

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ «РЕСУРС-О1» № 4

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

Представлены отличия космического аппарата (КА) «Ресурс-О1» № 4 по решаемым задачам и информационным характеристикам от предшествующих КА этой серии. Приведены основные технические характеристики КА «Ресурс-О1» № 4 и его бортовой информационно-измерительной аппаратуры. Установка аппаратуры гидрометеорологического назначения позволила расширить круг решаемых задач. Кроме того, на КА «Ресурс-О1» № 4 была установлена зарубежная аппаратура: сканирующий радиометр радиационного баланса (СРРБ) и телескоп заряженных частиц «Nina». Попутно с КА «Ресурс-О1» № 4 выводились пять зарубежных микроспутников. Преимуществом КА серии «Ресурс-О1» являлась возможность получения детальной информации с обширной территории за счёт одновременного включения сканеров среднего и высокого разрешения МСУ-СК и МСУ-Э (получение изображений одновременно в разных диапазонах спектра при различном разрешении на местности). Приведена статистика оперативного мониторинга с помощью КА «Ресурс-О1» № 3 и № 4. С запуском 10 июля 1998 г. усовершенствованного КА «Ресурс-О1» № 4 началось функционирование космического комплекса «Ресурс-О1», состоящего из двух КА «Ресурс-О1» № 3 и «Ресурс-О1» № 4.

Ключевые слова: космический аппарат, бортовой информационный комплекс, оптико-электронный сканер, оптико-механический сканер, бортовая информационная система, сканирующий радиометр радиационного баланса, телевизионная метеорологическая аппаратура, микроспутники.

10 июля 1998 г. ракетой-носителем (РН) «Зенит» на широтно-стабилизированную орбиту (ССО) со средней высотой 835 км был выведен усовершенствованный космический аппарат (КА) третьего поколения «Ресурс-О1» № 4. По решаемым задачам и информационным характеристикам установленных на нём приборов, он превосходил предшествующие КА этой серии [1].

С запуском КА «Ресурс-О1» № 4 началось функционирование космического комплекса (КК) «Ресурс-О1», состоящего из двух КА «Ресурс-О1» № 3 и «Ресурс-О1» № 4.

Одновременно с КА «Ресурс-О1» № 4 было выведено на орбиту ещё пять малых спутников, принадлежащих Австралии, Германии, Израилю, Таиланду и Чили.

КА «Ресурс-О1» № 4 отличался от предыдущих аппаратов этого типа высотой рабочей орбиты (835 км) и модернизированным бортовым информационным комплексом, в котором увеличена вдвое ёмкость запоминающего устройства (ЗУ) – с 6 до 12 мин записи, а пропускная способность радиолинии – с 7,68 до 15,36 Мбит/с (при передаче на малые пункты приёма информации) или 61,44 Мбит/с (для центральных и региональных центров приёма и обработки данных, расположенных в городах Обнинск, Долгопрудный и Новосибирск).

В отличие от предыдущих КА «Ресурс-О1» № 4 кроме задач исследования природных ресурсов

Земли решал задачи метеорологии и проводил гелиогеофизические наблюдения.

История создания КА «Ресурс-О1» № 4 достаточно сложна и насыщена различными организационными мероприятиями. А именно, в конце 1995 г. по предложению Главных конструкторов Российского космического агентства (РКА) было принято решение о введении в состав практически изготовленного КА «Ресурс-О1» № 4 комплекса приборов метеорологического и гелиогеофизического назначения, а также серьёзной модернизации экоприродно-ресурсного комплекса.

В 1996 г. Франция предложила установить сканирующий радиометр радиационного баланса Земли (СРРБ). Для этого надо было решить ряд вопросов по интеграции прибора в состав информационного комплекса КА.

Прибор имел большое научное значение для изучения динамических процессов в отношении климата нашей планеты. Кроме того, немаловажное значение имело привлечение зарубежных инвестиций в российский космос. Измерения же радиационного баланса Земли, проводимые совместно с метеорологическими и океанографическими наблюдениями позволяли определить многочисленные параметры моделей общей циркуляции, которые можно с успехом использовать для изучения климатической системы и для прогнозирования погоды. Измерения радиационного баланса,

проводимые СРРБ на протяжённом отрезке времени, могли иметь определяющую роль в понимании явлений, отвечающих за изменение и эволюцию климата.

Таким образом, кроме традиционного природно-ресурсного комплекса, в составе КА «Ресурс-О1» №4 присутствовали:

- аппаратура для проведения радиационно-метрических, гелиогеофизических, а также метеорологических измерений;

- комплекс отечественной модернизированной сканирующей аппаратуры, обеспечивающий федеральных и региональных потребителей природно-ресурсной и экологической информацией;

- комплекс бортовой аппаратуры метеорологического назначения, наряду с российскими приборами содержащий французскую аппаратуру контроля радиационного баланса;

- комплекс геофизической аппаратуры, кроме двух российских приборов, в состав которого вошёл итальянский спектрометр заряженных частиц.

Основные технические характеристики КА «Ресурс-О1» № 4

Параметры орбиты:

– тип	Солнечно-синхронная
– средняя высота, км	835
– наклонение, град	98,750
Ориентация и стабилизация КА:	
– тип стабилизации;	По трём осям
– точность ориентации на Землю, угл. мин	10
– по вектору скорости, угл. мин	30
– точность стабилизации, град/с	0,005
Точность географической привязки информации, км	3 – 5
Масса КА, кг	2444 (без пяти отделяемых малых КА общей массой 236, 6 кг)
Масса не отделяемой полезной нагрузки, кг	1012
Габаритные размеры КА под обтекателем, мм:	
– длина;	7000
– диаметр	2600
Срок активного существования, год	2
Информативность, Мбит/с	61,44
Ракета-носитель	«Зенит»



Рис. 1. Космический аппарат «Ресурс-О1» № 4

Общий вид КА «Ресурс-О1» № 4 приведён на рис. 1.

В состав бортовой информационно-измерительной аппаратуры КА «Ресурс-О1» № 4 входили:

- многоканальное оптико-электронное сканирующее устройство высокого разрешения МСУ-Э (два комплекта);

- многоканальное оптико-механическое сканирующее устройство среднего разрешения с конической развёрткой МСУ-СК (два комплекта);

- телевизионный метеорологический обзорный радиометр МР-900М (Россия);

- радиометрический комплекс РМК-М (Россия – Белоруссия);

- сканирующий радиометр радиационного баланса СРРБ (Франция);

- измеритель солнечной постоянной (ИСП-2) (Россия);

- малогабаритный телескоп для измерения характеристик потоков заряженных частиц «Nina» (Италия);

- двунаправленная система связи для наземных корреспондентов «ИРИС» (Германия – Бельгия) на коммерческой основе два раза в сутки.

Характеристики аппаратуры представлены в табл. 1.

КА «Ресурс-О1» по своим габаритно-массовым возможностям позволял устанавливать дополнительную бортовую информационную аппаратуру. С учётом этого, по решению РКА, на КА «Ресурс-О1» № 4, наряду со сканерами МСУ-Э и МСУ-СК, была установлена дополнительная гидрометеорологическая аппаратура МР-900М, РМК-М и ИСП-2, а также зарубежные приборы СРРБ, «Nina» и ИРИС (см. табл. 1), что позволило совместить на одном КА функции двух аппаратов (КА «Ресурс-О1» и «Метеор-3»).

Таблица 1

Характеристики бортовой информационно-измерительной аппаратуры КА «Ресурс-О1» № 4

Аппаратура	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, м	Полоса обзора, км	Масса, кг	Энергопотребление, Вт
Многоканальный оптико-электронный сканер высокого разрешения МСУ-Э	0,5 – 0,6 0,6 – 0,7 0,8 – 0,9	40 (поперёк направления полёта), 30 (вдоль направления полёта)	62 – в зоне обзора, 800 (110 – в режиме работы одновременно двух приборов)	33	150
Многоканальное оптико-механическое сканирующее устройство среднего разрешения с конической разверткой МСУ-СК	0,5 – 0,6 0,6 – 0,7 0,7 – 0,8 0,8 – 1,1 10,4 – 12,6 3,5 – 4,1	150 150 150 150 600	736		
Сканирующий радиометр радиационного баланса СРРБ	0,55 – 0,65 0,2 – 4,0 0,2 – 50,0 10,5 – 12,5	60	2200	40	40
Измеритель солнечной постоянной ИСП-2	0,2 – 10,5 0,3 – 3,0				
Телескоп заряженных частиц «Nina»	Общий объём памяти для хранения научной информации 14 Мбайт Скорость передачи информации 10 Кбайт/с				
Телевизионная метеорологическая аппаратура МР-900М	Видимый и ближний ИК-диапазон Ширина полосы обзора 2500 км Разрешение 1,6 × 1,8 км Передача данных по радиолинии 137 МГц				
Радиационно-магнитометрический комплекс РМК-М	Диапазон по энергиям частиц: 1 – 90 МэВ (протоны); 0,17 – 3,0 МэВ (электроны)				
Бортовой магнитофон	Запись в течение 6 – 6,5 мин со скоростью информационного потока 15,36 Мбит/с				
Радиолиния передачи информации 8192 МГц Информативность 61,44 Мбит/с	Приём данных: НИЦ «Планета» – г. Обнинск				
Информативность 15,36 Мбит/с	Приём данных: – в центрах Росгидромета (НИЦ «Планета» – гг. Обнинск, Долгопрудный; – малые станции приёма				
Двунаправленная система связи ИРИС: – диапазон 8,2 ГГц (используется также радиолиния 1,7 ГГц); – информативность 15,36/61,44 Мбит/с	Приём данных в режимах НП и ЗУ (мониторинг или заявки потребителей) Приём данных: – основной центр приёма и обработки данных (г. Москва); – региональный центр приёма и обработки данных (г. Новосибирск); – малые станции				

ПРИМЕЧАНИЕ. Приведённые характеристики соответствуют средней высоте орбиты – 835 км.

В связи с требованиями потребителей по улучшению качества получаемой информации и более эффективному её использованию были проведены работы по совершенствованию уже созданной и отработанной аппаратуры.

В частности, многозональные сканирующие устройства МСУ-Э и МСУ-СК, установленные на КА «Ресурс-О1» № 4, имели улучшенные характеристики по сравнению с приборами, использованными на КА «Ресурс-О1» № 3 [2].

В приборе МСУ-Э в 2 раза было повышено угловое разрешение и примерно на 12 % увеличен угол поля зрения прибора.

В многозональном сканирующем устройстве МСУ-СК было существенно улучшено отношение сигнал/шум в видимых и ближних ИК-диапазонах, введён новый шестой спектральный канал 3,5 – 4,1 мкм, позволяющий обеспечить обнаружение очагов пожаров, введён дополнительный режим, позволивший расширить гистограммы сигналов коротковолновых спектральных каналов, было повышено пространственное разрешение вдоль строки и оптимизирован динамический диапазон наблюдений.

В приборах МСУ-Э и МСУ-К был введён цифровой обмен данными с помощью бортовой информационной системы.

Увеличение средней высоты орбиты КА «Ресурс-О1» № 4 до 835 км позволило расширить полосу захвата МСУ-Э до 62 км, а МСУ-СК до 736 км. При этом разрешение составляло 30 и 150 м соответственно в видимом диапазоне и 600 м в ИК-диапазоне.

КА «Ресурс-О1» № 4 на орбите представлен на рис. 2.

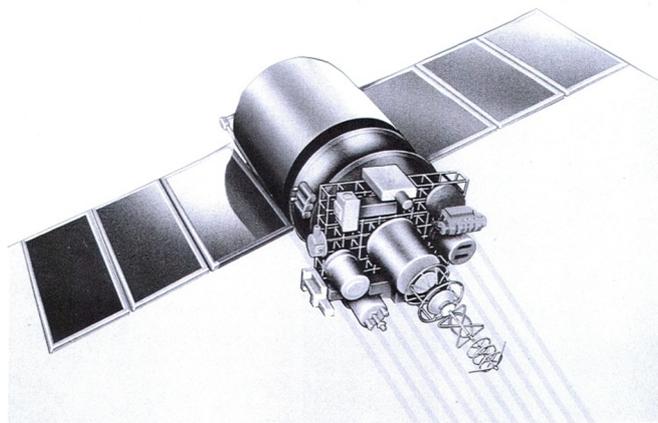


Рис. 2. КА «Ресурс-О1» № 4 на орбите

Остальные характеристики МСУ-Э и МСУ-СК были практически теми же, что и для КА «Ресурс-О1» № 3.

Унифицированная программируемая бортовая информационная система БИСУ-ПР имела следующие основные характеристики:

- максимальная скорость передачи информации на региональные ППИ в режимах НП и НП+ ВИ – 61,44 Мбит/с, на сеть малых приёмных пунктов в режиме НП – 15,36 Мбит/с;

- максимальная скорость запоминания (ЗИ) и воспроизведения информации (ВИ) – 15,36 Мбит/с;

- максимальное время ЗИ и ВИ на одном витке при информационном потоке 15,36 Мбит/с – 6 – 7 мин и работе одного ЗУ. При последовательной работе двух ЗУ (экспериментальный режим) – 12 – 14 мин;

- максимальное время передачи информации на одном витке в режимах НП и НП + ВИ – до 12 мин;

- несущую частоту передатчика – 8192 МГц;

- мощность передатчика – не менее 10 Вт.

По данному радиоканалу могла передаваться одновременно информация от МСУ-Э, МСУ-СК, РМК-М, ИСП-2, СРРБ и «Nina».

Телевизионная аппаратура МР-900Р, предназначенная для получения телевизионных снимков облачности и подстилающей поверхности на освещённых участках витка, имела следующие основные технические характеристики:

- полосу захвата – не менее 2500 км;

- разрешение на местности – не хуже $1,6 \times 1,8$ км;

- количество спектральных зон – 1;

- номинальное значение спектрального диапазона – 0,5 – 0,8 мкм.

Информация от МР-900Р передавалась по отдельной радиолинии, работающей в диапазоне частот 137 – 138 МГц, которая входила в состав телевизионной аппаратуры.

Установка аппаратуры гидрометеорологического назначения позволила наряду с указанными выше задачами получать дополнительную информацию о:

- состоянии облачности и подстилающей поверхности;

- радиационной обстановке в околоземном космическом пространстве;

- плотности потоков электронов и протонов;

- потоках заряженных частиц и нестационарных явлениях.

Бортовая аппаратура и КА «Ресурс-О1» № 4 в целом имели срок службы не менее 2 лет.

Установка прибора СРРБ на КА «Ресурс-О1» № 4 была связана с трудностями по обеспечению электрического интерфейса прибора и аппарата.

В результате был создан уникальный блок-адаптер, в котором впервые была использована в условиях космоса ЭВМ на базе микро-РС зарубежного производства. Аналогичный адаптер был разработан и для российско-итальянского малогабаритного спектрометра заряженных частиц «Nina».

Пять отдельных микроспутников различных стран, установленных на КА «Ресурс-О1» № 4, стали уникальным примером международного сотрудничества и позволили успешно решить сложные задачи интеграции и отделения попутной нагрузки от основного КА [3].

Микроспутник «WESTRAC» австралийско-российской разработки представлял собой пассивный КА – сферу с лазерными уголковыми отражателями. Разработанный механизм поддержания положения центра масс КА с точностью 0,5 мм позволял использовать его как объект с очень малым собственным смещением и определять по его наблюдениям изменения координат наземных станций.

Микроспутник «SAFIR-2» немецкой разработки имел двунаправленную систему связи для наземных корреспондентов.

Подобный ретранслятор («SAFIR-1») был установлен в качестве неотделяемой полезной нагрузки и отработан на предыдущем КА «Ресурс-О1» № 3.

«Tech Sat – 2» являлся вторым по счёту израильским микроспутником, разработанным Техническим университетом г. Хайфы (Израиль). Его задачей являлись испытания оборудования и проведения экспериментов в области связи, дистанционного зондирования, астрономии и наук о Земле. Он был призван продемонстрировать эффективность микроспутников для решения широкого круга задач.

«FASat – Bravo» – микроспутник английской разработки, выполненной по заказу Чили. Главной задачей спутника являлось слежение за состоянием озонового слоя над территорией Чили. Кроме того, на «FASat – Bravo» была установлена система отображения Земли.

«TM Sat» – микроспутник английской разработки, в изготовлении которого впервые принимали участие тайландские специалисты. На нём был установлен ряд новых экспериментальных полезных нагрузок, включая цифровую систему обработки сигналов, предназначенную для исследования способов улучшения спутниковой связи. В комплект входили широкоугольная и узкоугольная

видеокамеры, способные получать многозональные снимки земной поверхности с разрешением до 100 м.

ЛКИ КА «Ресурс-О1» № 4 проходили в три этапа:

– 1-й этап – отделение микроспутников прошло точно в запланированные сроки без замечаний, и отделенные спутники по имеющимся данным функционировали нормально;

– 2-й этап – проведение ЛКИ служебных (обеспечивающих) систем КА. После успокоения и поиска ориентиров КА вошёл в штатный режим работы, и все обеспечивающие системы функционировали нормально;

– 3-й этап, предусматривающий испытания информационных систем с обеспечивающими комплексами КА в части управления и передачи информации, выявил ряд отклонений в работе КА.

После двух суток нормальной работы МР-900Р произошёл отказ передатчика (сразу же после его включения). Методом подбора режимов работы и сочетанием команд управления удалось восстановить работу аппаратуры и начать её штатную эксплуатацию в интересах Росгидромета.

Совершенно неожиданно 03.09.98 г. БПВУ не выдал 4 команды, отсутствие которых не позволило отключить передатчик БИК в конце зоны связи, и КА ушёл из зоны видимости на несколько витков с включённым передатчиком, что привело к его отказу.

Переход на резервный комплект матрицы БКА восстановил нормальную работу БПВУ, и в дальнейшем сбоя в работе БПВУ не наблюдалось.

Однако 20.08.98 г. блок сопряжения (блок ЕМ) аппаратуры СРРБ, РМК и ИСП-2 с передающим устройством перестал воспринимать управляющие команды. По результатам анализа наиболее вероятной причиной выхода из строя блока ЕМ представлялся отказ микро-РС зарубежного производства.

Переход на резервный комплект блока ЕМ восстановил его нормальную работу.

Уникальной чертой КА серии «Ресурс-О1» являлась возможность получения детальной информации с обширной территории за счёт одновременного включения сканеров среднего и высокого разрешения МСУ-СК и МСУ-Э, т. е. получение изображений одновременно в различных диапазонах спектра при различном разрешении на местности.

Во всех режимах работы передача видеoinформации со сканирующих устройств сопровождалась передачей вспомогательной телеметрической информации, которая использовалась как для опера-

тивного контроля некоторых параметров аппаратуры бортового измерительного комплекса, так и для пространственной привязки, геометрической и фотометрической коррекции видеоинформации при её вторичной обработке на средствах потребителя.

Приём и регистрация данных ДЗ, передаваемых КА «Ресурс-О1», осуществлялась в Главном (г. Обнинск) и региональных (гг. Новосибирск и Хабаровск) центрах приёма, регистрации и первичной обработки данных Росгидромета, а также на АППИ и пунктах приёма, расположенных в других государствах (Швеция, Италия, Германия).

Все проведённые работы в ходе ЛКИ КА «Ресурс-О1» № 4 и штатное использование информационного комплекса КА позволили Государственной комиссии 29 января 1999 г. принять решение о

выполнении «Программы ЛКИ КА «Ресурс-О1» № 4» в полном объёме и рекомендовать использовать КА для решения целевых задач без ограничения в соответствии с «Положением о порядке проведения съёмки поверхности Земли с КА «Ресурс-О1».

В целом КА «Ресурс-О1» № 4 обеспечивал оперативное получение в течение суток 6 – 8 изображений подстилающей поверхности Земли и облачного покрова в режиме непосредственной передачи вдоль маршрута протяжённостью 4 – 5 тыс. км, а также планируемого числа записанных в бортовом запоминающем устройстве изображений с территорий, находящихся вне зоны радиовидимости пунктов приёма информации [4].

В табл. 2 представлены результаты эксплуатации КА «Ресурс-О1» № 3 и № 4.

Таблица 2

Статистика оперативного мониторинга с помощью КА «Ресурс-О1» № 3 и № 4 (покрытие многоспектральной информацией среднего разрешения)

Годы	Количество информационных сеансов в год		Суммарная площадь покрытия в год, млн. кв. км		Среднемесячное количество сеансов		Средняя площадь месячного покрытия, млн. кв. км	
	НП	ЗИ-ВИ	НП	ЗИ-ВИ	НП	ЗИ-ВИ	НП	ЗИ-ВИ
1995	652	56	910	78	72	6	100	8,5
1996	510	169	715	236	56	19	78	27
1997	1188	131	1660	183	132	14	185	20
1998	1239	75	1730	105	138	8	193	11
1999	1109	25	1550	35	123	3	172	4
2000	461	–	645	–	77	–	108	–
Сумма	5159	456	7210	637				

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Расчётная площадь 6-минутного сеанса МСУ-СК-1,4 млн. кв. км.
2. Информационные сеансы одновременно работающих сканеров среднего и высокого разрешения (МСУ-СК + МСУ-Э) составляли ~ 65%.
3. Информационные сеансы всех каналов МСУ-СК составляли 35%.
4. За 6 лет вся территория России (17 млн. кв. км) просмотрена 425 раз, в среднем 5 раз в месяц, в 1998 г. (при 15 станциях приёма) – 11 раз в месяц.
5. Суммарная площадь покрытия зарубежных территорий составляла 890 млн. кв. км.

Получаемая информация использовалась в сельском хозяйстве, геологии, лесном хозяйстве, метеорологии, мелиорации.

Литература

1. Стома С. А., Трифионов Ю. В. От «Омеги» к космическим метеорологическим системам // Космический бюллетень. – 1998. – Т. 5. – № 4.
 2. Новиков М. В., Тучин Ю. М., Бабенков В. Ф. Бортовые информационные комплексы КА «Ресурс-О1» //

Труды ВНИИЭМ. Проблемы создания и эксплуатации космических аппаратов оперативного наблюдения Земли. – 1999. – Т. 99. – С. 73 –82.
 3. Горбунов А. В. Космическая система «Ресурс-О1» // Труды ВНИИЭМ. Проблемы создания и эксплуатации космических аппаратов оперативного наблюдения Земли. – 1999. – Т. 99. – С. 5 –17.
 4. Трифионов Ю. В., Горбунов А. В. Опыт эксплуатации космических систем и аппаратов «Электро» и «Ресурс-О» // Электротехника. – 1999. – № 6.

Поступила в редакцию 15.12.2015

*Леонид Алексеевич Макриденко, д-р техн. наук, генеральный директор, т. (495) 365-56-10.
Сергей Николаевич Волков, д-р техн. наук, 1-й зам. генерального директора, т. (495) 366-42-56.
Александр Викторович Горбунов, канд. техн. наук, зам. генерального директора, т. (495) 623-41-81.
Владимир Павлович Ходненко, д-р техн. наук, главный научн. сотрудник, т. (495) 624-94-98.
E-mail: vniiem@orc.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

'RESURS-01' №4 SPACE CRAFT INTENDED FOR METEOROLOGICAL, HELIOGEOGRAPHICAL, NATURE AND RESOURCE APPLICATIONS

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

Differences of 'Resurs-01' №4 space craft in terms of performed tasks and data characteristics from the preceding SC of that series have been presented. Basic specifications of 'Resurs-01' №4 SC as well as its on-board measurement equipment are provided. Installation of the hydrometeorological equipment allowed extending the list of performed tasks. In addition foreign equipment has been installed on 'Resurs-01' №4 SC: Scanning radiation budget radiometer and 'Nina' charged particles telescope. Five foreign microsattellites have been launched simultaneously with 'Resurs-01' №4. Major advantage of 'Resurs-01' №4 series SC is the ability to receive detailed information from vast areas due to a simultaneous use of both medium and high resolution scanners MSU-SK and MSU-E (receiving images simultaneously in various spectral ranges under various ground resolution parameters. Statistical data is provided regarding the operative monitoring using 'Resurs-01' №3 and №4 SC. Operation of 'Resurs-01' space segment comprising 'Resurs-01' №3 and 'Resurs-01' №4 SC has been successfully initiated upon launching the advanced 'Resurs-01' №4 SC on July 10, 1998.

Key words: space craft, on-board information segment, electrooptical scanner, optomechanical scanner, on-board information system, scanning radiation budget radiometer, television meteorological equipment, microsattellites.

List of References

1. Stoma S. A., Trifonov Yu. V. From 'Omega' to space meteorological systems // Space bulletin. – 1998. – Т. 5. – № 4.
2. Novikov M. V., Tuchin Yu. M., Babenkov V. F. On-board information segments of 'Resurs-01' SC // VNIIEМ Proceedings. Design and operational issues of Earth operative monitoring SC. – 1999. – Т. 99. – Pp. 73 – 82.
3. Gorbunov A. V. 'Resurs-01' space system // VNIIEМ Proceedings. Design and operational issues of Earth operative monitoring SC. – 1999. – Т. 99. – Pp. 5 – 17.
4. Trifonov Yu. V., Gorbunov A. V. 'Electro' and 'Resurs-O' space crafts and space systems operation experience // Electric engineering. – 1999. – № 6.

*Leonid Alekseevich Makridenko, D. Sc. (Tech.), Director General, tel. (495) 365-56-10.
Sergey Nikolaevich Volkov, D. Sc. (Tech), 1st Deputy Director General, tel. (495) 366-42-56.
Aleksandr Victorovich Gorbunov, Ph. D. (Tech.), Deputy Director General, tel. (495) 623-41-81.
Vladimir Pavlovich Khodnenko, D. Sc. (Tech.), Chief Researcher, tel. (495) 624-94-98.
E-mail: vniiem@orc.ru.
(JC 'VNIIEМ Corporation').*