борту океанографического спутника радиолокатора, скаттерометра, а также аппаратуры радиозатменного зондирования позволяет считать этот КА спутником всепогодного наблюдения. Действительно, все три выделенных целевых прибора функционируют независимо от времени суток и погодных условий. В связи с этим и КП для создания на её базе этого спутника удобно именовать КП всепогодного наблюдения (КП ВН). Данная КП создаётся с максимальной унификацией и перспективой на достаточно длительное применение в будущем для аппаратов серии «Метеор» не только океанографического назначения, но и для перспективных КА гидрометеорологического назначения.

Многорежимный радиолокационный комплекс

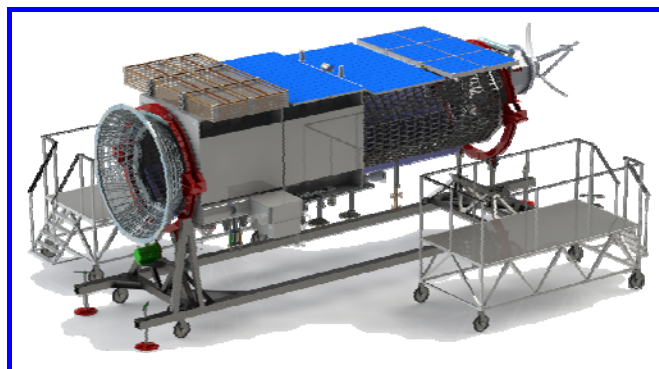


Рис. 3. Иллюстрация сборки КА на горизонтальном поворотном стенде-стапеле

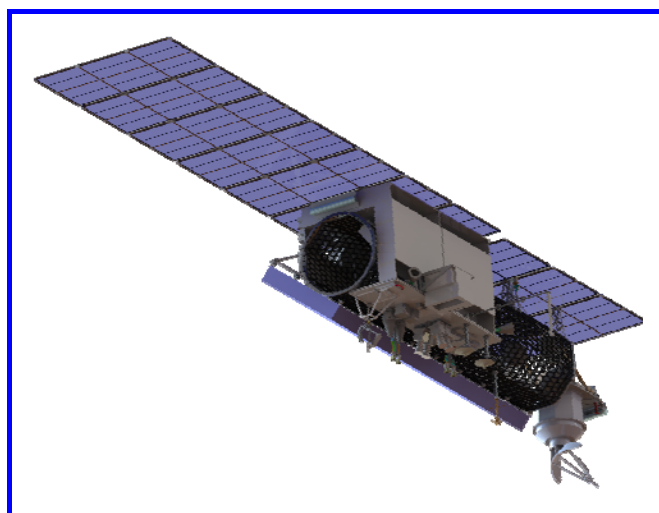


Рис. 4. Общий вид КА «Метеор-М» № 3

ЭЛСАР-1 должен иметь, как это следует из предварительных материалов его организации-разработчика, антенну АФАР со следующими размерами: длина – 6000 мм, поперечный размер – 1500 мм, масса локатора ~650 кг. Пиковое энергопотребление ~5500 Вт. Эти характеристики могут несколько изменяться в процессе дальнейшей разработки ЭЛСАР-1. БРЛК ЭЛСАР-1 должен получать радиолограммы с пространственным разрешением менее метра.

Локатор является без преувеличения спутникообразующим прибором. Вся конструкция КА «Метеор-М» № 3 выбирается такой, чтобы обеспечить работу БРЛК в рамках заданных ТЗ. Данная КП может быть основой для КА локационного типа, требующих протяжённой размеростабильной конструкции.

Для работы данного радиолокатора, принадлежащего к типу приборов бокового обзора, требуется разместить его весьма длинную и массогабаритную антенну параллельно вектору скорости полёта спутника по орбите, т. е. вдоль одного из бортов КА. Наиболее предпочтителен для этой цели правый борт, поскольку он находится в затенении от

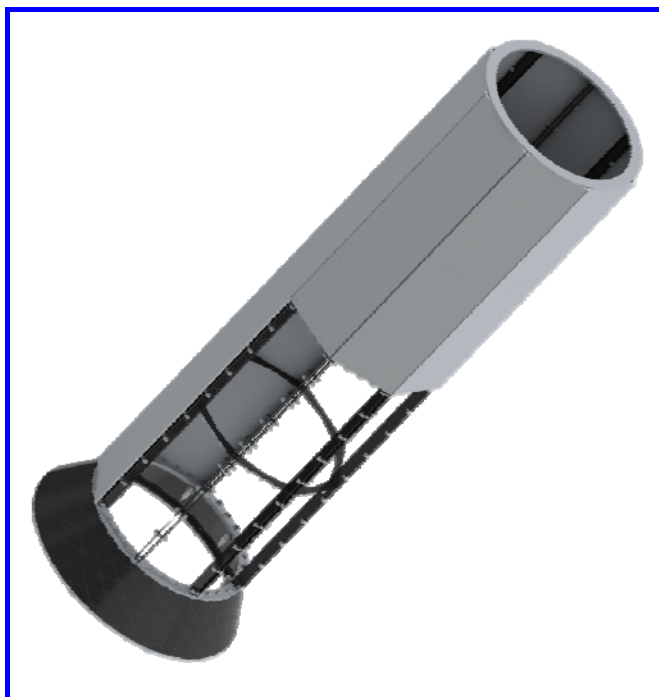


Рис. 5. Стрингерно-шпангоутная силовая конструкция КА «Метеор-М» № 3

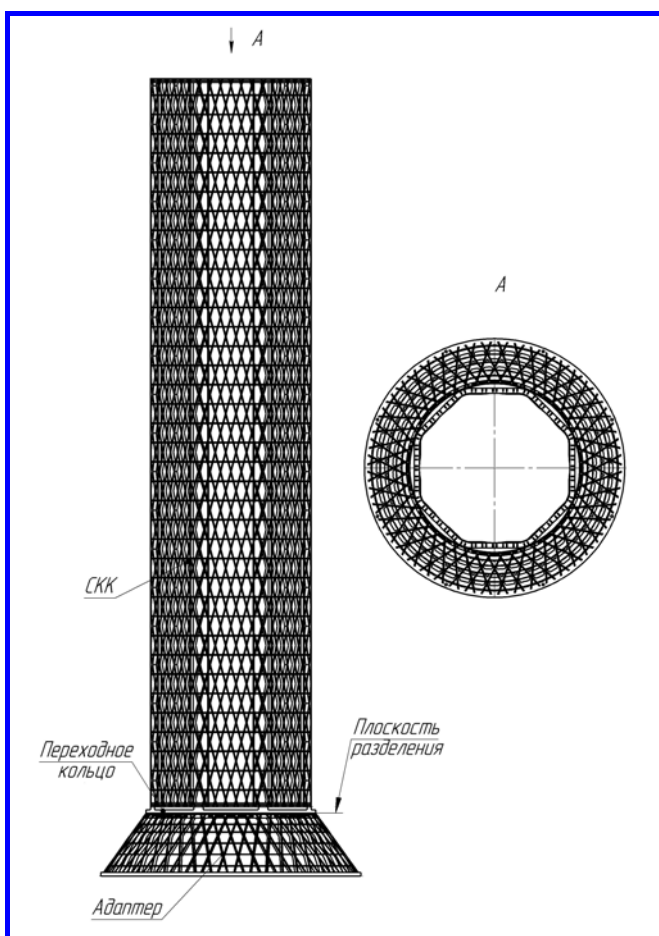


Рис. 6. Силовая сетчатая восьмигранная конструкция КА «Метеор-М» № 3

солнечных лучей при пролёте спутника по поперечной солнечно-синхронной орбите над северным полушарием Земли, где расположено большинство объектов для радиолокационной съёмки. Угол между нормалью к излучающей поверхности антенны АФАР и направлением на Землю должен составлять 40° . В тех случаях, когда требуется провести оперативное радиолокационное наблюдение земных объектов слева по борту, предусмотрен режим программного поворота вокруг оси X (продольной оси КА) на 80° . Таким образом, в этом режиме локатор располагается по левому борту КА.

Наличие длинной и тяжёлой антенны и требование поворотов КА по крену приводят к целесообразности горизонтальной компоновки КП ВН [3].

Горизонтальная конструктивно-компоновочная схема удобна для операций сборки и испытаний КП и КА в целом. Желательно, чтобы замена отдельных блоков и элементов не приводила к необходимости разборки и сборки многих других бортовых подсистем. Это можно обеспечить, собирая и разбирая КА на специальном горизонтальном поворотном стенде-стапеле, показанном на рис. 3. Поворачиваясь на стапеле вокруг продольной оси, спутник подставляет свой очередной бок для выполнения на нём сборочно-разборочных операций.

Учитывая отмеченное выше, для КП ВН утверждена горизонтальная конструктивно-компоновочная схема. Общий вид КА «Метеор-М» № 3, соответствующий этой схеме, показан на рис. 4. На рисунке ось X направлена по вектору скорости орбитального движения, ось Z совпадает с местной вертикалью Земли и направлена в зенит, ось Y дополняет всю систему координат до правой.

При дальнейшем уточнении конкретного вида конструкции КП ВН и выборе рационального размещения на ней всех бортовых служебных и целевых приборов возникли две основные проблемы (требования):

- обеспечение жёсткости конструкции с целью добиться равенства, а лучше превзойти заданные уровни собственных резонансных частот КА на адаптере системы отделения, составляющие 12 Гц в поперечном направлении и 30 Гц в продольном;

- обеспечение положения центра масс КА в проекции на плоскость разделения (с адаптером) в трубке диаметром 10 мм.

Оба требования продиктованы необходимостью осуществления безопасности запуска КА на орбиту.

С целью выполнения этих требований в первоначальном варианте горизонтальной конструктивно-компоновочной схемы предполагалось исполь-

зовать стрингерно-шпангоутную силовую конструкцию. Она должна была включить 8 стрингеров, каждый из которых имел пару продольных рёбер сечением $20 \times 50 \text{ мм}^2$ из высоко модульного углепластика. Между собой стрингеры скреплялись пятью шпангоутами. Для обеспечения локальной устойчивости стрингеров планировалось применить 8 сотовых панелей. В результате образовывалась восьмигранная правильная призма, как показано на рис. 5.

Каждая сотопанель должна была иметь толщину 21 мм и состоять из наружных алюминиевых листов толщиной 0,5 мм, сотового наполнителя и каркаса из алюминиевого профиля по периметру панели.

Однако только что описанный вариант конструкции не позволил полностью удовлетворить приведённым требованиям по высокоточному положению центра масс КА. В связи с этим в настоящее время принят новый способ, при котором силовая конструкция корпуса КП представляет собой сетчатую углепластиковую восьмигранную призму, показанную на рис. 6. На рисунке изображён также конический сетчатый углепластиковый адаптер для закрепления КА на разгонном блоке ракеты-носителя. Переход на силовую сетчатую конструкцию (ССК) обусловлен также сложностью кооперационных связей при изготовлении стрингерно-шпангоутной силовой конструкции, что значительно влияет на сроки и стоимость её разработки и изготовления.

На новой силовой конструкции корпуса размещаются сотопанели, к которым прикрепляются служебные системы, платформа с аппаратурой полезной нагрузки, антенна АФАР и частично раскладываемая (после запуска) солнечная фотоэлектрическая батарея (БФ) (часть секций солнечной батареи с самого начала жёстко закреплена на корпусе КА, а часть развёртывается после выведения на орбиту).

В кормовой части КА на торце силовой конструкции корпуса имеется откидная платформа с устанавливаемыми на ней скаттерометрами, корректирующей двигательной установкой, некоторыми служебными блоками и АФУ.

Описанная конструктивно-компоновочная схема горизонтального типа соответствует перечисленным выше базовым решениям проектирования новых КП, относящимся к выбору конструкции.

Проектируемая КП ВН имеет негерметичное исполнение. Это позволяет экономить массу и облегчить монтажные операции по сборке и разборке платформы и спутника целиком. Приборный отсек,

включающий сетчатую силовую конструкцию в качестве его жёсткого каркаса, используется в роли силовой основы КП и спутника в целом. При изготовлении силовой основы и ряда систем и элементов КП ВН применяются композитные и другие современные облегчённые конструкционные материалы. Данные технические решения продиктованы требованиями по обеспечению жёсткости и размеростабильности АФАР.

Состав служебных систем КП ВН носит унифицированный характер. В основном он соответствует ранее описанной «Ресурс-УКП», но с некоторыми изменениями, вытекающими из базовых решений. Рассмотрим служебные системы КП для КА «Метеор-М» № 3 поочередно.

Для ориентации и стабилизации КА будет применена проверенная временем и хорошо отработанная электромеханическая система, включающая тот же состав подсистем, что и на «Ресурс-УКП». Однако будут использованы современные высокоточные датчики, усовершенствованные исполнительные механизмы, более эффективная система магнитной разгрузки, а также модернизированные средства интерфейса. С этой целью планируется переход на новую элементную базу, вычислительные средства, прецизионные звёздные датчики и инерциальные датчики угловых скоростей. Предусмотрено привлечение высокоточных данных, получаемых от навигационных спутников.

Построение точной ориентации планируется реализовать с помощью бескарданной инерциальной системы и звёздных датчиков.

Прямое управление в режиме штатной ориентации будет осуществляться путём интегрирования показаний высокоточных приборов измерения угловых скоростей нового поколения. Звёздную и орбитальную системы координат станет объединять специальное бортовое синхронизирующее координатно-временное устройство (БСКВУ). На «Ресурс-УКП» такого прибора не было. В работе БСКВУ используется корректируемая модель орбиты спутника и привлекаемые данные от навигационных КА систем ГЛОНАСС и GPS.

Важную роль в достижении высокоточной ориентации сыграют звёздные датчики. Обеспечиваемые ими точности определения углов отклонения оптической оси достаточны для прецизионной ориентации. Однако точности измерения углов поворота вокруг той же оси на порядок хуже. По этой причине для высокоточной трёхосной ориентации необходимо применять пары астродатчиков с несёнными полями зрения.

Таким образом, хотя общий принцип работы и формальный состав подсистем, входящих в систему ориентации и стабилизации КП ВН, сохраняется в том виде, как это было на «Ресурс-УКП», внутренний состав и характеристики устройств СОС претерпевают большие изменения.

Следует добавить, что появляется новый режим ориентации с целью оптимизации съёмки Земли бортовым радиолокатором и другой целевой аппаратурой. Помимо обычного штатного режима «Земля – Курс», будет применяться режим «Земля – Путь». Он учитывает вращение Земли, приводящее к боковому смещению её поверхности относительно вектора скорости спутника. Таким путём обеспечивается оптимальное сканирование земной поверхности целевыми бортовыми приборами, когда сканы ложатся перпендикулярно трассе перемещения подспутниковой точки, а не вектору скорости КА.

Система энергоснабжения (СЭС), как и только что рассмотренная система ориентации и стабилизации на КП ВН по составу аналогична СЭС «Ресурс-УКП», но по характеристикам значительно выше.

Ввиду исключительно высоких потребностей в электроснабжении многорежимного бортового радиолокатора ЭЛСАР-1, скаттерометра СКАТ-МЗ и других менее энергоёмких приборов на КП для КА «Метеор-М» № 3 будет установлена солнечная батарея из 10 створок с общей площадью 30,5 м². Батарея должна состоять из унифицированных трёхкаскадных фотопреобразователей (ФП) на основе арсенида галлия. Это вдвое повышает удельную мощность по сравнению с ФП из кремниевых монокристаллов, применявшихся ранее, и позволит довести КПД до ~25%. В дальнейшем ожидается переход на использование четырёхкаскадных ФП из арсенида галлия с КПД около 40%.

Существенной особенностью КП для КА «Метеор-М» № 3 будет отсутствие системы ориентации солнечной батареи. Последняя жёстко закрепляется на корпусе платформы в процессе полёта. При этом 6 из 10 её створок раскрываются уже после выведения КА в космическое пространство.

Возможность отказа от автономной ориентации солнечной батареи обеспечивается тем, что солнечно-синхронная орбита рассматриваемого океанографического спутника является полуденной. Это означает, что плоскость орбиты почти параллельна линии направления на Солнце в течение всего срока активного функционирования КА.

Местное солнечное время в восходящем узле орбиты – 12 часов.

Вторичным источником электрического тока на КП ВН станет, как это вытекает из перечня применяемых базовых решений, аккумуляторная батарея литий-ионного типа. Она обладает меньшей массой, низким тепловыделением при высоком КПД в цикле заряд – разряд, ничтожной величиной саморазряда, простотой управления, высокой повторяемостью характеристик и надёжностью за счёт высокотехнологичного процесса изготовления по сравнению, например, с никель-водородными аккумуляторами.

Особенностью СЭС КА «Метеор-М» № 3 является применение двух уровней электрического напряжения:

- около 30 В для всех бортовых приборов-потребителей, кроме антенны АФАР радиолокатора;
- около 60 В для этой антенны.

Увеличение напряжения для антенны локатора ЭЛСАР-1 обеспечивает снижение потерь в цепи её питания.

Система обеспечения теплового режима КП ВН будет состоять практически только из пассивных элементов, распределённых, в основном, по конструкции КП для КА «Метеор-М» № 3. К ним относятся тепловые трубы, терморегулирующие покрытия, теплопроводящие элементы и пасты, радиаторы и радиационные поверхности, компенсационные электронагреватели, маты ЭВТИ. Отметим, что на КП ВНИИЭМ используется практика заделывания тепловых труб в стовые панели корпуса КП.

Для повышения радиационной теплоотдачи в условиях, когда радиационная поверхность подвергается прямому солнечному облучению, будут использоваться специальные покрытия типа «солнечный отражатель». Это весьма актуально именно для КП спутника «Метеор-М» № 3, учитывая необходимость его поворотов по крену для перекладки полос обзора бортового радиолокатора с одного бока спутника на другой и обратно. Такие манёвры приводят к тому, что на корпусе КП нет поверхностей, которые никогда не засвечиваются Солнцем.

Бортовой комплекс управления (БКУ) КП ВН, в основном, предназначен для тех же функций, что и БКУ предыдущей платформы «Ресурс-УКП». Однако для существенного повышения эффективности его работы, обеспечения высокой автономности функционирования перспективных КА типа «Метеор-М» № 3 и достижения интеллектуальности «поведения» рассматриваемой КП и спутников

на её основе будут проведены следующие мероприятия:

- повышение быстродействия и объёма памяти бортовых вычислительных систем;
- совершенствование и унификация протоколов обмена информацией и интерфейса в целом;
- усовершенствование сетевых структур управления комплексами служебных приборов вместо индивидуальных блоков управления отдельными системами;
- повышение гибкости управления с расширением возможностей корректировки управляющих алгоритмов непосредственно в процессе эксплуатации КА;
- внедрение отказоустойчивых вычислительных систем на базе нескольких цифровых вычислительных машин;
- совершенствование программного обеспечения.

Важной особенностью КА «Метеор-М» № 3 станет появление новой служебной системы – аппаратуры координатно-временного обеспечения (АКВО). Она объединяет БСКВУ, о котором уже говорилось выше, и пару звёздных датчиков. Тем самым достигается совместное использование данных от навигационных спутников и звёздных датчиков. Это позволит одновременно повысить точность ориентации спутника и бортового вычислительного процесса по определению его орбитальных параметров и прогнозированию движения по орбите.

Присутствие БСКВУ в составе АКВО обеспечивает также поддержку выдаче синхронизирующих меток времени тогда, когда отсутствует возможность сверки бортовой шкалы времени с высокоточной шкалой времени навигационного спутника.

Для этого в БСКВУ имеется высокостабильный задающий генератор времени.

На КП для КА «Метеор-М» № 3 устанавливается корректирующая двигательная установка (КДУ) на базе серийно изготавливаемого стационарно плазменного двигателя СПД-100 (на «Ресурс-УКП» КДУ отсутствует).

Выведение спутника «Метеор-М» № 3 запланировано с использованием ракеты-носителя (РН) «Союз-2» этапа 1б и разгонного блока (РБ) «Фрегат». Под обтекателем РН спутник будет закрепляться в вертикальном положении на адаптере РБ с помощью системы отделения. Последняя включает переходное кольцо (на СКК), восемь пирозамков, восемь пружинных толкателей и ряд вспомогательных элементов.

Необходимо отметить широкое использование в процессе разработки КП для океанографиче-

ского спутника «Метеор-М» № 3 методов автоматизированного проектирования. Это позволяет наилучшим образом размещать бортовые служебные и целевые приборы, а также оптимизировать длину жгутов кабелей, размеры и расположение многих других вспомогательных блоков и элементов.

Предусматривается при создании новой КП также и возможность варьирования массоэнергетических характеристик полезной нагрузки. Это важно с учётом того, что параллельно идущий процесс разработки бортовых целевых приборов, включая наиболее громоздкий и энергоёмкий радиолокатор ЭЛСАР-1, ещё не завершён. В связи с этим любые параметры полезной нагрузки могут подвергнуться изменениям. Данная особенность разрабатываемой КП ВН позволяет считать её унифицированной платформой для многих перспективных КА, на которых будут устанавливаться различные наборы целевых приборов.

Наличие в силовой конструкции корпуса платформы, имеющей форму сетчатого восьмигранника, большого свободного внутреннего пространства может быть использовано также и для попутного выведения в космос коммерческих нагрузок.

Разрабатываемая КП для перспективного океанографического спутника «Метеор-М» № 3 проектируется с учётом современных тенденций и большого опыта и задела ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», накопленного за многолетний период создания и эксплуатации КА серии «Метеор». Заложенные в данную платформу требования и реализуемые технические решения делают её унифицированной. На её основе возможно создание также и перспективных КА гидрометеорологического назначения и различных КА всепогодного наблюдения типа «Метеор-МП». Таким образом, эта КП должна стать базовой для разработки очередного поколения спутников дистанционного зондирования Земли в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Литература

1. ВНИИЭМ – 70 лет истории предприятия / Под ред. д-ра техн. наук Л. А. Макриденко. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 327 с.
2. Основные направления развития средств дистанционного зондирования Земли из космоса в ФГУП «НПП ВНИИЭМ» / Ю. В. Трифонов, А. В. Горбунов, А. Л. Чуркин // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – Т. 105. – С. 29–39.
3. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с кос-

мическим аппаратом «Метеор-М» / А. В. Горбунов, А. Л. Чуркин, Д. А. Павлов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – Т. 105. – С. 17 – 28.

4. «Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 1» / Под ред. д-ра

техн. наук Л. А. Макриденко, д-ра техн. наук С. Н. Волкова, д-ра техн. наук Ю. В. Трифонова, канд. техн. наук А. В. Горбунова, канд. техн. наук В. Н. Дядюченко. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 142 с.

5. Дистанционное зондирование Земли. Специальное приложение к журналу «Российский космос». – М. : Роскосмос, 2012. – 67 с.

Поступила в редакцию 30.09.2013

*Андрей Александрович Гусев, ведущий инженер-конструктор
т. (495) 623-41-08, e-mail: count_rochester@mail.ru.*

*Ирина Юрьевна Ильина, заместитель начальника научно-производственного комплекса,
т. (495) 623-57-74, e-mail: ntk.vniiem@bk.ru.*

Виктор Константинович Саульский, д-р техн. наук, главный специалист, т. (495) 623-57-74.

*Александр Львович Чуркин, канд. техн. наук, главный конструктор,
т. (495) 623-31-98, e-mail: vniiem@orc.ru.*