

КОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «МЕТЕОР-3М» С КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ «МЕТЕОР-М»

Одним из основных направлений дистанционного зондирования Земли из космоса в настоящее время является прогнозирование гидрометеорологических явлений, изучение глобальных изменений земного климата, мониторинг последствий природных катаклизмов и техногенных катастроф. С целью получения своевременных и достоверных данных создаются и выводятся в космос космические аппараты дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ), оснащенные информационной аппаратурой, обеспечивающей получение информации о состоянии окружающей среды, составе облаков, температуре земной поверхности и атмосферы, площадях и местонахождении ледовых покрытий, влажности атмосферы, потоках фотонов и электронов в атмосфере Земли.

В связи с преждевременным выходом из строя КА «Метеор-3М» №1, в последние годы в нашей стране сложилась сложная ситуация с орбитальной группировкой гидрометеорологических космических аппаратов ДЗЗ. Вследствие этого актуальной проблемой стало развитие гидрометеорологических средств ДЗЗ с целью более полного удовлетворения потребителей космической информации.

Федеральной космической программой России до 2015 года (ФКП-2015) предусмотрено создание космического комплекса гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с КА «Метеор-М» (рис. 1) и геостационарного КА метеорологического назначения «Электро-Л» (головной разработчик ФГУП «НПО им. С.А.Лавочкина»), которые по основным технико-информационным показателям будут соответствовать лучшим зарубежным аналогам.

Общий анализ перспектив мирового развития космических технологий в области ДЗЗ выявил следующие тенденции:

Общий анализ перспектив мирового развития космических технологий в области ДЗЗ выявил следующие тенденции:

- расширение круга целевых задач, решаемых потребителями на основе многоспектральной информации, получаемой с КА ДЗЗ;
- значительный прогресс в улучшении качества информации геометрического разрешения, радиометрической точности, оперативности (периодичности) получения информации, возможности одновременного получения информации во многих спектральных диапазонах и, как следствие, значительного увеличения общей скорости передачи информации (информативности) с КА.

Необходимо также отметить, что КА метеорологического назначения несут на себе многофункциональные бортовые информационные комплексы и, как следствие, отличаются большой массой.



Рис.1. Состав космического комплекса «Метеор-3М»

В результате эскизной проработки принята концепция поэтапного создания КА гидрометеорологического назначения четвертого поколения. На первом этапе в соответствии с согласованным тактико-техническим заданием создается КА «Метеор-М» №1 на базе унифицированной космической платформы «Ресурс-УКП» и КА «Метеор-М» №2, в основном повторяющий по своим характеристикам КА «Метеор-М» №1. В соответствии с ФКП-2015 сроки запуска космических аппаратов 2008 и 2010 годы.

На втором этапе предполагается создание КА «Метеор-М» №3 на базе усовершенствованной космической платформы негерметичного исполнения. При этом КА «Метеор-М» №3 будет иметь несколько отличное от предыдущих КА назначение – он будет нести информационный комплекс океанографического назначения.

Многоцелевой КА нового поколения «Метеор-М» №1 на основе платформы «Ресурс-УКП»

Космический аппарат «Метеор-М» №1 (рис.2) предназначен для получения космической информации ДЗЗ в интересах оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды, в том числе околоземного космического пространства (ОКП).

Основное назначение КА «Метеор-М» №1:

– получение многозональных изображений, вклю-

чая радиолокационные, и данных измерений уходящего излучения системы «земная поверхность – атмосфера» в различных диапазонах энергетического спектра при глобальном и региональном наблюдении;

– получение гелиогеофизической информации о состоянии ОКП;

– сбор и передача информации от автоматических измерительных платформ сбора данных различных типов (наземных, ледовых, дрейфующих), размещаемых в любых, в том числе полярных, районах Земли;

– гидрометеорологическое обеспечение судоходства по трассе Севморпути, включая мониторинг ледовой обстановки;

– получение многоспектральной и широкополосной информации среднего разрешения для оперативного экологического мониторинга окружающей среды.

Информация, получаемая от КА, обеспечивает подразделения Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также другие ведомства оперативной гидрометеорологической информацией для решения следующих задач:

– анализа и прогноза погоды в региональном и глобальном масштабах, состояния акватории мо-

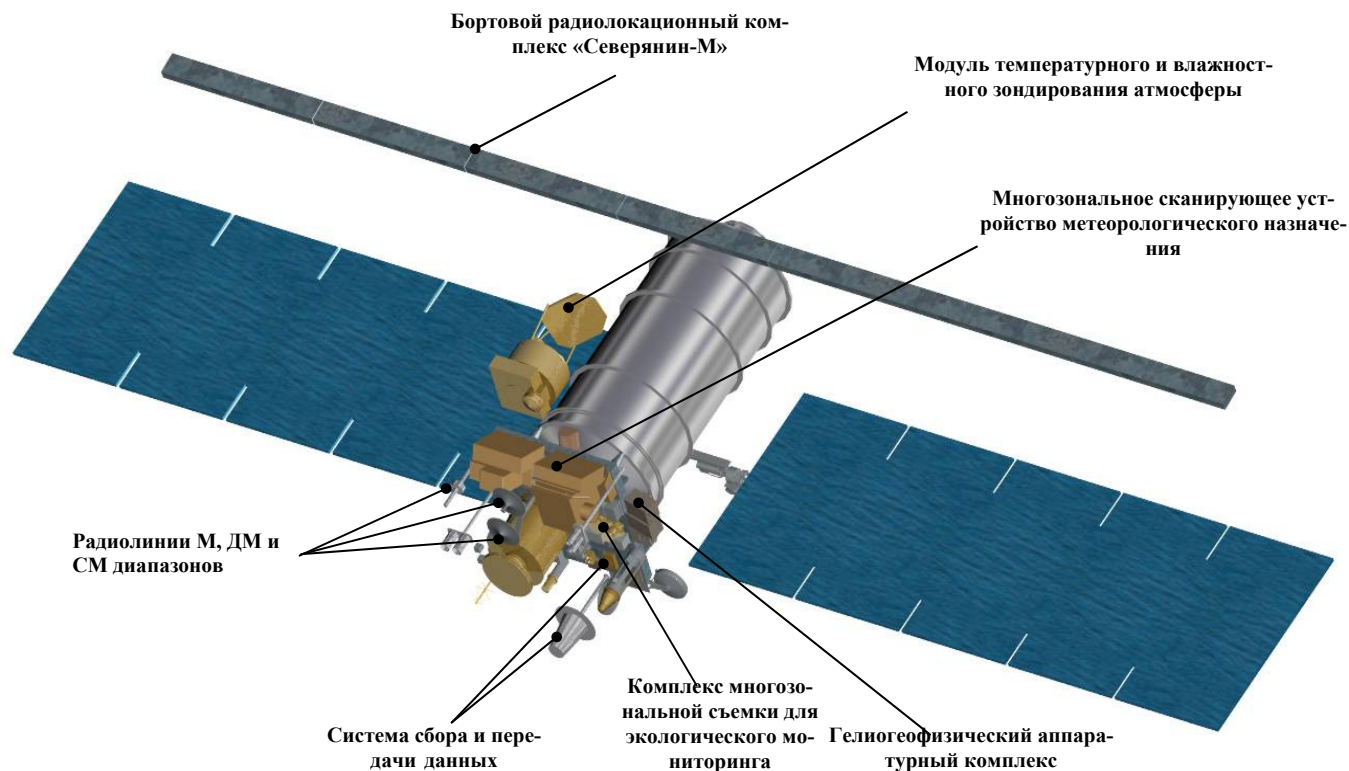


Рис.2. Космический аппарат «Метеор-М» №1

рей и океанов, условий для полета авиации и гелиогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве, состояния ионосферы и магнитного поля Земли;

- мониторинга климата и его глобальных изменений;
- контроля чрезвычайных ситуаций и экологии окружающей среды.

С помощью КА «Метеор-М» №1 для решения перечисленных выше задач выполняются:

- глобальная съемка освещенной и теневой стороны Земли в видимом диапазоне спектра, в инфракрасном и микроволновом диапазонах;
- локальная съемка радиолокационными средствами и многозональным съемочным комплексом;
- получение глобальной информации о потоках ионизирующего излучения на высоте орбиты КА;
- получение данных температурно-влажностного зондирования атмосферы и о малых газовых составляющих атмосферы, включая озон, а также о температуре подстилающей поверхности Земли;
- считывание информации с платформ сбора данных и передача ее на наземные пункты приема информации.

КА «Метеор-М» №1 имеет околокруговую солнечно-синхронную орбиту (ССО) со следующими параметрами:

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| – средняя высота ССО | 832 км; |
| – период обращения | 101,3 мин; |
| – наклонение | 98,770°; |
| – эксцентриситет | $1,15 \times 10^{-3}$; |
| – аргумент перигея | 66,5 град. |

Масса КА «Метеор-М» №1 – 2700 кг, масса полезной нагрузки – 1200 кг.

Для выведения КА на ССО планируется использовать ракету-носитель (РН) «Союз-2» этапа 1б и РБ «Фрегат» с новым головным обтекателем.

Масса КА, выводимая этим комплексом на ССО высотой 830 км, может составлять до 4000 кг. Выведение КА «Метеор-М» на орбиту будет выполняться с космодрома «Байконур».

Служебный модуль КА «Метеор-М» №1 (рис.3) конструктивно состоит из гермоотсека, контейнера системы ориентации (СОК), солнечных батарей с приводами и включает в себя две системы энергоснабжения, систему ориентации, систему ориентации солнечных батарей, систему терморегулирования, программно-временное устройство, командно-измерительную систему, бортовую аппаратуру телеметрических измерений, бортовой стандарт вре-

мени и частоты и бортовой коммутационный автомат.

Бортовой коммутационный автомат (БКА) представляет собой систему распределения коммутируемых стволов питания с устройствами защиты по току и выдачи команд служебным и информационным системам КА, управляемую командно-измерительной системой (КИС) и программно-временным устройством (ПВУ). В отличие от предыдущих КА БКА реализован с использованием микропроцессорной техники.

БКА имеет распределенную структуру с радиальными информационными связями между ядром – центральным блоком, осуществляющим прием и дешифрацию команд из КИС и ПВУ, и 12-ю периферийными блоками – исполнителями команд.

Срок активного существования КА «Метеор-М» №1 – 5 лет (в дальнейшем планируется его увеличение до 7 лет). В течение гарантийного срока активного существования КА на орбите космическая платформа «Ресурс-УКП» обеспечивает:

- постоянную трехосную ориентацию на Землю и по курсу, имеется также вспомогательный энергетический режим: трехосная ориентация Земля – Солнце;
- точность ориентации КА в орбитальной системе координат со среднеквадратичной погрешностью: по крену и тангажу не более 10 угл.мин, по рысканью не более 15 угл.мин;
- стабилизацию углового положения КА с угловой скоростью не более 5×10^{-4} °/с по всем осям;
- определение параметров движения ЦМ с погрешностью по местоположению не более 30 м и по орбитальной скорости не более 5 см/с;
- определение положения осей КА с погрешностью не более 6". Точность временной привязки положения осей КА – не хуже 1 мс;
- необходимое среднесуточное (до 1,4 кВт) и максимальное сеансное (до 2,5 кВт) энергообеспечение.

На данной орбите и с параметрами информационной аппаратуры, представленными далее, одна из важнейших характеристик метеорологического КА – период обновления гидрометеорологических данных – составляет 12 часов.

Бортовой информационный комплекс (БИК) предназначен для получения информации в целях решения задач гидрометеорологического обеспечения (ГМО), мониторинга климата и окружающей среды, контроля гелиогеофизической обстановки в ОКП, а также сбора данных с автоматических измерительных платформ сбора данных.

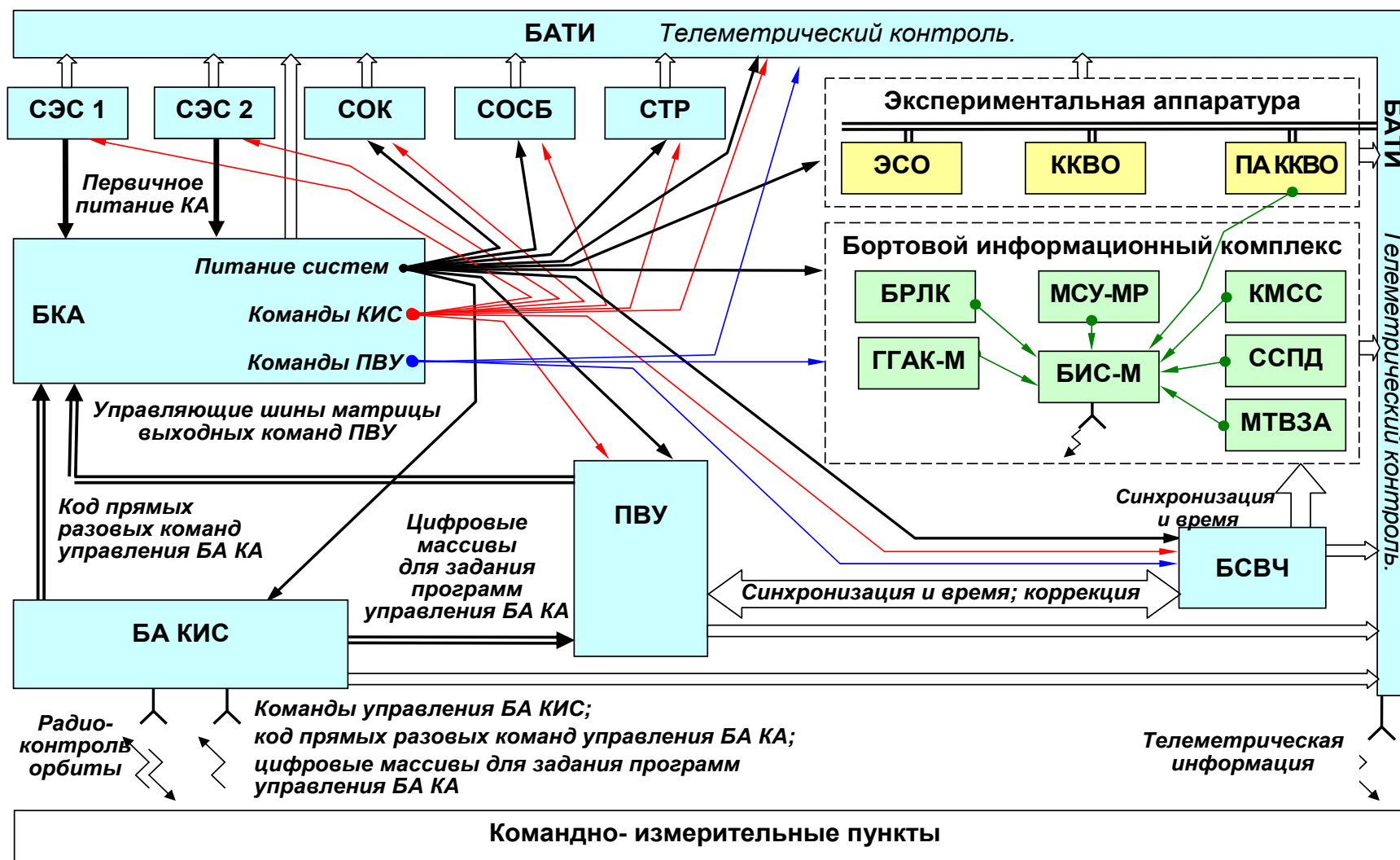


Рис.3. Структурная схема КА «Метеор-М» №1

В состав БИК КА «Метеор-М» №1 входят нижеперечисленные устройства.

Бортовой радиолокационный комплекс (БРЛК) (рис. 4) предназначен для всепогодного и независимого от естественной освещенности дистанционного зондирования Земли в сантиметровом диапазоне радиоволн с целью мониторинга ледового и снежного покровов, состояния гидрологических объектов, а также суши и растительности.



Рис.4. Летный образец радиотехнического контейнера КР-РКА перед упаковкой

БРЛК имеет приемопередающее устройство с вертикальной поляризацией излучаемого сигнала.

Несущая частота зондирующего сигнала, МГц	9623,125±1,25
Ширина полосы съемки, км	600
Минимальный/максимальный угол съемки (от вертикали), град	32/48
Линейное разрешение в режиме среднего разрешения, м	400 – 500
Линейное разрешение в режиме низкого (малого) разрешения, м	700 – 1000
Скорость потока информации на выходе БРЛК, Мбит/с	10

Многозональное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-МР) (рис.5) предназначено для широкозахватной трассовой съемки облачного покрова и подстилающей поверхности (в том числе ледового покрова). Спектральный диапазон 0,5 – 12,5 мкм; 6 каналов; пространственное разрешение 1 км; полоса обзора 2800 км. Геометрия сканирования – плоскостная; угол сканирования 108° (±54°). Угловое разрешение аппаратуры во всех спектральных каналах – 1,2+0,2 мрад; пространственное разрешение (размер проекции пиксела на Землю при съемке с высоты 832 км в надире) – <1,0 км.

В БИК КА «Метеор-М» №1 входит нижеперечисленная аппаратура оперативного мониторинга.

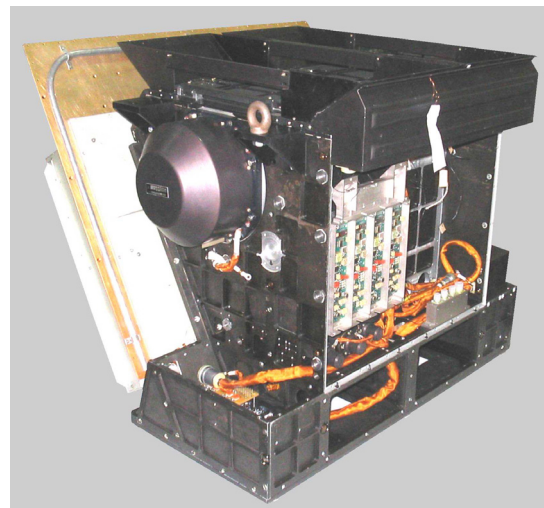


Рис.5. Многозональное сканирующее устройство МСУ-МР (комплект для наземной экспериментальной отработки)

Комплекс многозональной спектральной съемки (КМСС) (рис.6) среднего разрешения предназначен для получения многозональных изображений подстилающей поверхности.



Рис.6. Комплекс многозональной спектральной съемки (КМСС)

КМСС состоит из трех камер, две из которых с фокусным расстоянием 100 мм, а третья 50 мм; их параметры приведены через запятую.

Полоса обзора, км	450, 900
Угол поля зрения, град	31, 62
Разрешающая способность, м	50, 100
Количество спектральных каналов	6
Номинальный спектральный диапазон на уровне 0,5, мкм	
для разрешения 50 м	0,535 – 0,900
для разрешения 100 м	0,37 – 0,69
Информационный поток в одном частотном канале, Мбит/с	9,8
Общий информационный поток, Мбит/с	
при работе одной камеры	~ 30
при работе двух камер	~ 60

Модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА) (микроволновой радиометр) (рис.7) предназначен для температурного и влажностного зондирования атмосферы в СВЧ-диапазоне и имеет следующие основные технические характеристики: спектральный диапазон 18,7 – 183,31 ГГц; количество каналов - 29; пространственное разрешение горизонтальное 10-100 км, вертикальное 4-5 км; полоса обзора 1200 км; чувствительность в элементе разрешения – 0,5К.



Рис.7. Модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА-ГЯ)

Гелиогеофизический аппаратный комплекс (ГГАК-М) объединяет следующие датчики:

- многоканальный спектрометр геоактивных корпускулярных излучений (МСГИ-МКА);
- спектрометр солнечных космических лучей (СКЛ-М);
- детектор галактических космических лучей (ГАЛС-М-4);
- детектор потока протонов и электронов (ГАЛС-М-С);
- радиочастотный масс-спектрометр (РИМС-М);
- измеритель коротковолновой радиации (ИКОР-М).

ГГАК-М предназначен для глобального мониторинга гелиогеофизических параметров с целью:

- контроля и прогноза радиационной обстановки в ОКП и состояния магнитного поля;
- контроля и прогноза состояния ионосферы и условий распространения радиоволн;

- диагностики и контроля состояния естественных и модифицированных магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы.

Комплекс ГГАК-М обеспечивает измерение дифференциальных спектров в диапазоне 0,05-20 кэВ; плотности потоков частиц в диапазоне от 30 кэВ (6 каналов); ионного состава в диапазоне 1-20 а.е.м. (2 канала); отраженной радиации в диапазоне 0,2-4 мкм.

Бортовой радиокомплекс системы сбора и передачи данных (БРК ССПД) (рис.8), предназначенный для получения гидрометеорологических данных от автоматических измерительных пунктов (АИП), должен обеспечить:

- прием информации в диапазоне частот 401,9-



Рис.8. Бортовой радиокомплекс системы сбора и передачи данных (БРК ССПД)

402,0 МГц одновременно от 150 АИП, находящихся в зоне радиовидимости КА, при общем числе обслуживаемых АИП до 1200;

- обработку на борту сигналов с частотно-временным разделением, включая демодуляцию, предварительную обработку, запоминание и передачу информации в аппаратуру БИС-М;
- скорость передачи данных в канале 400 бит/с, общий объем запоминаемых данных за 12 часов до 300 кбайт;
- точность измерения доплеровского сдвига частоты АИП не хуже 0,3 Гц (СКО), что обеспечивает при решении навигационной задачи наземными средствами точность определения координат АИП не хуже 3,6 км (СКО);
- непрерывную передачу информации из кольцевого ОЗУ через передающее устройство БИС-М в диапазоне 1690-1710 МГц на наземную аппаратуру приема информации.

Бортовая информационная система (БИС-М) (рис.9) предназначена для сбора, хранения и передачи на Землю данных от целевой аппаратуры КА.

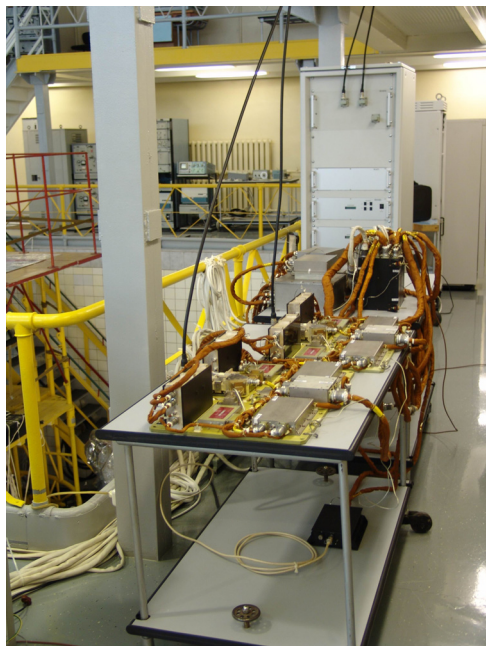


Рис.9. Бортовая информационная система БИС-М

Радиолиния см-диапазона

диапазон частот, МГц	8025 – 8400
номинал несущей частоты, МГц	8192(прд1), 8320(прд2)
скорости передачи данных, Мбит/с	15,36; 30,72; 61,44; 122,88
выходная мощность передающего устройства, Вт	10

Радиолиния дм-диапазона (формат HRPT)

диапазон частот, МГц	1690 – 1710
номинал несущей частоты, МГц	1700 (1705 - резерв)
скорость передачи информации, кбит/с	665,4
выходная мощность передающего устройства, Вт	5

Информационные потоки должны накапливаться в ДЗУ и ОЗУ со следующими параметрами:

- скорость записи в ОЗУ до 1,3 Мбит/с в течение 12-ти часов с последующим воспроизведением со скоростью от 15,36 до 122,88 Мбит/с по любой радиолинии СМ-диапазона;
- скорость записи/воспроизведения на ДЗУ 15,36 Мбит/с, 61,44 Мбит/с, 122,88 Мбит/с;
- время воспроизведения ДЗУ на любой скорости не более 12 мин в сеансном режиме работы;
- емкость накопителей: 60 Гбит ОЗУ и 100 Гбит ДЗУ.

Бортовая информационная система с радиолинией метрового диапазона (БИС-МВ)

Радиолиния м-диапазона (формат LRPT – Low Resolution Picture Transmission)

диапазон частот, МГц	137 – 138
полоса частот радиосигнала, кГц	150
транспортная скорость передачи информации, кбит/с	80
выходная мощность передающего устройства, Вт	6,5

Бортовой комплекс экспериментальной аппаратуры

С целью экспериментальной отработки в натуральных условиях на КА «Метеор-М» №1 устанавливаются новые служебные системы и приборы, которые планируется ввести в штатную эксплуатацию на следующих КА комплекса.

Комплекс координатно-временного обеспечения (ККВО). Информация ККВО предназначена для:

- географической координатной привязки данных, получаемых информационной аппаратурой КА;
- определения положения осей КА в орбитальной системе координат;
- определения параметров орбитального движения центра масс КА;
- синхронизации работы бортовой аппаратуры и коррекции бортового времени.

В состав ККВО входят аппаратура спутниковой навигации (АСН) и блок определения координат звезд (БОКЗ-М).

Определение с привязкой к всемирному координированному времени UTC положения осей звездных координаторов БОКЗ-М в инерциальной системе координат выполняется с периодичностью 3 с со среднеквадратической погрешностью (3σ) не хуже 6". Точность временной привязки к UTC моментов определения положения осей БОКЗ-М – не хуже 1 мс.

Определение с привязкой к UTC положения ЦМ КА и вектора скорости в геоцентрической гринвичской системе координат выполняется со среднеквадратическими погрешностями (1σ) на указанный момент времени:

- по местоположению: не более 30 м;
- по орбитальной скорости: не более 7 см/с.

Формирование секундной метки, а также кода времени текущей секундной метки, «привязанного» к всемирному координированному времени UTC, выполняется с суммарной погрешностью привязки не более 10 мкс.

Новая цифровая электромеханическая *система ориентации (ЭСО)* на КА «Метеор-М» №1 экспериментально отрабатывается в летных условиях, а на КА «Метеор-М» №2 будет штатно использоваться для обеспечения ориентации и стабилизации. Применение этой аппаратуры позволит реализовать принципы корректируемой бескарданной инерционной системы на базе прецизионного датчика угловой скорости, повысить точность нацеливания информационной аппаратуры и качество получаемых изображений, обеспечить, при необходимости, возможность маневров КА для съемки районов, расположенных вне зоны захвата на подспутниковой трассе (например для детального контроля опасных погодных явлений).

Экспериментальная система обеспечивает информационную связь с астродатчиком БОКЗ-М и аппаратурой спутниковой навигации АСН для решения задач высокоточной привязки целевой информации.

Периферийный адаптер ККВО→БИС-М (ПА БИС-М) обеспечивает сбор информации для координатной привязки целевой информации КА из ККВО и ЭСО по мультимплексному каналу обмена (МКО), выступая на нем в качестве монитора. ПА БИС-М формирует выходные кадры данных определенной структуры и передает их в БИС-М для трансляции на Землю.

Помимо координатной привязки целевой информации эти данные могут использоваться на Земле для уточнения параметров орбиты КА.

Блок автономного управления (БАУ) функционально представляет собой следующее поколение ПБУ, реализованное на современных принципах и элементной базе. Экспериментально отрабатывается на КА «Метеор-М» №1.

Помимо новых служебных систем, устанавливаемых экспериментально, на КА «Метеор-М» №1 существенно модернизирован или заменен ряд штатной аппаратуры платформы «Ресурс-УКП», в частности новая система ориентации солнечных батарей разработки НПП ВНИИЭМ. Эта система обеспечивает независимую одноосную ориентацию на Солнце двух панелей солнечной батареи и имеет существенные преимущества по массогабаритным и энергетическим показателям по сравнению с ранее используемыми системами.

Новое качество информации

После запуска и ввода в эксплуатацию (2008 г.) нового российского космического комплекса «Метеор-3М» с КА «Метеор-М» №1, оснащенного аппаратурой дистанционного зондирования мирового уровня, должно быть решено несколько принципиальных задач наблюдения атмосферы, океана и суши Земли:

1. За счет пополнения мировой системы полярноорбитальных КА спутниками «Метеор-М» будет повышена периодичность метеонаблюдений в приполярных районах до 8-10 раз в сутки, что положительно скажется на точности оперативных прогнозов погоды в регионах с широтой выше 50-55°, т.е. в России, Канаде, Скандинавии и США (Аляска), а также по акваториям полярных морей.

2. Комплексность синхронных (одновременных) наблюдений суши, океана и атмосферы в оптических ИК и микроволновых (пассивных и активных, радиолокационных) диапазонах позволит более эффективно решать задачи оперативного мониторинга природных и антропогенных катастроф, а также задачи судоководства в Ледовитом океане.

3. Передаваемая с борта КА «Метеор-М» много-спектральная широкополосная информация среднего (50-100 м) разрешения позволит восстановить место России на мировом рынке, занятое сейчас КА «Терра» (240 м), «Аква» и IRS (55 м). Непосредственный прием российской информации будет производиться в широкой сети российских станций сантиметрового диапазона (более 20 станций) и многочисленных станций за рубежом. Коммерческое получение этой информации будет использоваться для контроля с высокой периодичностью (1-2 суток) возникновения и развития чрезвычайных ситуаций антропогенного и природного происхождения в интересах экологического контроля, а также оценки биопродуктивности океанских шельфов.

КА «Метеор-М» №2

Второй КА КК «Метеор-3М» должен соответствовать первому по назначению и составу и дополнять комплекс с целью улучшения параметров обзорности и периодичности.

Часть служебной аппаратуры модернизируется, некоторая заменяется в связи с моральным старением. В частности, аналоговая система ориентации 520М заменяется на цифровую 120; функции стандарта времени и частоты БСВЧ «Лавр» и экспериментального навигационного приемника АСН перейдут к интегрированной системе БСКВУ (Бортовое синхронизирующее и координатно-временное устройство).

Состав БИК дополняется инфракрасным фурье-спектрометром ИКФС-2, предназначенным для температурного и влажностного зондирования атмосферы, определения составляющих радиационного баланса и измерения концентрации озона и других малых газовых составляющих атмосферы.

ИКФС-2 должен иметь следующие технические характеристики:

Спектральный диапазон, мкм	5 ÷ 15
Спектральное разрешение, см ⁻¹	0,5
Пространственное разрешение в надире, км	хуже 35
Ширина полосы обзора, км	2500
Точность измерений спектральной яркости в терминах эквивалентной температуры (при T=280 К), К	0,25

КА «Метеор-М» №3

КА «Метеор-М» №3 (рис.10) будет обладать определенной спецификой в ряду прочих КА космического комплекса «Метеор-3М», так как в соответствии с тактико-техническим заданием (ТТЗ) на КК, должен иметь океанографическую и гидрологическую направленность. При этом основное назначение этого КА – всепогодный и независимый от ос-

вещности радиолокационный мониторинг с использованием БРЛК с активной фазированной антенной решеткой (АФАР), которым в последнее время в мировой космической технике уделяется большое внимание.

В 2007 г. выполнено эскизное проектирование КА «Метеор-М» №3 (ФГУП «НПП ВНИИЭМ») и БРЛК с АФАР для него (ГУП НТЦ «ЭЛСОВ»). Заложенные в проект современные конкурентоспособные характеристики позволят обеспечивать решение не только метеорологических и океанографических задач, но и задач других заказчиков и потребителей. В частности, на основании информации, получаемой с помощью КА «Метеор-М» №3, планируется решение следующих основных проблем:

- обеспечение безопасности мореплавания, проведение фундаментальных и прикладных исследований ледяного покрова в приполярных акваториях мирового океана и замерзающих морях, а также крупных озерах умеренных широт;
- прогноз, мониторинг и информационное обеспечение мероприятий по ликвидации последствий наводнений;
- оперативный контроль за состоянием водной среды и соблюдением правил использования континентального шельфа в исключительной экономической зоне РФ;
- своевременное обнаружение, определение площади и конфигурации разливов нефтепродуктов на водной поверхности, а также мониторинг динамики развития загрязнений акватории мирового океана;
- мониторинг промысловых районов мирового океана в целях информационного обеспечения производственной деятельности рыболовного флота;
- исследование принципов тепломассопереноса на границе раздела океан-атмосфера в интересах решения прикладных и фундаментальных проблем гидрометеорологии и океанографии;
- агрометеорологическое обеспечение сельскохозяйственного производства.

Кроме того, также в соответствии с ТТЗ на КК «Метеор-3М», с КА «Метеор-М» №3 начинается второй этап создания КА этого космического ком-

плекса. Если на первом этапе (КА «Метеор-М» №1 и 2) в качестве служебного модуля используется унифицированная космическая платформа «Ресурс-УКП», за создание и многолетнюю эксплуатацию которой в 2004 г. коллектив разработчиков был удостоен Премии Правительства РФ, то КА «Метеор-М» №3 будет базироваться на создаваемой одновременно с ним перспективной космической платформе.

Переход на новую платформу (первое применение которой намечено именно на КА «Метеор-М» №3, а дальнейшее использование предполагает создание целого ряда КА ДЗЗ как в рамках будущего КК «Метеор-МП», так и для новых перспективных проектов) диктуется не только ТТЗ и велением времени, но и конкретными требованиями по служебному обеспечению целевой аппаратуры. В частности, наличие на борту КА «Метеор-М» №3 БРЛК детального разрешения вызывает необходимость:

- изменения компоновки КА с вертикальной на горизонтальную;
- снижения погрешностей ориентации и стабилизации КА;
- обеспечения возможности программных маневров КА по крену;
- перехода на новый уровень координатно-временного обеспечения целевой аппаратуры;
- расширения возможностей вычислительно-управляющей аппаратуры КА;
- поиска новых путей в терморегулировании;
- увеличения энерговооруженности КА и др.

В настоящее время оценивается целесообразность и возможность включения в состав бортового информационного комплекса КА «Метеор-М» №3 оптического сканера МСС-БИО для определения цветности воды и контроля состояния биосферы океана и аппаратуры «Радиомет» для измерения параметров атмосферы методом радиозатменного просвечивания.

При эскизном проектировании КА определены основные положения разработки. Эти положения могут быть сгруппированы по двум направлениям: особенности разработки КА с БРЛК высокого разрешения и унификация служебного модуля с учетом его дальнейшего применения для создания КА ДЗЗ с другими бортовыми информационными комплексами. Необходимо отметить, что многие инженерно-технические решения и аппаратура разрабатываемой платформы отрабатываются на КА «Метеор-М» №1 и 2 (устройства БА КИС, МБИТС, аппаратура БСКВУ, БОКЗ-М, другие датчики, а также исполнительные органы СО).

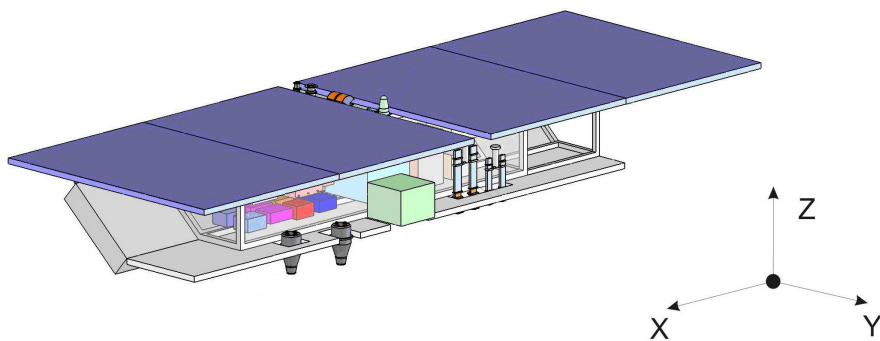


Рис.10. Космический аппарат «Метеор-М» №3

Основные характеристики и параметры КА и БРЛК

Тип орбиты	околокруговая, солнечно-синхронная, полуденная, некорректируемая	Погрешность стабилизации угловой скорости (σ)	$1 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{с}$
Высота орбиты в восходящем узле	652 км	Передача данных для географической привязки целевой информации с ошибкой не более:	100 м
Выведение КА на целевую орбиту	РН «Союз-2» (этап 1б) с РБ «Фрегат»	Пространственное разрешение БРЛК в режимах:	
Ориентация в штатном режиме	трехосная орбитальная или программная вокруг любой оси КА	- обзорном	5÷500 м
Программные повороты КА		- маршрутном	2÷3 м
Длительность штатных разворотов по крену со стабилизацией:		- экспериментальном объектовом:	0,6÷0,8 м
- смена режима съемки (обзорный/объектовый) 11°	30 с	Ширина полосы захвата БРЛК в обзорном режиме	до 750 км
- переход на съемку по другому борту		Информативность целевых радиоканалов	
в объектовом режиме 60°	100 с	- 8,025 – 8,4 ГГц	до 244 Мбит/с
в обзорном режиме 82°	120 с	- экспериментального 25,5 – 27 ГГц	до 1,2 Гбит/с
Угловая погрешность при ориентации в орбитальном или программном режиме (σ)	3 угл. мин по всем осям	Объем ЗУ для информации БРЛК	256 Гбайт
		Сеансное энергопотребление БРЛК	2,7 кВт
		Среднесуточное энергопотребление КА	750 Вт
		Масса КА в целом	1000(+100) кг
		Срок активного существования	7 лет

Особенности разработки КА с БРЛК:

1) Учитывая габариты и требуемое расположение антенного модуля БРЛК на орбите, выбрана горизонтальная компоновка КА – длина корпуса ориентирована по направлению полета, вдоль корпуса размещен конструктивный модуль антенны (КМА) БРЛК. Принятая компоновка обеспечивает хорошие условия для маневра КА по крену с целью перемещения полосы обзора БРЛК – бортовая аппаратура (БА) размещена вдоль антенны БРЛК и момент инерции КА при вращении вокруг направления полета минимизирован: $250 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

2) Фотозлектрическая батарея (БФ) не снабжается собственной системой ориентации и жестко закрепляется на корпусе КА в положении, ориентированном в зенит при орбитальной ориентации КА. Это решение принято по нескольким причинам: минимизация момента инерции КА; отказ от следящего привода БФ для снижения динамических возмущений, так как высокое разрешение БРЛК требует повышенной стабилизации; минимизация миделя КА (результат: $1,3 \text{ м}^2$) для поддержания орбиты без коррекции.

Расчеты показывают, что энергоприток при орбитальной ориентации достаточен для обеспечения запланированной циклограммы работы. Однако, учитывая сеансный режим работы КА, существует резерв энерговооруженности в виде возможной ориентации КА на Солнце в свободное от сеансов время.

3) КА «Метеор-М» №3 должен выводиться на солнечно-синхронную (ССО) полуденную орбиту высотой 652 км. Ориентация плоскости орбиты относительно направления на Солнце выбрана согласованно

с определением размещения БФ. Рассчитанная орбита обеспечивает сохранение основных орбитальных параметров в течение 7 лет без коррекции.

Несмотря на определенную избыточность по массоэнергетическим возможностям, планируется выведение КА на орбиту РН «Союз-2» (этап 1б) с РБ «Фрегат». Выбор основан на том, что при этом варианте может быть обеспечена значительно более высокая точность выведения, чем, например, на РН «Днепр», что исключительно важно при данном типе орбиты и 7-летнем САС.

4) Несущая конструкция КА выполняется в виде пятигранной призмы, что позволяет удобно разместить внутри нее электронные блоки БА, а по граням – КМА БРЛК, БФ и радиаторы системы терморегулирования (СТР).

Корпус КА не герметизируется, что также вносит свой вклад в минимизацию массы (1000 кг) и моментов инерции КА. Кроме того, за счет доступности БА на всех этапах отладки и испытаний, сокращается время подготовки КА.

В НПП ВНИИЭМ накоплен значительный опыт обеспечения функционирования БА, размещенной на открытых рамах и платформах, что позволяет гарантировать решение вопросов терморегулирования в отсутствии газовой среды и защиты от вредных воздействующих факторов космического пространства (ВВФ КП).

5) Антенна БРЛК расположена по одной из граней корпуса КА; при штатной орбитальной ориентации КА нормаль к активной поверхности АФАР ориентирована вправо от направления полета под углом 41° от верти-

кали. При этом реализуется полоса захвата 750 км и предполагается работа БРЛК в океанографических режимах. Работу в объектовых и маршрутных режимах планируется выполнять при установке антенны на 30° , при этом полоса обзора сужается до 500 км, но снижаются искажения и наклонная дальность до объекта съемки. Геометрическое изменение направленности антенны, как в этом случае, так и для съемки с другой (левой) стороны от подспутниковой трассы КА, должно выполняться маневром КА по крену.

При орбитальной ориентации КА с учетом возможного перенацеливания БРЛК на другой борт разворотом КА полоса обзора составляет 2×750 км. Любой полигон земного шара, от Северного до Южного полюса, может быть просмотрен с периодичностью 38 витков (2,5 суток). Для объектовых и маршрутных режимов работы БРЛК с учетом перенацеливания полоса обзора равна 2×500 км. Съем информации в этом режиме может происходить до широт 88° с.ш. или 88° ю.ш. с периодичностью 52 витка (3,5 суток) в худшем случае (на экваториальных широтах).

При планируемой работе БРЛК до 100 мин в сутки в обзорном режиме суточная производительность может составить 30 млн. км².

6) Система ориентации (СО) КА создается на базе вычислительной машины с сетевым контролем датчиков и управлением исполнительными органами в цифровом формате. Прототипом являются экспериментальная система ориентации 120Э КА «Метеор-М» №1 и СО 120 КА «Метеор-М» №2. По сравнению с этими системами сохраняется состав датчиков, корректируются параметры исполнительных органов и заменяются, в связи с переходом на новую элементную базу, вычислительные средства.

Построение точной ориентации выполняется на основе бескарданной инерциальной системы (БИНС) с астрокоррекцией. Прямое управление в штатном режиме орбитальной (или программной – повернутой по крену) ориентации осуществляется по угловой информации, получаемой интегрированием показаний точных датчиков угловых скоростей (ДУС), - разработка НИИЭМ (г. Истра) на базе авиационного трехстепенного гироскопа ГПА-Л2-2. В качестве астрокорректора выступают модернизированные приборы БОКЗ (ИКИ РАН), а звездную и орбитальную системы координат связывает аппаратура БСКВУ (РИРВ, г.С.-Петербург), опирающаяся на корректируемую модель орбиты КА и информацию навигационных спутниковых систем.

СО обеспечивает достаточные для выполнения функциональных задач характеристики: стабилизацию угловой скорости до 1×10^{-4} °/с (σ); угловую ориентацию с точностью 3 угловых минуты по всем осям (σ), что означает ошибку наведения на цель с выбран-

ной орбиты не более 500 м (10% ширины кадра в объектовом режиме) и программный поворот со стабилизацией с необходимой скоростью.

Повороты по крену при штатной эксплуатации должны выполняться при переходе на съемку по противоположному борту или для смены режима съемки (обзорный/объектовый). Расчеты показывают, что СО должна обеспечивать поворот на 90° со стабилизацией за 130 с. Для штатных углов поворота времена составляют: переход на съемку по противоположному борту в обзорном режиме ($82^\circ: 41^\circ + 41^\circ$) – 120 с; в объектовом режиме ($60^\circ: 30^\circ + 30^\circ$) – 100 с; переход из обзорного в объектовый режим съемки и наоборот (11°) – 30 с.

Для построения промежуточных режимов ориентации используются датчики Солнца (ДС) и Земли (датчик вертикали – ДВ). Кроме того, эти приборы создают функциональную избыточность СО. Например при отказе аппаратуры, обеспечивающей астрокоррекцию (БОКЗ – БСКВУ), БИНС может корректироваться с помощью ДВ; при этом точность позиционирования КА несколько понизится, однако функционирование БРЛК в обзорных режимах будет обеспечено.

7) Бортовой комплекс управления (БКУ) КА организуется как сетевая структура, объединенная мультиплексным каналом обмена цифровой информацией (МКО, ГОСТ Р52070-2003) и приборным интерфейсом (ПИ232Т). Центральными элементами являются две отказоустойчивые четверированные вычислительные машины (БВС-КА и БВС-СО) семейства ЦВМ20 разработки НИИ «Аргон» с микропроцессорами 1890ВМ2Т. Разработка БКУ включает ряд встроенных или внешних сетевых адаптеров, через которые приборы подключаются к БВС. Данные меры исключают автономные аппаратные (на КА «Метеор-М» № 1 и 2) блоки управления ряда служебных систем, что позволяет обеспечить более глубокий диагностический контроль аппаратуры жизнеобеспечения КА со стороны БВС, оптимальный автоматический выход из нештатных ситуаций, повышение автономности и увеличение САС КА.

8) В связи с повышенными требованиями к энерговооруженности и сроку службы КА, рекомендациями Госзаказчика и его головного НИИ, рассматривается применение литий-ионных аккумуляторных батарей (АБ) и фотопреобразователей на основе арсенида галлия. Учитывая требуемые сроки создания КА и темпы освоения производства Li-Ion батарей в нашей стране, прорабатываются и резервные варианты.

Учитывая необходимость разработки СЭС с двумя номиналами первичного напряжения: стандартные 27 и 50 В для приемопередающих модулей БРЛК, которое вводится для исключения необходимости коммутации токов уровня 100 А и более, организуется модульное построение СЭС.

Суммарно СЭС КА обеспечивает: среднесуточное энергопотребление КА до 750 Вт, максимальное сеансное – 3,25 кВт (из них 2,5 кВт – антенный модуль БРЛК).

9) С целью унификации между КА КС и сокращения затрат на подготовку НКУ, на КА «Метеор-М» №3 используются БА КИС и МБИТС разработки РНИИ КП.

На орбите КА «Метеор-М» №3 11 из 14–15 витков в сутки имеют зоны радиовидимости командно-измерительных комплексов, оснащенных средствами КИС типа «Тамань-База», длительностью не менее 10 мин.

10) На данном этапе проектирования тактика использования информации КА «Метеор-М» №3 детально не проработана, поэтому не могут быть окончательно определены характеристики и даже количество радиоканалов для передачи на Землю целевой информации БРЛК. Исходя из предположения, что данные обзорных режимов съемки будут использоваться многими потребителями, а объектов режимов – приниматься целевым образом на ограниченном количестве наземных пунктов, в эскизном проекте рассматривается следующая схема передачи информации БРЛК:

- для передачи данных обзорных режимов, имеющих сравнительно невысокую информативность (десятки Мбит/с), в состав КА включается радиоаппаратура СМ-диапазона (8,025-8,4ГГц) разработки РНИИ КП – составная часть БИС-М КА «Метеор-М» № 1 и 2 – с возможностью передачи суммарно по двум номиналам несущей частоты до 244 Мбит в секунду. Существующая сеть приемных пунктов может обеспечить массового потребителя обзорной информацией БРЛК;

- для передачи данных детальных и маршрутных режимов разрабатывается новый экспериментальный радиоканал мм-диапазона (25,5-27ГГц) с информативностью более 1 Гбит/с (эскизная проработка такой радиолнии выполняется в настоящее время в НПЦ «ЭЛСОВ»); потребитель обеспечивается наземными станциями для приема информации.

Унификация служебного модуля:

1) КА «Метеор-М» №3 создается по модульному принципу: в нем отчетливо выделены (конструктивно и функционально) модули БКУ, СЭС 27 В и СЭС 50 В, БРЛК и информационных радиолний. При создании КА с комплексом океанографической и гидрометеорологической аппаратуры на базе разрабатываемой платформы сохраняются принципы компоновки, построения несущей конструкции и большинство служебной аппаратуры.

Модуль БКУ дорабатывается. Учитывая отсутствие необходимости программных разворотов и повышенной точности ориентации могут быть заменены, с

сокращением энергопотребления и массогабаритных параметров, исполнительные органы СО. Вводится привод БФ.

Модуль СЭС 27В сохраняется, СЭС 50 В заменяется на второй СЭС 27 В.

Заменяется полезная нагрузка (аппаратура см-радиоканала может быть сохранена).

2) Несущая конструкция КА «Метеор-М» №3 имеет разделение на секции, каждую из которых занимает отдельный модуль. Очевидно, что при необходимости установки на другие КА модуля оптико-электронной аппаратуры, таковой заметно превысит по объему электронные блоки БРЛК и высокоскоростной радиолнии КА «Метеор-М» №3, однако большинство аппаратуры оптико-электронного модуля выносятся за грани призмы. В основном оптические, ИК приборы и радиометры размещаются с внешней стороны грани, ориентируемой на Землю (поверхность этой грани на КА «Метеор-М» №3 частично занята радиатором БРЛК, частично – закрыта ЭВТИ).

3) Значительную долю работ и затрачиваемых средств по подготовке КА составляет подготовка технического и стартового комплекса КА, согласование баллистического обеспечения схемы выведения, стыковки с РН, разработка адаптера КА к РН и т.п. Поэтому выведение КА на одинаковом типе РН – существенный шаг к унификации. Учитывая, что РН «Союз-2» (этап 1б) с РБ «Фрегат» полнее других вариантов удовлетворяет КА «Метеор-М» №3 по точности выведения, а более тяжелые КА по энергомассовым возможностям, эти средства выведения рассматриваются в качестве основных.

4) Благодаря унификации сетевых каналов обмена (МКО и ПИ232Т) и протоколов обмена, а также использованию сетевых адаптеров для уникальных интерфейсов, при замене информационного комплекса БКУ не подвергается серьезной аппаратной модификации: в основном изменения касаются адаптации коммутирующей аппаратуры и разработки нового функционального ПО для взаимодействия с приборами информационного комплекса.

Запуск КА «Метеор-М» №1, 2 и 3 с интервалом в 2 года друг от друга позволит создать гидрометеорологическую космическую систему с разнесенным информационным комплексом. Это позволит увеличить объем информации, получаемой с КА, а также даст уникальную возможность осуществлять съемку одной и той же территории в различных частотных диапазонах и геометрических разрешениях. Интегральная обработка всего массива информации может привести к новому качеству информации и повышению спроса на нее.