

МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ – НОВЫЕ СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Предпосылки создания малых космических аппаратов

Последние 10 – 15 лет ознаменовались интенсивным развитием методов исследования Земли с помощью космических средств наблюдения. Накопленный опыт интерпретации спутниковых измерений в интересах различных отраслей народного хозяйства и наук о Земле показывает, что наблюдения из космоса позволяют получать сведения о процессах, протекающих в атмосфере, океане и на поверхности суши. Следует отметить, что с помощью космических средств могут быть охвачены явления различных пространственно-временных масштабов – от планетарных до масштабов регионов и отдельных объектов; от длительного, в течение всего срока службы спутника, до разового наблюдения во времени. В этом существенное преимущество космических средств по сравнению с традиционными – наземными.

Другим важным преимуществом космических средств является оперативность поступления информации на центральные, региональные и частные станции приема и обработки информации. Мониторинговый режим работы космических средств позволяет получать информацию о природно-экологическом состоянии окружающего региона в режиме прямой съемки и передачи информации, что очень важно при решении задач, связанных с экологической обстановкой.

Таким образом космические средства получения информации становятся одним из важнейших инструментов изучения процессов, протекающих на поверхности Земли и в околоземном пространстве. Но этот инструмент является достаточно дорогостоящим и перед разработчиками космических систем, особенно в условиях экономического спада в России, стоит задача поиска путей минимизации расходов по их созданию. Решение этой проблемы лежит в нескольких направлениях.

Задачи ДЗЗ, решаемые с помощью космических средств, были сформулированы во многих работах специалистов различных об-

ластей народного хозяйства и науки. Они могут быть классифицированы по следующим тематическим направлениям:

- сельское хозяйство;
- климатология, контроль глобальных атмосферных изменений;
- поиск полезных ископаемых и энергоносителей;
- землепользование;
- наблюдение прибрежных зон и океанов;
- лесное хозяйство;
- контроль водных ресурсов;
- мониторинг чрезвычайных ситуаций.

Анализ задач ДЗЗ показывает, что:

- одни и те же решаемые задачи находятся в области интересов различных государственных и региональных ведомств (рис.1);

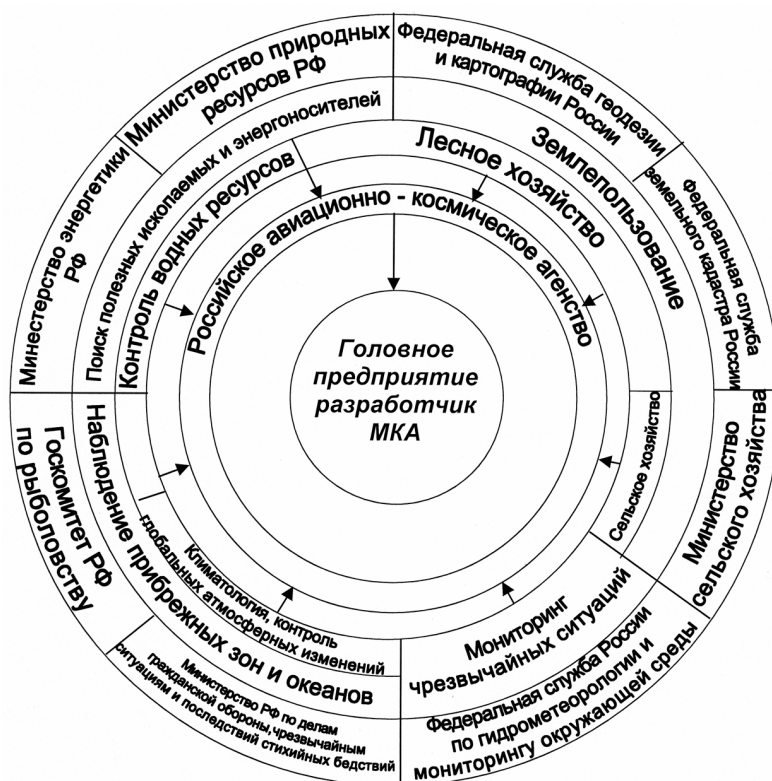


Рис. 1. Основные направления ДЗЗ

- различные задачи могут быть решены на базе одной и той же информации. При этом решение целевой задачи обеспечивается за счет тематической обработки.

Таким образом, возникает реальная возможность минимизировать количество модификаций КА за счет оптимизации состава их информационных комплексов и удовлетворить при этом практически всех потребителей информации ДЗЗ.

В России, после распада СССР, сложилась крайне тяжелая ситуация с ракетоносителями (РН), способными выводить большие космические аппараты на солнечно-синхронную орбиту (ССО). Наиболее надежной ракетой все последние годы считался РН «Зенит» разработки КБЮ (Украина). Но его высокая стоимость, проблемы с заказом поставили под угрозу все программы создания космических систем ДЗЗ, требующих ССО.

С другой стороны, наличие большой номенклатуры конверсионных ракет («Рокот», «Стрела», «Космос», «Днепр»), снимаемых с боевого дежурства, требующих минимальной доработки и способных выводить на ССО миниспутники (весом до 1000 кг) позволяет значительно снизить стоимость запуска КА.

Таким образом, возникает насущная необходимость создания космических аппаратов ДЗЗ класса «мини».

Бурный всплеск развития электронных средств, технологий, появление новых материалов позволяет сегодня значительно уменьшить массогабаритные и энергетические характеристики электронных систем, применяемых в космической технике. Постепенное понижение стоимости ЭРИ нового поколения лежит в основе создания относительно недорогих миниатюрных электронных систем космического применения.

Анализ целевых задач ДЗЗ, требований, предъявляемых научными информационными комплексами к служебным платформам, позволил прийти к выводу о возможности создания единой унифицированной служебной платформы для различных типов КА ДЗЗ. Такой подход предусматривает значительное снижение стоимости разработки и изготовления КА.

Анализ вышеизложенных направлений минимизации стоимости создаваемых космических систем ДЗЗ заставил коллектив разработчиков космической техники НПП ВНИИЭМ в 1999 г. начать инициативную работу по разработке ряда малых космических аппаратов (МКА) на базе унифицированной малогабаритной космической платформы (УМКП).

В основу разработки МКА была положена следующая концепция:

- создаются малые КА, вывод на орбиту которых обеспечивает-

ются относительно дешевыми (конверсионными) ракетами-носителями;

- основой всех типов КА является унифицированная малогабаритная космическая платформа, обеспечивающая точную трехосную ориентацию, программные повороты КА, достаточное электропитание и современное автоматическое управление полезной нагрузкой и служебными функциями;

- вся бортовая служебная и информационно-измерительная аппаратура создается в негерметичном исполнении;

- обеспечение надежности КА и длительной автономной работоспособности осуществляется как методами тщательной наземной отработки, так и выбором оптимальной структуры и характеристик бортовых средств управления;

- осуществляется максимально возможное совмещение радиоканалов для основной и служебной информации; при этом пункты управления космическими аппаратами совмещаются с пунктами (центрами) приема и обработки основной информации;

- при разработке КА, их служебных систем и полезных нагрузок в полной мере должны использоваться передовые технические и технологические решения, импортные и отечественные комплектующие элементы, позволяющие создавать миниатюрные массогабаритные бортовые устройства;

- наземные технические средства, служащие для приема и обработки полезной информации от малых КА, должны с максимальной преемственностью использовать малые, в том числе мобильные, станции и быть оборудованы современными вычислительными средствами, позволяющими оперативно выполнять первичную, а в крупных центрах также тематическую обработку спутниковой информации.

Унифицированная малогабаритная космическая платформа

Анализ возможных информационных комплексов МКА ДЗЗ позволил оптимизировать состав и технические характеристики унифицированной служебной платформы и явился основой для ее проектирования.

В табл. 1 приведены служебные системы УМКП.

Как видно из табл.1, многолетний опыт создания КА во ВНИИ-ЭМ, определивший его высокую самостоятельность и независимость от других фирм в части разработки бортовых служебных систем, позволил минимизировать кооперацию, что сегодня является залогом реализуемости проекта и минимизации его стоимости.

Таблица 1

Наименование системы	Разработчик
Бортовая управляющая система (БУС)	НПП ВНИИЭМ
Система ориентации и стабилизации (СО)	НПП ВНИИЭМ в кооперации с НИИЭМ
Система энергоснабжения (СЭС)	НПП ВНИИЭМ в кооперации с НПО «Квант» и НПО «Источник»
Командно-измерительная система (КИС)	НИИТП
Блок распределения питания (БРП)	НПП ВНИИЭМ
Система ориентации солнечных батарей (СОСБ)	НПП ВНИИЭМ
Корректирующая двигательная установка (КДУ)	ОКБ «Факел»
Аппаратура спутниковой навигации (АСН)	РНИИКП
Конструкция (включая кабельную сеть, антенно-фидерные устройства, системы отделения и раскрытия солнечных батарей)	НПП ВНИИЭМ
Система терморегулирования (СТР)	НПП ВНИИЭМ

Основные характеристики УМКП

Тип орбиты	круговая солнечно-синхронная
Высота орбиты	650 или 830 км
Коррекция орбиты	период, высота
Ориентация	на Землю относительно двух осей и по курсу КА
Программные повороты	по крену (вокруг оси «ОХ» КА)
Точность ориентации	не хуже $0,1^\circ$
Точность стабилизации	не хуже $5 \times 10^{-4} \text{ }^\circ/\text{с}$
Точность определения положения ЦМ КА на орбите	не хуже 30 м
Точность определения положения осей КА в звездной системе координат	не хуже $6''$
Среднесуточное энергопотребление полезной нагрузки	до 500 Вт
Сеансное энергопотребление полезной нагрузки	до 1500 Вт
Масса УМКП	$\leq 430 \text{ кг}$
Масса выводимой полезной нагрузки	$\leq 300 \text{ кг}$ (орбита 830 км); $\leq 400 \text{ кг}$ (орбита 650 км)
Управление	однопунктное
Срок активного существования	7 лет

Конструктивно-компоновочная схема УМКП

При выборе способа компоновки УМКП учитывались следующие основные положения:

- необходимость обеспечения возможности создания на основе УМКП перечисленных ниже 5 типов МКА с размещением приборов полезной нагрузки соответствующего состава;
- каждый МКА должен иметь суммарную массу, не превышающую возможности вывода на выбранные ССО конверсионными типами РН (850 и 800 кг для орбит высотой 650 и 830 км соответственно);
- компоновка МКА должна обеспечивать возможность его размещения в зоне полезного груза под головным обтекателем указанной РН с безопасными зазорами;
- целесообразно использовать негерметичный вариант компоновки, позволяющий существенно облегчить и упростить конструкцию МКА. При этом, однако, вопросы радиационной защиты, обеспечения необходимого температурного режима и т.п. отдельных систем необходимо решать с помощью индивидуального подхода к каждой аппаратуре;
- минимальный (не более 170 кг) собственный вес конструкции должен быть обеспечен при достаточных коэффициентах запаса по прочности;
- необходимо обеспечение требуемых углов обзора и точности привязки к строительным осям платформы датчиков информационной аппаратуры и системы ориентации;
- система раскрытия панелей солнечной батареи должна отвечать требованиям безопасности и надежности, а компоновка этих панелей – обеспечивать минимально возможный момент инерции на валу привода СОСБ для снижения массы и энергопотребления последнего;
- конфигурация УМКП должна быть выбрана таким образом, чтобы возмущающие моменты от светового и аэродинамического давления были минимальными с целью стабилизации орбитальных параметров, а моменты инерции МКА по всем осям были оптимизированы для облегчения задачи СО;
- конструкция УМКП должна обеспечивать удобство проведения монтажных, испытательных и отладочных наземных работ, не затрудняя доступ к приборам и кабельной сети;
- при размещении аппаратуры должно быть учтено условие минимизации протяженности кабельных связей для сокращения потерь в проводах и обеспечения электромагнитной совместимости аппаратуры МКА.

После проведенного анализа оптимальной конфигурацией несущей конструкции, отвечающей перечисленным выше требованиям, была признана негерметичная прямоугольная четырехгранная призма с размером 1200×1200 мм и высотой 1000 мм. Корпус собирается из четырех одинаковых панелей, которые представляют собой композицию из двух углепластиковых листов толщиной 0,8 мм и сотового алюминиевого заполнителя, включенного между ними. Аппаратура монтируется на внутренней стороне трех панелей (четвертая панель конструктивно замыкает силовую схему). Внешний вид демонтированных панелей УМКП с установленной на них служебной аппаратурой и платформа в сборе показаны на рис. 2.

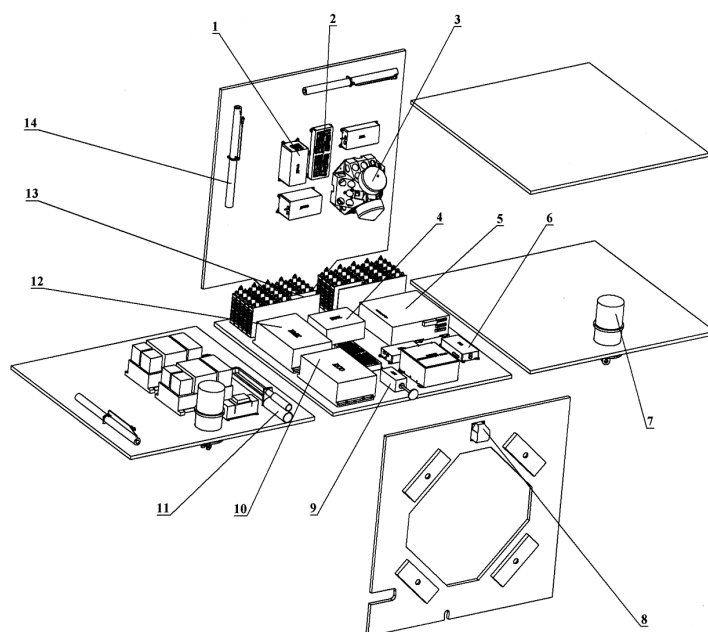


Рис. 2. Унифицированная малогабаритная космическая платформа:
1 - датчик угловых скоростей, **2** - блок кроссировочный, **3** - блок двигателей-маховиков, **4** - блок распределения питания, **5** - автомат питания, **6** - периферийный адаптер, **7** - привод солнечных батарей, **8** - датчик Солнца, **9** - аппаратура спутниковой навигации, **10** - компьютер системы ориентации, **11** - антенны командно-измерительной системы, **12** - бортовой многофункциональный компьютер, **13** - блок батарей аккумуляторных, **14** - катушка электромагнита

На торцевой плоскости призмы, расположенной по оси $+Z$ КА (направление в зенит), устанавливается панель, аналогичная по конструкции боковым панелям корпуса. На ней размещаются антенны КИС, АСН и механизмы «зачековки» панелей БС, а на внутренней стороне – четырехгранная пирамида с углом при вершине около 100° , на которой установлены четыре маховика системы ориентации.

Два привода системы ориентации солнечных батарей с траверсами для подвески панелей солнечных батарей (вращающихся вокруг оси OX аппарата) монтируются на боковых ($+X$ и $-X$) панелях корпуса со стороны его кормовой части ($+Z$).

На торцевой плоскости по оси $-Z$ КА к призме крепится ферменная конструкция, на которой размещаются датчик вертикали, антенны КИС, звездные и солнечный датчики, механизмы «зачековки» панелей солнечных батарей, стойка для антенн полезной нагрузки.

На той же торцевой ферме устанавливается специальная сменная панель с полезной нагрузкой, спроектированная с учетом особенностей той или иной конкретной аппаратуры. Блоки двигателей коррекции располагаются на внешней стороне боковых панелей призмы по осям $\pm X$ на расстоянии 200 – 500 мм от торца $-Z$. Поскольку положение блоков двигателей коррекции зависит от положения центра масс КА, место их крепления определяется для каждого конкретного типа КА.

Описанная выше универсальная малогабаритная космическая платформа легла в основу разработанного в рамках эскизных проектов и технических предложений ряда малых космических аппаратов ДЗЗ.

Малые космические аппараты ДЗЗ

Космический аппарат природоресурсного мониторинга «Ресурс-О2Д» предназначен для детального наблюдения подстилающей поверхности, оснащается оптико-электронной аппаратурой высокого и сверхвысокого разрешения и обеспечивает получение космической информации для решения природоресурсных задач. КА выводится на ССО средней высотой 650 км.

Внешний вид МКА представлен на рис.3.

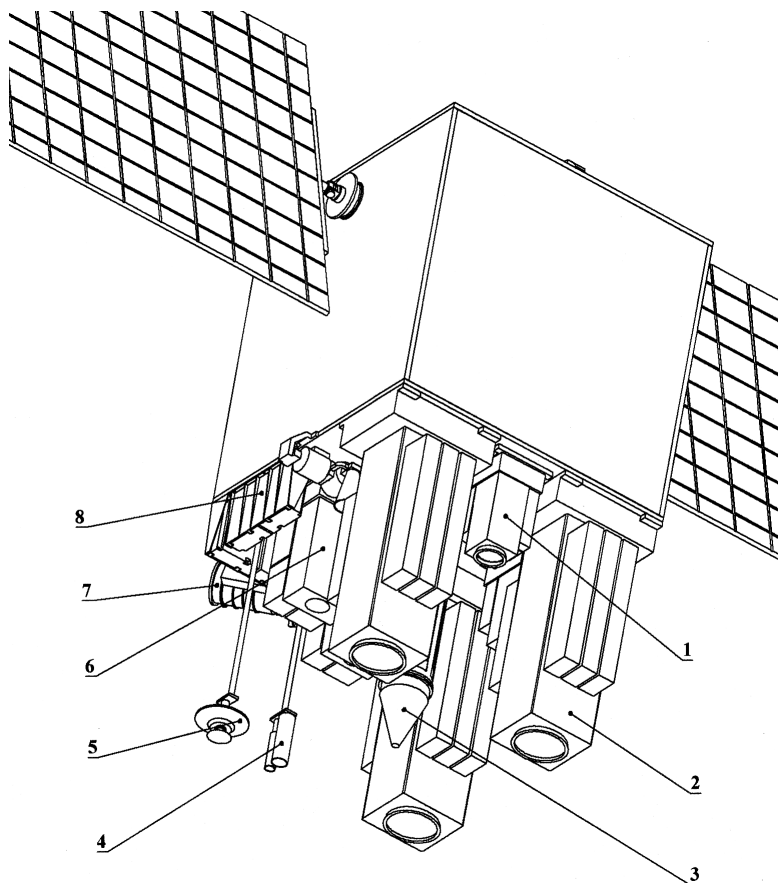


Рис. 3. МКА «Ресурс-О2Д»:

1 - МСАУ «Адаптон», 2 - СУ-ВР «Взор», 3 - построитель местной вертикали, 4 - антенны командно-измерительной системы, 5 - антенна БССПИ-ДН, 6 - видеоспектрометрическая аппаратура, 7 - блок определения координат звезд БОКЗ-М, 8 – передатчики

В табл. 2 приведены системы, входящие в состав бортового информационного комплекса (БИК) КА «Ресурс-О2Д».

Таблица 2

Аппаратура БИК-ДН	Основные характеристики	Количество, шт.
Сканирующее устройство сверхвысокого разрешения ВЗОР	Спектральный диапазон – 0,5 - 0,9 мкм Количество спектральных каналов – 4 Разрешение – 2 м в панхrome, 4 м в спектре Полоса захвата - 20 км	3
Многозональное сканирующее адаптивное устройство высокого разрешения АДАПТОН	Спектральный диапазон – 0,5-2,4 мкм Количество спектральных каналов – 6 Разрешение – 30 м Полоса захвата - 200 км	2
Видеоспектрометрическая аппаратура ВС	Спектральный диапазон – 0,4 - 1,0 мкм Количество спектральных каналов – 256 Разрешение – 30 м Полоса захвата - 30 км	2
Бортовая система сбора и передачи информации БССПИ-ДН	Количество независимых каналов – 2 Скорость передачи – 15,36; 61,44; 122,88 Мбит/с Емкость ДЗУ – 80 Гбайт	1

Для обеспечения полосы захвата 60 км при съемке со сверхвысоким разрешением на КА устанавливаются три комплекта аппаратуры ВЗОР (полоса захвата каждого из которых - 20 км). В обычном режиме работы (как панхроматическом, так и спектральнональном) линии визирования приборов ВЗОР ориентированы таким образом, что «сшивка» полос захвата трех приборов составляет общую полосу шириной 60 км.

Для обеспечения возможности получения стереоизображения за один сеанс съемки два из трех приборов ВЗОР и два прибора АДАПТОН устанавливаются на автоматизированной подвижной части общей сборочной плиты. При переходе в режим стереосъемки, подвижная часть плиты, двигаясь по специальным направляющим, перестраивает один из приборов ВЗОР и один - АДАПТОН под углом от местной вертикали по трассе в направлении полета, а вторую пару - под зеркальным углом против направления полета. В результате наложения их информации по результатам сеанса достигается эффект стереоизображения высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

Массоэнергетическая сводка КА «Ресурс-О2Д» приведена в табл.3.

Таблица 3

Аппаратура	Количество, шт.	Масса, кг	Энергопотребление, Вт	
			максимальное в сеансе	дежурное среднесуточное
УМКП	1	430	150	150
БССПИ-ДН	1	80	300	10
СУ-ВР ВЗОР	3	3 × 60	3 × 130	3 × 30
МСАУ-ВР АДАП-ТОН	2	2 × 20	2 × 150	2 × 30
ВС	2	2 × 35	180 (ВС№2 - х.р. - 30)	2 × 30
ИТОГО:		800	1350	370

Суммарная масса целевой оптико-электронной аппаратуры 290 кг, что составляет 36,25 % от массы КА.

Дежурное среднесуточное энергопотребление «Ресурс-О2Д» 370 Вт, потребление в максимально энергонасыщенном информационном сеансе 1350 Вт. Суммарное среднесуточное потребление «Ресурс-О2Д» в штатном режиме составляет около 450 ÷ 550 Вт.

Космический аппарат обзорного природоресурсного мониторинга «Ресурс-О2С» предназначается для продолжения эксплуатации оперативного космического комплекса оперативного природоресурсного мониторинга типа «Ресурс-О1» в целях наблюдения суши, водной поверхности и атмосферы в интересах социального и экономического развития страны. Внешний вид МКА представлен на рис.4.

В состав бортового информационного комплекса (БИК) КА «Ресурс-О2С» входят системы, приведенные в табл. 4.

БИК КА «Ресурс-О2С» по сравнению с предыдущей системой «Ресурс-О1»:

- сохраняет возможность сочетания (одновременной передачи) данных среднего и высокого разрешения (приборы МСУ-СКМ и МСУ-100 являются приемниками приборов МСУ-СК и МСУ-Э соответственно);
- сохраняет возможность работы в двух режимах: «мониторинга» и «по заказам»;
- существенно расширяет возможности работы в режиме мониторинга. Прибор МСУ-100 не требует наведения на конкретный

объект. В полосе обзора прибора МСУ-СКМ (600 км) прибор МСУ-100 имеет полосу обзора не менее 400 км без наведения, что позволяет существенно расширить круг региональных потребителей;

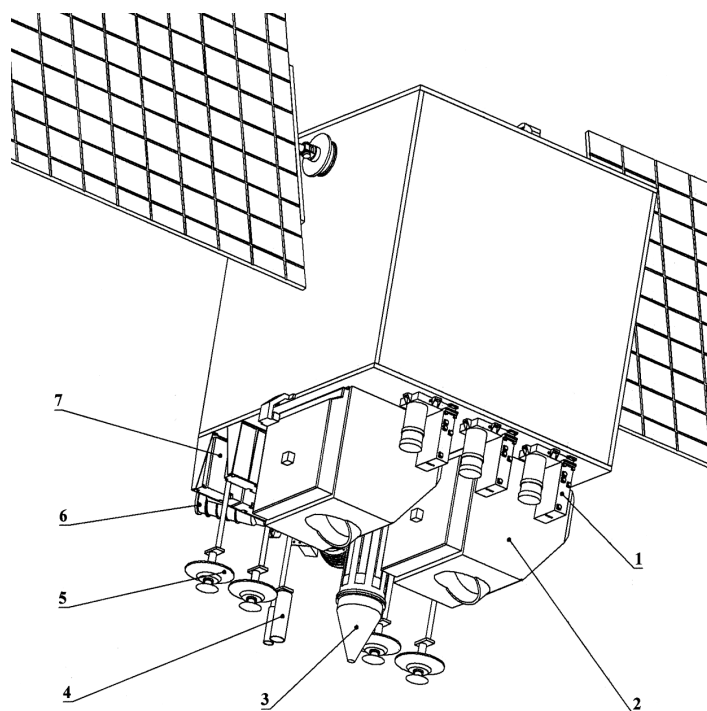


Рис. 4. МКА «Ресурс-О2С»:

1 - МСУ-100, 2 - МСУ-СКМ, 3 - построитель местной вертикали, 4 - антенны командно-измерительной системы, 5 - антенны БИС-СМ, 6 - блок определения координат звезд БОКЗ-М, 7 - передатчики

- предоставляет возможность формирования нескольких режимов мониторинга по выбору оператора космической системы:

- МСУ-СКМ и 1 камера МСУ-100;
- 2 камеры МСУ-100 без перекрытия (полоса обзора 800 км);
- 2 камеры МСУ-100 с частичным (200 км) перекрытием (общая полоса обзора 600 км, разрешение в полосе перекрытия 25 м).

Таблица 4

Аппаратура БИК	Основные характеристики	Количество, шт.
Многозональное сканирующее устройство среднего разрешения с конической разверткой МСУ-СКМ	Спектральный диапазон – 0,44 – 12,5 мкм Количество спектральных каналов – 6 Разрешение – 120 м Полоса обзора – 650 км	2
Многозональное сканирующее устройство высокого разрешения с линейной разверткой МСУ-100	Спектральный диапазон – 0,5 – 0,8 мкм Количество спектральных каналов – 3 Разрешение – 50 м Полоса обзора – 400 км	3
Бортовая информационная система сантиметрового диапазона с запоминающим устройством БИС-СМ	Диапазон частот радиопередающих устройств – 8,025 ÷ 8,400 ГГц Скорость непосредственной передачи – 15,36; 61,44 Мбит/с Скорость записи информации в ЗУ – 61,44 Мбит/с Объем памяти ЗУ – 100 Гбит Выходная мощность радиопередающего устройства – 10 Вт	1
Передачики диапазона 8,2 ГГц для работы в комплексе с МСУ-100	Выходная мощность – 10 Вт	3

- выбираются режимы мониторинга с учетом времени года (зима, лето) и регионов (Европейский, Сибирский, Дальневосточный);
 - обеспечивает независимую работу по заказу и в режиме мониторинга (на несущих частотах 8320 МГц – для «больших» ППИ; 8192 и 8062 МГц – для сети МСПИ).

Массоэнергетическая сводка КА «Ресурс-О2С» приведена в табл. 5.

Суммарная масса двух (мониторингового и «заказного») информационных комплексов составляет 187,5 кг, или 30,7 % от массы КА.

«Пиковое» энергопотребление КА «Ресурс-О2С» (829 Вт) соответствует режиму работы КА в максимально энергоемком совместном информационном сеансе двух подкомплексов БИК. С учетом реальных условий функционирования КА (сеансный режим работы), среднесуточное энергопотребление КА «Ресурс-О2С» не превышает 500 Вт.

Таблица 5

Аппаратура	Количество, шт.	Масса, кг	Максимальное энергопотребление в совместном информационном сеансе, Вт
УМКП	1	430	150
МСУ-100	3	4,5	11
		4,5	11
		4,5	холодный резерв
СМ-передатчик F1	2	4,5	85
		4,5	холодный резерв
СМ-передатчик F2	2	4,5	85
		4,5	холодный резерв
МСУ-СКМ	2	54	150
		54	150
БИС-СМ	1	48	187
ИТОГО:		617,5	829

Космический аппарат гидрометеорологического мониторинга Земли «Метеор-М». Предусматривается возможность непрерывной работы информационной полезной нагрузки как в режиме непосредственной передачи, так и с накоплением и периодическими передачами на Землю целевых данных. КА «Метеор-М» выводится на ССО высотой 830 км. Внешний вид МКА представлен на рис.5.

В табл. 6 приведены системы, входящие в состав бортового информационного комплекса (БИК) КА «Метеор-М».

БИК базируется на аппаратуре МТВЗА, ГЛОБУС, фурье-спектрометр ИКФС-2 и ССПД. Виды информации, поставляемые этими приборами, являются основными для гидрометеорологии.

Аппаратура МСГИ-5 и КГИ-4С составляет гелиогеофизический комплекс КА.

СВЧ-радиометр МТВЗА (модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы) предназначен для решения задач численных прогнозов путем измерений температурных и влажностных данных атмосферы по высоте, а также определения интегральных составляющих атмосферы и некоторых параметров подстилающей поверхности. С помощью регистрации и измерений излучения атмосферы и океана в микроволновой области спектра МТВЗА предоставляет информацию для определения температуры поверхности океана, скорости приводного ветра, интегральной влажности атмосферы и влагозапаса облаков.

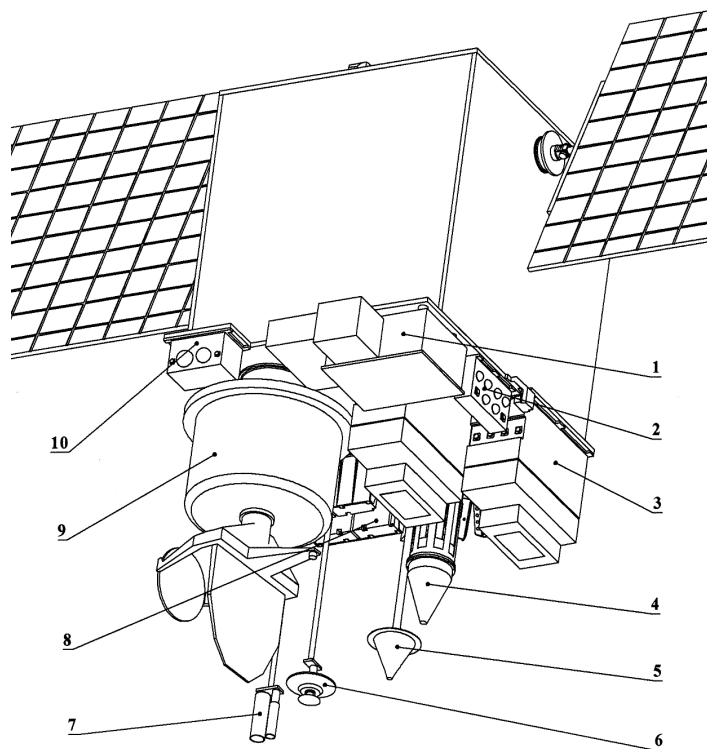


Рис. 5. МКА «Метеор-М»:

1 – фурье-спектрометр ИКФС-2, 2 - КГИ-4С-ГРАД, 3 - МСУ «Глобус», 4 - построитель местной вертикали, 5 - антенна БИС-ДМ, 6 - антенна БИС-СМ, 7 - антенны командно-измерительной системы, 8 – передатчики, 9 - МТВЗА, 10 - КГИ-4С-ДИСК

Многозональное сканирующее устройство ГЛОБУС с плоскостной разверткой предназначено для получения спектрозональной информации о динамике и метеопараметрах облачного, снежного и ледового покровов Земли при глобальном обзоре территории Земного шара два раза в сутки (при одном КА).

Для приема информации от автоматических платформ сбора данных (ПСД), ее обработки, хранения в ОЗУ и передачи на наземные станции в БИК-ГМО используется бортовой комплекс системы сбора и передачи данных (ССПД).

Таблица 6

Аппаратура	Основные характеристики	Количество, шт.
СВЧ-радиометр МТВЗА	Диапазон частот – $18,7 \div 183,31$ ГГц Количество каналов – 26 шт. Горизонтальное пространственное разрешение – $9 \div 50$ км Полоса обзора – 2800 км	1
Сканирующее устройство ГЛОБУС	Полоса обзора – 2900 км Пространственное разрешение – 1000 м Спектральный диапазон $0,5 \div 12,6$ мкм Количество спектральных каналов – 6 шт.	2
Бортовой комплекс ССПД	Диапазон частот приемного устройства – $401 \div 403$ МГц Количество одновременно обслуживаемых платформ – 150 шт. Объем информации от одной платформы за один сеанс – 0,5 кбит Объем ЗУ – 2 Мбит	1
Фурье-спектрометр ИКФС-2	Спектральный диапазон – $5 \div 15$ мкм Спектральное разрешение – $0,5 \text{ см}^{-1}$ Полоса обзора – 2500 км Пространственное разрешение – 147 км	1
Спектрометр МСГИ-5	Количество каналов – 4 Энергетический диапазон – $0,1 \div 15,9$ кэВ Динамический диапазон – $103 \div 1010 \text{ см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср. кэВ}$	1
Детектор космического излучения КГИ-4С	Количество каналов – 7	1
Информационная система БИС-СМ	Диапазон частот радиопередающих устройств – $8,025 \div 8,400$ ГГц Скорость непосредственной передачи – $15,36; 61,44$ Мбит/с Скорость записи информации в ЗУ – 61,44 Мбит/с Объем памяти ЗУ – 100 Гбит Выходная мощность радиопередающего устройства – 10 Вт	1
Информационная система БИС-ДМ	Диапазон частот радиопередающих устройств – $1,69 \div 1,71$ ГГц Скорость непосредственной передачи – 0,67 Мбит/с Скорость записи информации в ЗУ – 0,67 Мбит/с Объем памяти ЗУ – 10 Гбит Выходная мощность радиопередающего устройства – 5 Вт	1

Основной задачей бортового фурье-спектрометра ИКФС-2 является получение спектральных характеристик инфракрасного излучения системы «поверхность-атмосфера» для определения вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы, температуры поверхности, а также для оценки составляющих радиационного баланса системы.

Кроме этого, с помощью данного прибора могут быть получены данные для определения вертикальных профилей озона в атмосфере и общего содержания в атмосфере таких газов, как CO_2 , NO_2 , HNO_3 , CH_4 , HF , HCL .

Спектрометр МСГИ-5 предназначен для исследования потоков низкоэнергетичных электронов ($0,1 \div 100$ кэВ) и ионов ($0,1 \div 15$ кэВ). Аппаратура работает в режиме диагностики или изучения пространственно-временных вариаций в период гелиогеомагнитных возмущений.

Аппаратура радиационного контроля КГИ-4С состоит из двух приборов:

- блок газоразрядных детекторов КГИ-4С-ГРАД;
- детектор солнечного космического излучения КГИ-4С-ДИСК.

Блок газоразрядных детекторов КГИ-4С-ГРАД предназначен для регистрации суммарной плотности потоков протонов и электронов. Детекторами излучения являются счетчики Гейгера-Мюллера.

Детектор КГИ-4С-ДИСК предназначен для регистрации плотности потоков протонов с отстройкой от фона электронов.

БИС-ГМО предназначена для сбора информации от бортовой целевой аппаратуры в цифровой структуре, накопления ее в бортовом запоминающем устройстве, запоминания и передачи потоков информации по соответствующим радиолиниям. В обеих подсистемах (БИС-СМ и БИС-ДМ) используются энергонезависимые дисковые запоминающие устройства, с высоким отношением «объем информации/масса» и малым энергопотреблением в режиме обращения.

Суммарная масса метеорологических приборов составляет 240 кг, или 32,3 % от массы КА. Пиковое энергопотребление КА - 793 Вт, среднесуточное - около 650 Вт.

Массоэнергетическая сводка КА «Метеор-М» приведена в табл. 7.

Таблица 7

Аппаратура	Количество	Масса, кг	Максимальное энергопотребление в сеансе, Вт
УМКП	1	430	150
БИС-ДМ	1	34,4	107
БИС-СМ	1	39	187
МТВЗА	1	80	80
ГЛОБУС	2	2 × 35	100
ССПД	1	28,6	29
ИКФС-2	1	46	125
Гелиогеокомплекс	1	20	15
ИТОГО:		748	793

Космический аппарат радиолокационного наблюдения «Ресурс-РЛ» предназначен для круглосуточного всепогодного оперативного наблюдения за участками земной поверхности (суши и моря), накопления на борту полученной информации и передачи ее на наземные пункты в обработанном или необработанном виде. КА выводится на ССО высотой 690 км.

Внешний вид МКА представлен на рис. 6.

Состав бортового информационного комплекса КА «Ресурс-РЛ» приведен в табл. 8.

Радиолокатор с синтезированной апертурой предназначен для обеспечения круглогодичной ледовой разведки и гляциологии по ледяным покровам, типизации и динамике льдов, гидрологии и определению влажности почв.

Таблица 8

Аппаратура БИК	Основные характеристики	Количество, шт.
1	2	3
Радиолокатор с синтезированной апертурой РСА	Длина волны – 3,57 см Зона обзора – 450 км Разрешающая способность – 1000 м / 250 м Средняя мощность излучения – 30 Вт/50 Вт Тип антенны – волноводно-щелевая Размер антенны – 6,0х1,0 м	1
Сканирующее устройство ГЛОБУС	Полоса обзора - 2900 км Пространственное разрешение - 1000 м Спектральный диапазон 0,5 ÷ 12,6 мкм Количество спектральных каналов - 6 шт.	2

1	2	3
СВЧ-радиометр МТВЗА	Диапазон частот – 18,7 ÷ 183,31 ГГц Количество каналов – 26 шт. Горизонтальное пространственное разрешение – 9 ÷ 50 км Полоса обзора – 2800 км	1
Бортовой комплекс ССПД	Диапазон частот приемного устройства – 401 ÷ 403 МГц Количество одновременно обслуживаемых платформ – 150 шт. Объем информации от одной платформы за один сеанс – 0,5 кбит Объем ЗУ – 2 Мбит	1
Бортовая информационная система сантиметрового диапазона с запоем устройством БИС-СМ	Диапазон частот радиопередающих устройств – 8,025 ÷ 8,400 ГГц Скорость непосредственной передачи – 15,36; 61,44 Мбит/с Скорость записи информации в ЗУ – 61,44 Мбит/с Объем памяти ЗУ – 100 Гбит Выходная мощность радиопередающего устройства – 10 Вт	1

Остальные приборы информационного комплекса (МТВЗА и бортовой комплекс ССПД) повторяют состав МКА «Метеор-М».

Массоэнергетическая сводка КА «Ресурс-РЛ» приведена в табл. 9.

Таблица 9

Аппаратура	Количество	Масса, кг	Максимальное энергопотребление в сеансе, Вт
УМКП	1	430	150
РСА	1	150	500
БИС-СМ	1	39	187
МТВЗА	1	80	80
ГЛОБУС	2	2 × 35	100
ССПД	1	28,6	29
ИТОГО:		797,6	1046

Суммарная масса метеорологических приборов составляет 367,6 кг, или 46% от массы КА. Пиковое энергопотребление КА – 1046 Вт, среднесуточное – около 750 Вт.

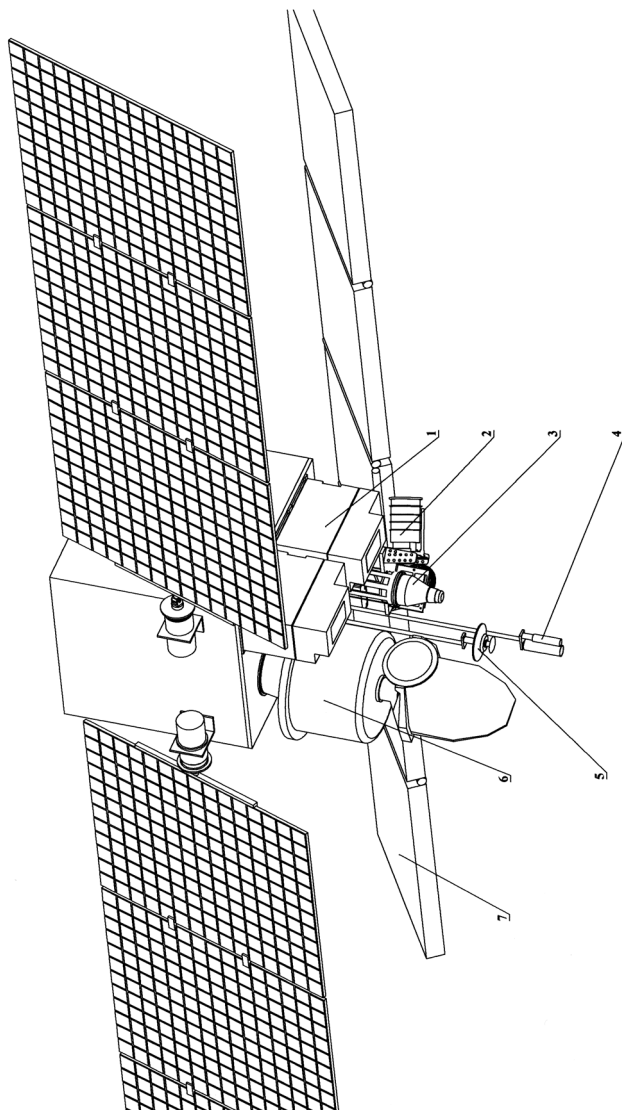


Рис. 6. МКА «Ресурс-РЛ»:

1 – МСУ «Глобус», 2 – блок определения координат звезд БОКЗ-М, 3 – построитель местной вертикали, 4 – антенны командно-измерительной системы, 5 – антенна БИС-СМ, 6 – МТВЗА, 7 – радиолокатор с синтезированной апертурой РСА

Геостационарный гидрометеорологический КА «Электро-М».

Геостационарные гидрометеорологические КА, эксплуатируемые на оперативной основе, являются подсистемой глобальной системы наблюдений в рамках Всемирной метеорологической организации – важного компонента Всемирной службы погоды.

КА «Электро-М» предназначен для оперативного получения в реальном масштабе времени изображений облачности, подстилающей поверхности, снежного и ледового покрова в пределах всего наблюдаемого диска Земли в видимом и инфракрасном диапазонах спектра электромагнитного излучения; получения данных о влагосодержании атмосферы и ее динамике; получения данных о температуре морской поверхности и верхней границе облаков; проведения радиационно-магнитометрических измерений на высоте орбиты спутника; передачи телевизионной информации высокого разрешения и радиационно-магнитометрической информации на главный пункт приема и обработки данных и региональные центры; сбора данных о гидрометеорологической обстановке от платформ сбора данных (ПСД), расположенных в зоне радиовидимости КА, ретрансляцию на Главный и региональные центры приема и обработки данных, на автономные пункты приема информации; обмена факсимильной и буквенно-цифровой информацией между Главным и региональными центрами приема и обработки данных; ретрансляции факсимильной информации на территориальные центры и автономные пункты приема информации. Внешний вид КА представлен на рис.7.

В состав бортового информационного комплекса КА «Электро-М» входят системы, приведенные в табл. 10.

Многоканальный телевизионный сканирующий радиометр ТРС предназначен для получения телевизионных изображений диска Земли в видимом и инфракрасном диапазонах спектра с геосинхронных орбит.

Радиационно-магнитометрическая система РМС предназначена для непрерывного измерения интенсивности излучения Солнца в рентгеновском и УФ диапазонах спектра, плотности потоков электронов и протонов, вариации магнитного поля Земли.

Бортовой радиотехнический комплекс БРК предназначен для сбора с наземных платформ сбора данных и передачи в центр приема и обработки научной информации, а также для передачи информации бортовых информационных систем.

Массоэнергетическая сводка КА «Электро-М», приведена в табл. 11.

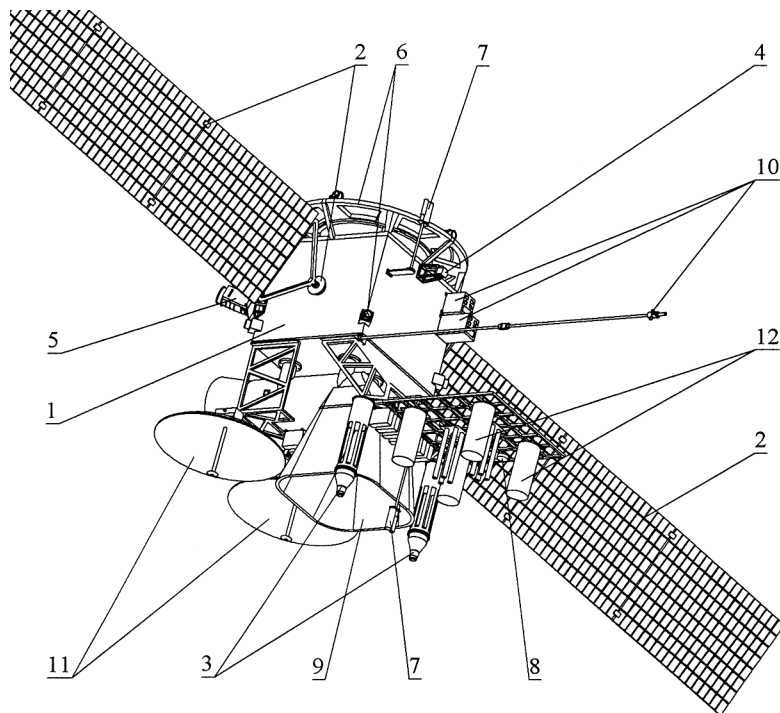


Рис. 7. МКА «Электро-М»:

1 - блок служебной аппаратуры (УМКП-800), **2** - солнечные батареи с системой их ориентации, **3** - датчики вертикали, **4** - датчики Солнца, **5** - звездные датчики, **6** - система двигателей коррекции и разгрузки, **7** - аппаратура командно-измерительной системы, **8** - аппаратура спутниковой навигации. Полезная нагрузка: **9** - телевизионный сканирующий радиометр, **10** - радиационно-магнитометрическая система. Бортовой радиотехнический комплекс: **11** - остронаправленные антенны, **12** - антенное полотно с направленными антеннами

В основе КА «Электро-М» лежит унифицированная космическая платформа УМКП, модифицированная для обеспечения работы информационного комплекса на геостационарной орбите. В ее состав введена система коррекции и разгрузки, установлена другая модификация построителя местной вертикали, рассчитанная на высоту 36 тыс. км, изменена конструкция солнечных батарей. МКА «Электро-М» может быть выведен как на геостационарную, так и

на геосинхронную орбиту без принципиальных доработок служебной платформы.

Таблица 10

Аппаратура БИК	Основные характеристики	Количество, шт.
Многоканальный телевизионный сканирующий радиометр ТРС	Количество спектральных каналов - 5 Спектральные границы каналов: 0,55-0,75; 3,8-4,0; 6,5-7,0; 10,3-11,3; 11,5-12,5 мкм Разрешение - 1 км (1 к); 4 км (2,4,5 к); 8 км (3 к) Диапазон измеряемых температур – 220-320 К	1
Радиационно-магнитометрическая система РМС	Интенсивность излучения Солнца в рентгеновском диапазоне 3 ÷ 8 кэВ Интенсивность излучения Солнца в ультрафиолетовом диапазоне 121,6 нм	1
Бортовой радиотехнический комплекс БРК	Частота приема – 0,4 и 8,2 ГГц Частота передачи – 1,7 и 7,5 ГГц Скорость приема – 1200 бит/с Скорость передачи – 64 кбит/с и 2,56 Мбит/с	1

Таблица 11

Аппаратура	Количество, шт.	Масса, кг	Максимальное энергопотребление в сеансе, Вт
УМКП	1	510	190
ТРС	1	270	300
РМС	1	22	23
БРК	1	45	240
ИТОГО:		847	900

Заключение

Предлагаемый ряд малых КА, состоящий из двух гидрометеорологических спутников и двух природоресурсных спутников на низких орбитах и двух гидрометеорологических спутников на геостационарной и геосинхронной орбитах, фактически образует космическую систему (рис. 8), способную решать подавляющее большинство задач ДЗЗ (исключение составляют задачи, требующие разрешения лучше 2 м). Информационные комплексы метеорологиче-

ских МКА частично повторяются, что позволяет обеспечить получение метеоинформации в основные синоптические сроки.

Все МКА построены на базе унифицированной малой космической платформы УМКП, что позволяет значительно минимизировать расходы при создании спутника на всех этапах, начиная с проектирования и заканчивая испытаниями.

МКА могут быть выведены на солнечно-синхронную орбиту дешевыми конверсионными ракетами, снимаемыми с боевого дежурства и требующими минимальной доработки, что определяет их сравнительно невысокую стоимость. Вывод на геостационарную и геосинхронную орбиту одновременно двух спутников может быть обеспечен РН «Протон» с разгонным блоком ДМ.

Все эти преимущества являются залогом успеха, для достижения которого необходимо сделать первый шаг – создать и отработать унифицированную малогабаритную космическую платформу. В этом направлении уже начаты работы. Созданы первые технологические образцы бортового вычислительного комплекса, датчиков и исполнительных элементов системы ориентации корпуса и системы ориентации солнечных батарей, новых малоразмерных камер информационного комплекса. Задачи ближайшего времени – сборка и отработка технологического образца служебной платформы.

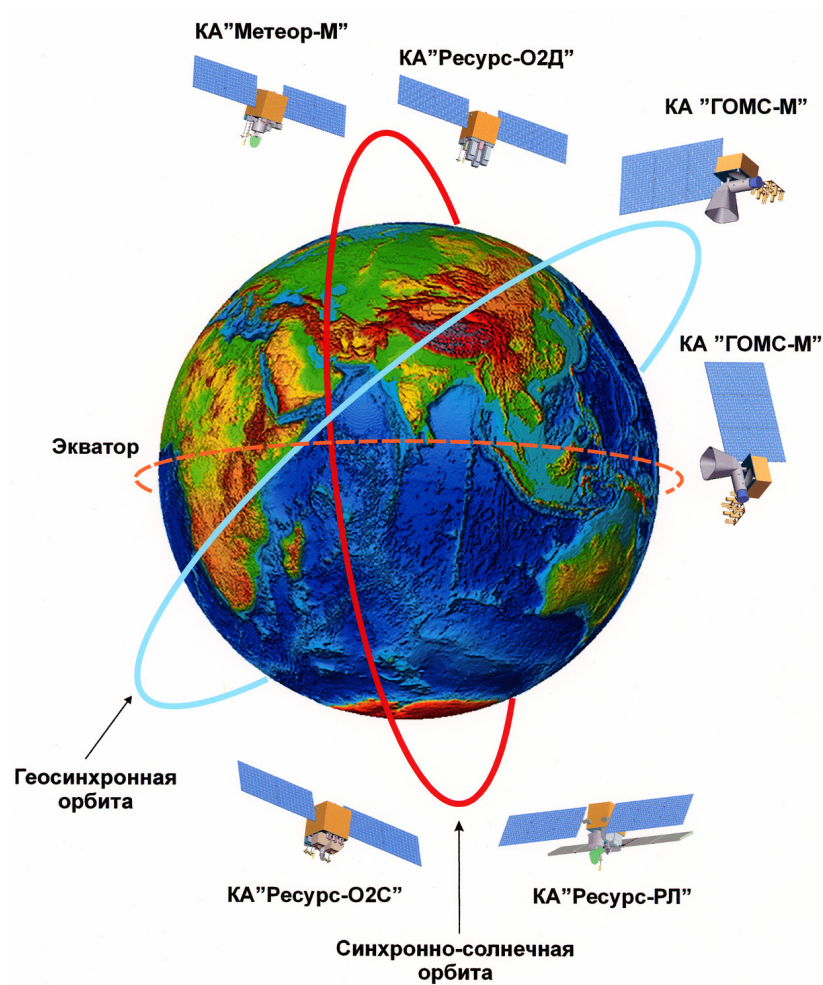


Рис. 8. Космическая система ДЗЗ