

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «МЕТЕОР-3» – ТРЕТЬЕ ПОКОЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ СЕРИИ «МЕТЕОР»

Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов,
Р. С. Салихов, В. П. Ходненко

Рассмотрено назначение гидрометеорологического космического аппарата третьего поколения «Метеор-3», приведены его технические характеристики, а также состав и основные характеристики его штатного бортового информационно-измерительного комплекса. Представлены состав и основные характеристики дополнительных приборов, в том числе и зарубежных, установленных на некоторые КА «Метеор-3».

Ключевые слова: космический аппарат, информационно-измерительный комплекс, сканирующая телевизионная аппаратура, сканирующий инфракрасный радиометр, радиационно-метрический комплекс, сканирующий спектрометр, сканер радиационного баланса, совместимость приборов с космическим аппаратом.

В начале 1980-х годов ВНИИЭМ приступил к созданию нового поколения космических аппаратов (КА) «Метеор-3», предназначенных для системы гидрометеорологического обеспечения страны [1 – 3].

В 1983 г. постановлением Совета Министров СССР эта тематика ещё раз закреплена за ВНИИЭМ.

Директор института академик АН СССР Н. Н. Шереметьевский был назначен генеральным конструктором, а директор Истринского филиала ВНИИЭМ В. И. Адасько – главным конструктором «Метеор-3». Заместитель директора ВНИИЭМ Ю. В. Трифонов был назначен главным конструктором КА «Ресурс-О».

Главной задачей создания КА «Метеор-3» было продолжение эксплуатации государственной метеорологической космической системы (ГМКС), в состав которой после непродолжительных лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ) в 1988 – 1989 гг. вошёл модернизированный КА «Метеор-3». В связи с этим состав приборного комплекса глобального наблюдения метеорологической обстановки (приборы видимого и инфракрасного (ИК) диапазона) был сохранён, но аппаратура подверглась заметной модернизации, пространственное разрешение повышено, полосы захвата увеличены. Был значительно расширен состав информационной аппаратуры путём введения новых приборов вертикального температурно-влажностного зондирования атмосферы (ТВЗА) в ультрафиолетовом (УФ) и микроволновом диапазонах и ряда приборов озонного мониторинга. Благодаря проведённой унификации элементов платформы, в состав КА впервые были включены зарубежные приборы ведущих космических держав:

– многоканальный прибор горизонтального мониторинга TOMS (США);

– сканирующий радиометр радиационного баланса Земли SCARAB (Франция);

– навигационный прибор PRARE (Германия).

Научно-техническое руководство всеми работами Истринского филиала по освоению производства, обеспечению эксплуатации и всем модернизациям «Метеор-2», а также «Метеор-3» было возложено на главного конструктора «Метеор-3» В. И. Адасько.

Эксплуатация ГМКС с КА «Метеор-3» продолжалась до 1996 – 1997 гг. К этому времени государственное финансирование космических разработок существенно уменьшилось, создавать КА одного-двух назначений стало затруднительно. Поэтому созданное в 1992 г. Российское космическое агентство, имея в виду дефицит средств и возможностей, а также результат создания и отработки спутниковых платформ для КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) второго поколения, в 1995 г. приняло согласованное с ВНИИЭМ, НИИЭМ и основными потребителями, решение о создании многоцелевых КА.

Таким образом, последней моделью серии «Метеор» стал КА «Метеор-3», дебютировавший в 1984 году.

К сожалению, первый запуск КА «Метеор-3» № 1, произведённый 27 ноября 1984 г., закончился аварией на участке полёта третьей ступени РН «Циклон-3», в результате чего КА был выведен на нерасчётную орбиту и был назван «Космос-1612». Первый успешный запуск КА «Метеор-3» состоялся 24 октября 1985 года.

Всего с 27 ноября 1984 г. по 25 января 1994 г. было запущено 7 аппаратов серии «Метеор-3». КА № 1 и № 2 являлись переходными от «Метеор-2» к «Метеор-3».

КА «Метеор-3» (рис. 1 и 2) предназначался для оперативного получения, передачи, обработки, регистрации и распространения потребителям в любое время суток гидрометеорологической информации, а также информации о радиационной обстановке в околоземном космическом пространстве (ОКП) и состоянии магнитосферы и озонового слоя Земли. КА позволял получать глобальные и локальные изображения облачности, поверхности Земли, ледового и снежного покровов, а также данные для определения температуры верхней границы облаков. Установленные на его унифицированной платформе 17Ф45 приборы измерения спектральной яркости Земли и атмосферы в видимом, ИК-, УФ- и высокочастотном диапазонах спектра определяли высотные профили температуры и влажности в нижней атмосфере, общее содержание озона и его вертикальное распределение, а также состояние радиационной обстановки

вдоль траектории полёта КА. В соответствии с заложенной программой полёта собранные данные накапливались в бортовом ЗУ и передавались в главный и региональный центры приёма и обработки информации.

В состав бортового информационно-измерительного комплекса входили:

- ТВ-аппаратура;
- аппаратура для получения изображений в ИК-диапазоне;
- многоканальный сканирующий ИК-спектро-радиометр;
- аппаратура для радиационных измерений;
- комплекс спектрометрической аппаратуры озонного зондирования;
- радиотехническая аппаратура системы сбора и передачи данных с наземных и морских платформ сбора данных;
- передающая аппаратура радиолиний и запорминающие устройства.

Основные характеристики КА серии «Метеор-3» приведены в табл. 1.

Бортовой информационно-измерительный комплекс научной аппаратуры на КА «Метеор-3»

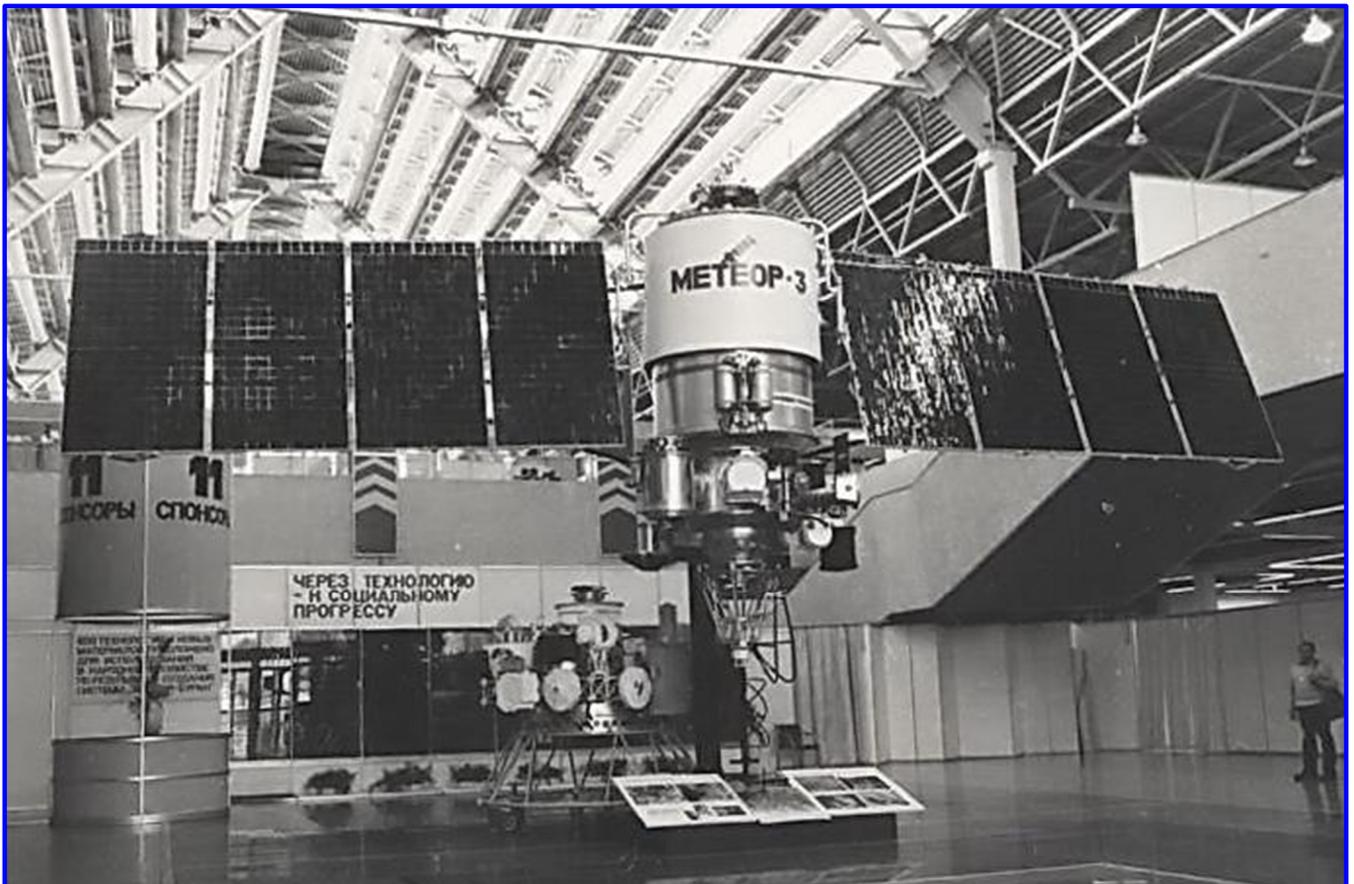


Рис. 1. Общий вид КА «Метеор-3»



Рис. 2. КА «Метеор-3» в орбитальном полёте

Таблица 1

Основные характеристики КА серии «Метеор-3»

Номер КА	1, 2	3, 5, 7	4, 6
Масса КА, кг	1750	2150	2250
Масса модуля полезной нагрузки, кг	500 – 700	500 – 700	500 – 700
Расчётные параметры орбиты			
Круговая			
Высота максимальная, км	1266,0	1222,5	1223,7
Высота минимальная, км	1229,0	1193,6	1187,3
Период обращения, мин	110,29	109,38	109,46
Наклонение плоскости орбиты, град.	82,53	82,54	82,54
Размеры КА			
Длина, м	6,5		
Диаметр, м	2,4		
Ширина с развёрнутыми солнечными батареями (СБ), м	12,7		
Мощность системы энергоснабжения (СЭС), Вт	500		
Система ориентации (СО)	Активная, трёхосная, с двигателем-маховиком (ДМ) и газореактивной системой (ГРС) на сжатом газе – азоте		
Точность ориентации	Не хуже 20 угл. мин		
Ширина полосы обзора ТВ-аппаратуры, км	3100		
Разрешающая способность, км	0,8 × 1,5		
Точность привязки полученных изображений, км	15		
Время активного существования	Не менее 2-х лет		
Система коррекции орбиты	Аммиачная электронагревная двигательная установка (ДУ) с двигателями, тягой 15 г/ (ЭРД ДЭН-15)		
Тип ракеты-носителя (РН)	«Циклон-3»		

Таблица 2

Состав и основные характеристики штатного (постоянного) бортового информационно-измерительного комплекса КА «Метеор-3»

Аппаратура	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, км	Ширина полосы захвата, км	Режим работы
Сканирующая ТВ-аппаратура (телефотометр МР-2000М) с системой запоминания данных на борту для режима глобального обзора	0,5 – 0,8	0,7 × 1,4	3100	Запоминающее устройство (ЗУ), непосредственная передача (НП)
Сканирующая ТВ-аппаратура (телефотометр МР-900) для режима передачи данных на автономный пункт приёма информации (АППИ)	0,5 – 0,8	1,0 × 2,0	2600	НП
Сканирующий ИК-радиометр «Климат» для режима глобального обзора и передачи данных на АППИ	10,5 – 12,5	3,0 × 3,0	3100	ЗУ, НП
Сканирующий десятиканальный ИК-радиометр (174-К)	9,65 – 18,7	35,0 – 35,0	1000	ЗУ, НП
Радиационно-метрический комплекс (РМК)	Энергия захвата: 0,15 – 3,1 МэВ; 1 – 600 МэВ			ЗУ, НП
Радиолиния	466,5 мГц – передача данных в центры, 137,850 мГц – передача данных на АППИ			

позволял оперативно на регулярной основе получать два раза в сутки изображения облачности и подстилающей поверхности в видимом и ИК-диапазоне, данные о температуре и влажности воздуха, температуре морской поверхности и облаков. Данные о потоках корпускулярных излучений, рентгеновского излучения и суммарного энерговыделения всех излучений поступали в геофизическую службу. Также осуществлялся мониторинг ионосферы.

Кроме штатной научной аппаратуры на КА «Метеор-3» регулярно устанавливалась дополнительная научная аппаратура экспериментального и исследовательского назначения.

В табл. 2 представлены основные характеристики штатной и дополнительной научно-информационной аппаратуры КА «Метеор-3».

Бортовая ТВ-аппаратура МР-2000М. Аппаратура МР-2000М предназначалась для получения изображения облачного, снежного и ледового покровов вдоль витка на освещённой стороне Земли, запоминания ТВ-изображения на борту и выдачи запомненного и непосредственно получаемого изображения на бортовую систему частотного уплотнения (радиолинию) для передачи на наземные пункты приёма информации (ППИ).

Технические характеристики:

1. Информация регистрируется в видимом участке спектра электромагнитных волн от 0,5

до 0,8 мкм на дневных полувитках орбиты при высоте Солнца не менее 5 град.

2. Ширина полосы обзора не менее 3100 км.

3. Параметры сканирования:

– частота строк – 4 Гц ($T_{\text{прям. хода}} = 0,2$ с);

– закон сканирования по строке – равномерная скорость по сферической поверхности Земли;

– направление сканирования – справа налево относительно направления полёта КА.

4. Проекция апертуры на местности в надире в направлении строки и полёта, не хуже $0,7 \times 1,4$ км соответственно.

5. Число воспроизводимых градаций яркости – не менее 8.

6. Режимы работы: запись информации (ЗИ); воспроизведение информации (ВИ); НП; ЗИ + НП; ВИ + НП.

7. Максимальная продолжительность непрерывной работы в каждом из режимов: в режиме ЗИ – 55 мин; в режиме ВИ – 5,5 мин (при записи в течение 55 мин); в режиме НП – 15 мин.

8. Потребляемая мощность по цепи питания: в режиме ЗИ – не более 75 Вт; в режиме ВИ – не более 75 Вт; в режиме НП – не более 65 Вт.

9. Время подготовки аппаратуры к работе – не более 30 с.

10. Вес аппаратуры – 55 кг.

ИК-аппаратура «Климат». Сканирующий ИК-радиометр «Климат» предназначался для получения в ИК-диапазоне спектра электромагнитных

волн глобального и локального изображения облачности, поверхности Земли, ледового и снежного покровов, а также данных для определения температуры морской поверхности для безоблачной атмосферы и температуры верхней границы облаков на дневной и ночной стороне орбиты.

Технические характеристики аппаратуры:

1. Диапазон спектральной чувствительности, мкм: минимальный от 10,2 до 10,8; максимальный от 12 до 13.

2. Углы зрения, мрад, не более: по строке 0,7; по кадру – 1,4.

3. Диапазон преобразуемых радиационных температур от 223 до 313 °К.

4. Выходное напряжение от –0,05 до +5В.

5. Частота сканирования 2 Гц.

6. Угол сканирования не менее + 48 град.

7. Масса аппаратуры около 100 кг.

8. Энергопотребление не более 190 Вт.

Оптическая система ИК-радиометра «Климат» включала в свой состав сканирующий, фокусирующий объектив и светофильтр. При помощи сканирующего зеркала производилось сканирование по земной поверхности и визирование двух калибровочных источников излучения: модели абсолютного «чёрного тела» 313 К («горячий» излучатель) и космического пространства, которое в данном случае представляло «холодный» уровень излучения.

Диапазон спектральной чувствительности аппаратуры определялся светофильтром и фотоприёмником.

Процесс линейного преобразования излучения в напряжение видеосигнала осуществлялся следующим образом: сканирующее зеркало направляло поток излучения на объектив и далее в плоскость расположения чувствительной площадки, после чего осуществлялось фотоэлектрическое преобразование потока излучения в напряжение.

Высокая чувствительность фотоприёмника обеспечивалась глубоким охлаждением его чувствительной площадки, размером $0,15 \times 0,3 \text{ мм}^2$, с помощью микрокриогенной системы охлаждения МСМГ-7Г-1,8/80.

С целью исключения попадания излучения Солнца на фотоприёмник сканирующее зеркало с помощью арретира устанавливалось в положение, при котором на фотоприёмник поступает излучение только от корпуса объектива.

С целью достижения высоких показаний надёжности электронные блоки имели холодный резерв.

Дополнительными приборами на некоторых КА «Метеор-3» были: УФ-спектрометр; бортовая УФ-система (БУФС); аппаратура контроля озонового слоя Земли (Озон-М); спектрофотометр СФМ (для измерения общего содержания озона и вертикального распределения озона в отдельных регионах).

Спектрофотометр СФМ. Спектрофотометр СФМ, созданный КБ «Экон» (г. Минск) для определения вертикального распределения озона на высотах 35 – 75 км, с 1985 г. шесть раз выводился в космос на КА серии «Метеор-3».

Измерения профилей содержания озона проводились в широтной зоне 45 – 80° северной широты и 30 – 60° южной широты с пространственным разрешением 8 км по вертикали и 300 км по горизонтали и со среднеквадратичной погрешностью не более 5 %.

Прибор представлял собой совокупность четырёх соосных фотометров, каждый из которых содержал по ходу луча полевую диафрагму, плёночный фторопластовый ослабитель света, интерференционный светофильтр и фотоприёмник.

Оптические оси фотометров лежат в одной плоскости и наклонены к установочной плоскости корпуса под углом 29° 36'. Поле зрения каждого оптического канала составляло по углу места 10° и 40° по азимуту. Измерения прямой солнечной радиации охватывали следующие спектральные участки в полосе поглощения озона: 265 – 270 нм (1-й канал), 290 – 295 нм (2-й канал), 310 – 315 нм (3-й канал) и 350 – 380 нм (4-й канал). Полоса пропускания каждого канала не более 10 нм.

Дополнительная нагрузка. На борту КА «Метеор-3» № 5, запущенном 15 августа 1991 г., в качестве дополнительного полезного груза был установлен сканирующий спектрометр (озонный картограф) TOMS для картирования глобального распределения озона, разработанный и изготовленный НАСА (США).

Основные характеристики аппаратуры:

– шесть спектральных каналов в УФ-области спектра (312,5; 317,5; 331,3; 339,8; 360,0; 380,0 нм);

– пространственное разрешение в надире $63 \times 63 \text{ км}^2$, $83 \times 83 \text{ км}^2$ среднее;

– полоса обзора 2900 км.

Аналог прибора TOMS устанавливался на КА «Нимбус-7».

На КА «Метеор-3» № 7 в качестве дополнительного полезного груза были установлены экспериментальный микроспутник TUBSAT, аппаратура PRARE и SKARAB.

Микроспутник TUBSAT разработан в Техническом университете г. Берлина (Германия) и предназначен для испытаний в условиях космического полёта миниатюрной системы ориентации перспективных КА, которая использует звёздные и солнечные датчики и электромеханические исполнительные органы. На борту микроспутника был установлен ретранслятор для обеспечения любительской радиосвязи. Масса микроспутника – 40 кг, размеры: $380 \times 380 \times 490 \text{ мм}$. Скорость отделения от КА «Метеор-3» составляла 0,5 м/с.

Прецизионная система навигационных измерений PRARE, разработанная фирмой «КАЙЗЕР-ТРЕДЕ» (г. Мюнхен, Германия), была предназначена для проведения экспериментов по высокоточным измерениям дальности и доплеровских смещений с помощью ретрансляторов наземных станций. Принцип работы системы PRARE основан на измерении групповой задержки и изменении несущей фазы цифровых микроволновых сигналов в диапазонах S (2248 МГц) и X (8489 МГц). Масса аппаратуры – 18,5 кг.

Аппаратура SKARAB (другое название – сканер радиационного баланса) разработана Лабораторией динамической метеорологии (г. Пализо, Франция) совместно с НПО «Планета» (г. Долгопрудный, Россия) и НИИЭМ (г. Истра, Россия), при технической и финансовой поддержке французского космического агентства CNES. В программе принимало участие немецкое космическое агентство DLR, которое оказывает техническую и финансовую поддержку Лаборатории атмосферных исследований, ответственной за наземную солнечную калибровку аппаратуры. Прибор SKARAB предназначался для сбора информации о состоянии радиационного баланса системы «Земля – атмосфера». С этой целью аппаратура SKARAB производила измерения энергетической плотности уходящего излучения одновременно в четырёх участках спектра. Две широкие спектральные полосы позволяли производить измерения в солнечной и тепловой областях спектра, излученного и отраженного Землей (солнечный канал: 0,2 – 4,0 мкм; общий канал: 0,2 – 50,0 мкм). Две более узкие полосы (видимый канал: 0,5 – 0,7 мкм и канал окна: 10,5 – 12,5 мкм) были приспособлены для определения облачности, одна из них соответствовала атмосферному окну в ИК-области, а другая позволяла разделить видимую и близкую ИК-часть солнечного спектра. Измерения радиационного баланса, проводимые на большом отрезке времени, предназначались для понимания явлений, отвечающих за изменения и эволюцию климата на Земле. SKARAB представлял из себя радиометр перпендикулярного к КА сканирования. В надире проекция пучка на Землю составляла квадрат со стороной в 60 км. Масса аппаратуры – 40 кг.

Задачи, решаемые SKARAB, хорошо вписывались в рамки программы ГЕВЕКС (исследование глобального энергетического и водного цикла), одной из важнейших частей Всемирной программы исследования климата. Приём научных и вспомогательных данных с КА «Метеор-3» № 7 осуществлялся на двух российских станциях слежения: в Обнинске и Медвежьих Озёрах. Собранные данные передавались в ЦУП НПО «Планета», а затем в Центр управления CNES в г. Тулузе (Франция). Обработка данных производилась параллельно во Франции и России. CNES и НПО

«Планета» являлись центрами распространения данных среди пользователей.

Запуск второго прибора SKARAB в составе КА «Метеор-3» планировался на 1995 г., а третьего – на 1997 г. В перспективе эти два последних запуска позволяли обеспечить непрерывность получения данных на значительном отрезке времени, что могло заметно повысить эффективность исследований, однако по ряду организационных причин эти запуски, к сожалению, не могли быть осуществлены.

Ниже кратко остановимся на опыте сотрудничества НИИЭМ (Россия) с НАСА (США) и CNES (Франция).

Установка на КА «Метеор-3» приборов TOMS и CRRB потребовала проведения комплексных системотехнических исследований по обеспечению совместимости этих приборов с КА, так как радиометр CRRB проектировался по техническим требованиям КА «Метеор-3», а спектрометр TOMS создавался для установки на КА «Нимбус-7».

Приборы TOMS и CRRB (рис. 3) относились к классу сложных оптоэлектронных электромеханических приборов с высокими точностными характеристиками, для обеспечения которых в процессе эксплуатации на орбите требовалась регулярная абсолютная калибровка.

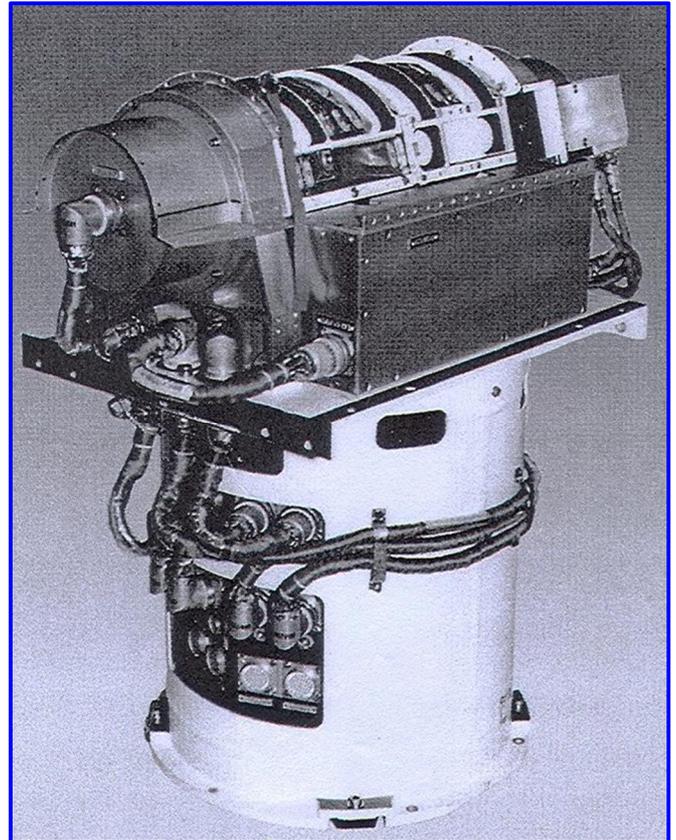


Рис. 3. Прибор CRRB

Опыт проектирования и эксплуатации КА, в составе которых имеются зарубежные приборы, показал, что необходимо обеспечить не только электромагнитную совместимость с КА, но также обеспечить совместимость и по питанию, синхронизации, управлению, программному обеспечению, структуре информации, по механическому и тепловому взаимодействию, по характеристикам наземной и орбитальной среды КА, что является сложной комплексной проблемой, решаемой на всех этапах создания и эксплуатации КА.

Опыт показал, что радикальным решением проблемы совместимости зарубежных приборов с отечественными КА является стандартизация параметров электрического интерфейса. При установке этой аппаратуры на существующие КА вопросы сопряжения целесообразно осуществлять на базе применения специальных адаптеров интерфейса, что впо-

следствии и осуществлялось при установке зарубежных приборов на другие отечественные КА.

Запуск КА «Метеор-3» № 7 был посвящён главному конструктору В. И. Адасько, в память о котором на внешней поверхности корпуса КА закреплена бронзовая табличка.

Литература

1. ВНИИЭМ – 70 лет истории предприятия / Под ред. д-ра техн. наук Л. А. Макриденко. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 327 с.
2. Космодром «Плесецк». Космический аппарат «Метеор-3». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.plesetzk.ru/>.
3. Адасько В. И., Салихов Р. С. Проблемы совместимости зарубежной научной аппаратуры и КА «Метеор-3» // Труды ВНИИЭМ. – М., 1989. – Т. 91. – С. 36 – 42.

Поступила в редакцию 13.08.2018

Леонид Алексеевич Макриденко, доктор технических наук, генеральный директор, т. (495) 365-56-10.

Сергей Николаевич Волков, доктор технических наук, 1-й заместитель генерального директора, т. (495) 366-42-56.

*Александр Викторович Горбунов, кандидат технических наук, заместитель генерального директора, т. (495) 623-41-81.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

*Рашид Салихович Салихов, кандидат технических наук, заместитель генерального директора.
(АО «НИИЭМ»).*

*Владимир Павлович Ходненко, доктор технических наук, главный научный сотрудник, т. (495) 624-94-98.
E-mail: vniiem@orc.ru.*

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

«METEOR-3» SATELLITE – THIRD GENERATION OF RUSSIAN HYDROMETEOROLOGICAL SATELLITES OF METEOR SERIES

**L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov,
R. S. Salikhov, V. P. Khodnenko**

The article describes the mission of «Meteor-3» hydrometeorological satellite of the third generation, its technical specification, as well as the configuration and key characteristics of its standard on-board information and measurement system. The configuration and key characteristics of additional devices (including foreign) installed on some «Meteor-3» satellites are presented.

Key words: *satellite, information and measurement system, scanning television equipment, scanning infrared radiometer, radiation metrics system, scanning spectrometer, radiation balance scanner, compatibility of devices with spacecraft.*

References

1. VNIIEEM – 70 Years of the Enterprise History / Under the editorship of Doctor of Technical Sciences (D. Sc.) L. A. Makridenko. – M.: FSUE NPP VNIIEEM, 2011. – 327 p.
2. Plesetsk Cosmodrome. «Meteor-3» satellite. [Electronic source]. – Available at: <http://www.plesetzk.ru/>.
3. Adasko V. I., Salikhov R. S. Compatibility issues between foreign scientific literature and «Meteor-3» satellite // VNIIEEM Proceedings. – M., 1989. – Vol. 91. – Pp. 36 – 42.

Leonid Alekseevich Makridenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Director General, tel. +7 (495) 365-56-10.

Sergei Nikolaevich Volkov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), First Deputy Director General, tel. +7 (495) 366-42-56.

*Aleksandr Viktorovich Gorbunov, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, tel. +7 (495) 623-41-81.
(JC «VNIIEEM Corporation»).*

Rashit Salikhovich Salikhov, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General.

(JSC «НИИЭМ»).

Vladimir Pavlovich Khodnenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Researcher, tel. +7 (495) 624-94-98.

e-mail: vniiem@orc.ru.

(JC «VNIEM Corporation»).