

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 531.383 : 629.78

Аншаков Г.П., Ахметов Р.Н., Кирилин А.Н., Макаров В.П., Стратилатов Н.Р.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГНПРКЦ «ЦСКБ – ПРОГРЕСС» ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И РАЗРАБОТКАМ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Введение

Производство серийных автоматических низкоорбитальных средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в Государственном научно-производственном ракетно-космическом центре (ГНПРКЦ) «ЦСКБ – Прогресс» осуществляется с 1964 г. До 2002 г. оно проводилось под руководством член-корреспондента РАН Д.И. Козлова, которого, к сожалению, 7 марта 2009 года не стало. Его светлой памяти посвящается эта статья.

За более чем 40-летнюю историю создания ракетно-космических комплексов различного назначения и класса космические средства зондирования получили значительное развитие. От эпизодических запусков одиночных космических аппаратов (КА) до постоянно действующих систем ДЗЗ из нескольких маневрирующих на орбите автоматических КА с высоким уровнем автономности функционирования. Это позволило оперативно получать и доставлять необходимую целевую информацию в интересах не только отечественных, но и зарубежных потребителей. Наряду с космической тематикой, дальнейшее развитие получило направление работ в области создания новых ракет-носителей среднего класса, высокая надёжность которых получила широкое признание не только в нашей стране, но и у зарубежных заказчиков.

1. Основные типы космических аппаратов разработки ГНПРКЦ

Всего Центром обеспечено создание 27 типов КА в интересах различных ведомств страны и выведено на рабочие орбиты более 960 КА собственной разработки [1]. Начиная с КА серии «Зенит», которых создано 8 типов, постоянно совершенствовалась их конструктивно-аппаратурная база и наращивались целевые характеристики. В результате этого был создан ряд КА ДЗЗ: «Фрам», «Ресурс-Ф1», «Ресурс-Ф2», а также «Янтарь» и другие с доставкой информации на Землю в спускаемых аппаратах и капсулах (рис. 1). Такие КА успешно решали задачи детального и обзорного зондирования Земли, в том числе (с 1982 г.), задачи оптикоэлектронного наблюдения с передачей информации по радиоканалу через спутник-ретранслятор, что позволило довести опера-

тивность получения информации до масштаба времени, близкого к реальному.



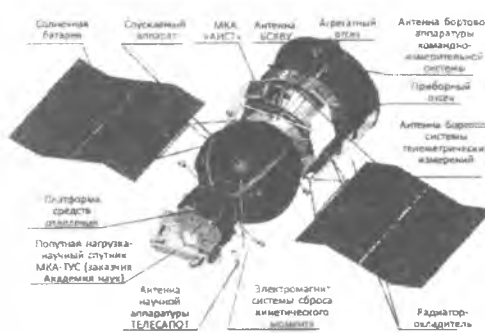
Рис. 1. Космические аппараты дистанционного зондирования Земли производства ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

В области создания картографических космических комплексов Центр является единственным предприятием, обладающим реальным опытом создания штатно эксплуатировавшихся картографических КА. Начиная с запущенного в 1971 г. КА «Зенит-МТ», а затем, в период с 1981 по 2005 гг., с помощью более совершенного КА «Комета», успешно решались задачи создания топографических карт в интересах различных ведомств. В настоящее время завершаются исследования и конструкторские проработки в обеспечении создания картографической космической системы нового поколения на основе использования перспективной аппаратурной базы.

В период с 60-х до начала 90-х годов с помощью КА детального фотонаблюдения «Ресурс-Ф», входившего в состав комплексной природо-ресурсной системы под общим наименованием «Ресурс», решались разнообразные прикладные задачи. В том числе, при проектировании Байкало-Амурской магистрали и магистральных газо- и нефтепроводов, при определении районов, пригодных для геологической разведки нефти, газа и других природных ресурсов, при проведении оценки последствий стихийных бедствий.

Одновременно на той же конструктивной базе разработаны КА типа «Бийон» для проведения научных медико-биологических исследований, а также КА типа «Фотон» для проведения технологических экспериментов. Постоянное развитие этого направления в Центре позволило в сентябре 2007 г. осуществить успешный полёт очередного модернизированного КА «Фотон-М». В настоящее время формируется программа научных экспериментов и ведётся изготовление очередных КА типа «Фотон-М», а также КА типа «Бийон-М», общий вид которого и основные характеристики представлены на рис. 2.

Назначение: Проведение исследований в области космической биологии, физиологии, биотехнологии и радиационной биологии в интересах решения фундаментальных и прикладных проблем, связанных с длительными космическими полетами человека и экстремальными условиями жизнедеятельности.
 Очередные запуски «Бион- М» №1 – 2012г., «Бион- М» № 2 – 2014г.



Основные характеристики

Характеристика	Значение
Параметры работы орбиты: - околоразумная - средняя высота - наклонение	400-450км 64,9°
Масса космического аппарата	6446-6840кг
Масса научной аппаратуры: - размещаемой внутри спускаемого аппарата - размещаемой на внешней поверхности	650-850кг 250кг
Энергообеспечение: - среднесуточное электропотребление обеспечивающей аппаратуры - среднесуточное электропотребление научной аппаратуры	550Вт 450Вт
Срок активного существования	45 суток
Ракета-носитель	«Союз-3» этап 1а, 1б
Космодром запуска	Байконур

Доставка научной информации на Землю:
 - по телеметрическому каналу на приёмные станции, расположенные на территории России;
 - в спускаемом аппарате с использованием «мягкой» посадки

Рис. 2. Космический аппарат «Бион-М»

В результате исследований, проведённых Центром при кооперации с основными исполнителями, накоплен значительный научно-технический задел, который с учётом современных достижений в области вычислительной, электронной и радиопередающей техники позволил создать оптикоэлектронный космический комплекс (КК) «Ресурс-ДК1» (рис. 1). Его основными целевыми функциями являются:

- получение в масштабе времени, близком к реальному, высокоинформативных изображений наблюдаемых объектов в различных диапазонах спектра излучений с линейным разрешением на местности (с высоты $H = 350$ км) в панхроматическом диапазоне около 1 м и в трёх узких спектральных диапазонах – 1,6 - 1,8 м;
- обеспечение оперативной доставки целевой информации по радиоканалу непосредственно на наземные пункты;
- обработка в наземном центре получаемой целевой информации и представление её в форме, удобной для потребителей.

После трёх лет успешной штатной эксплуатации можно констатировать, что на сегодня это единственный успешно эксплуатирующийся в России космический комплекс, который обеспечивает детальное наблюдение в панхроматическом диапазоне и многозональную съёмку земной поверхности.

При этом в штатном режиме осуществляются процессы оперативной доставки

изображений по высокоскоростной радиолинии на наземные пункты приёма, их обработка и распространение информации в интересах социально-экономического развития России и международного сотрудничества. Достигнутые этим комплексом основные целевые характеристики соответствуют уровню действующих зарубежных КА аналогичного типа (а по ширине полосы захвата и максимальной производительности даже превосходят их), что позволило восстановить паритет России по получению детальной информации (с разрешением до 1 м).

КА «Ресурс-ДК1» выполняет также функции орбитальной платформы – носителя инструментальных средств для проведения фундаментальных научных исследований, в том числе, в интересах зарубежных заказчиков.

Так, с помощью научной аппаратуры «Памела» (Италия) российскими и зарубежными научными организациями проводятся совместные экспериментальные исследования высокоэнергетичных частиц и античастиц космического излучения (протонов, ядер, электронов, антипротонов, позитронов). Полученные результаты являются в настоящее время наиболее обсуждаемыми в научной литературе, в том числе, впервые выявленное явление, называемое «аномальный эффект Памелы» (отношение позитронов к полному потоку электронов и позитронов растёт с ростом энергии частиц, что не соответствует известным теоретическим представлениям). С помощью другой научной аппаратуры – «Арина» (Россия), предназначенной для регистрации и выделения высокоэнергетичных заряженных частиц – предвестников землетрясений, исследуется возможность прогнозирования пространственных областей с эпицентрами землетрясений, которые могут произойти в предстоящие несколько часов.

Достижение высоких показателей КК «Ресурс-ДК1» базируется на исследованиях и практической реализации ряда новых научно-технических решений. В том числе, связанных с разработкой оптикоэлектронной целевой аппаратуры (ЦА), высокоскоростной радиолинии передачи информации, автономного управления штатным функционированием КА на основе высокоточных данных от бортовой системы спутниковой навигации и системы пространственной прецизионной ориентации КА в требуемом положении.

К числу наиболее значимых факторов, которые определяют особенность и сложность управления низкоорбитальных высокоинформативных КА наблюдения от других типов КА, относятся следующие:

- нестационарные и случайные возмущающие воздействия от набегающего потока верхней атмосферы, вследствие полёта КА с переменной геометрией на низких эллип-

тических орбитах (с целью достижения высокого разрешения);

- необходимость решения на борту КА задачи высокоточного наведения оси ЦА на любой объект (маршрут) наблюдения из заданной их совокупности;
- необходимость многократного прецизионного перенацеливания КА в одном сеансе наблюдения с одного наблюдаемого объекта (маршрута) на другой, произвольно расположенный относительно трассы полёта;
- необходимость управления сдвигом («смазом») изображения в фокальной плоскости ЦА для получения информации высокого разрешения, в том числе, путём управления угловым движением КА.

Из анализа этих факторов следует, что типовые процессы зондирования совокупности объектов, произвольно расположенных относительно трассы полёта, связаны с организацией сложных пространственных угловых движений КА. Их реализация потребовала решения ряда проблем высокоточного управления движением КА, обеспечивающих исключение сдвига изображения в процессе экспонирования и необходимую динамику движения КА как на маршрутах, так и на межмаршрутных интервалах [4].

Определяющими среди этих проблем для КА «Ресурс-ДК1» оказались следующие:

- исследования динамики и автоматизации проектирования прецизионных гиросиловых СУД при внешних и параметрических возмущениях, при неполном измерении вектора состояния, с учётом упругих колебаний и подвижности элементов конструкции КА;
- автономный синтез в БКУ программ управления угловым движением, обеспечивающих заданный вектор «бега изображения» в фокальной плоскости ЦА на маршрутах, а также соответствующие (с гладкими переходами) межмаршрутные движения;
- синтез структуры и алгоритмов прецизионного управления программным движением упруго-деформируемого КА с явной настройкой силового гироскопического комплекса для исключения его сингулярных состояний и «невозбуждения» упругих колебаний КА.

Решение отмеченных проблем потребовало провести комплекс исследований и разработок соответствующих измерительных и силовых структурных элементов бортового комплекса управления (БКУ), а также эффективных бортовых управляющих алгоритмов, реализованных в бортовой вычислительной системе (БВС). Это позволило создать «Ресурс-ДК1» как автоматический КА с высокой степенью автономности. При

этом общая организация управления применением КА по целевому назначению осуществляется в основном существующими средствами – распределённой автоматизированной системой управления (АСУ КА).

Следует отметить, что структурно АСУ КА реализована традиционно в виде бортового (БКУ) и наземного комплексов управления (НКУ), связанных между собой командной радиолинией управления и радиолинией бортовой телеметрической системы. Однако распределение задач управления полётом КА между БКУ и НКУ построено на совершенно новых принципах. Их основой является максимально возможная автономность управления функционированием КА и его бортовых систем, достигающая уровня 90 % [1, 3]. Это стало возможным, благодаря оснащению БКУ современных КА ДЗЗ мощными бортовыми вычислительными машинами (БЦВМ) или локальной сетью таких машин. С их помощью проводится сложная логическая обработка данных, полученных на борту КА, что позволяет множество задач управления полётом КА выполнять непосредственно бортовыми средствами.

Являясь активным и динамичным элементом в системе зондирования, КА с помощью автономных бортовых средств осуществляет (по заданиям с НКУ) выведение (или доставку) целевой аппаратуры (ЦА) непосредственно в район наблюдения, получение, запоминание, предварительную обработку и привязку полученной информации, обеспечивает передачу информации на наземные приёмные пункты.

Передаваемые с НКУ рабочие программы-задания для КА и ЦА включают в себя только географические координаты наблюдаемых объектов и некоторые технологические данные.

Полномасштабную временную программу (или циклограмму) работы бортовых систем, которая обеспечивает реализацию заданной НКУ совокупности целей, формирует уже БКУ по текущей навигационной информации, определяемой бортовыми средствами.

Этот способ управления стимулировал появление и развитие средств автономной бортовой навигации КА и бортовых программных средств баллистического обеспечения, благодаря чему определение параметров движения центра масс (ПДЦМ) КА становится возможным с более высокой точностью и в любое необходимое время. На КА «Ресурсе-ДК1» штатно эксплуатируется спутниковая система навигации (ССН) с использованием радионавигационного поля ГЛОНАСС и GPS. Она в автоматическом режиме обеспечивает высокоточными навигационными данными как бортовым потребителям, так и потребителей наземной инфраструктуры, предназначенной для органи-

зации эксплуатации КА.

С помощью такой навигационной системы уже на первом этапе лётно-конструкторских испытаний КА «Ресурс-ДК1» получены достаточно высокие характеристики. На рис. 3 приведены погрешности ПДЦМ КА по дальности. Они значительно (в 5-7 раз) превышают точности, ранее достигаемые другими средствами, и являются отправным пунктом для дальнейшего их улучшения на основе совершенствования бортовых программных средств.

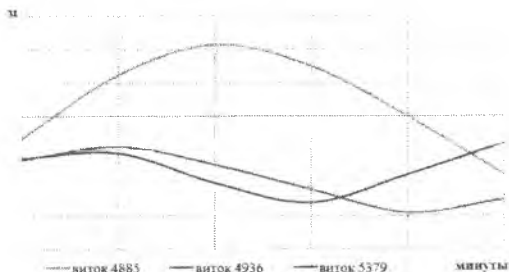


Рис. 3. Точность навигационного обеспечения КА «Ресурс-ДК1» на основе ССН

В свою очередь, это позволило повысить такие характеристики процесса зондирования, как разрешение на местности, производительность, оперативность и существенно упростить процесс эксплуатации КА по целевому назначению. Этому способствовало также то, что все отмеченные особенности решения задач зондирования Земли из космоса удалось реализовать в структуре процессов функционирования КА «Ресурс-ДК1», в характеристиках целевой аппаратуры (ЦА) и обеспечивающих бортовых систем, в составе и структуре наземного и бортового комплексов управления.

На рис. 4 представлена общая структура бортового комплекса управления современных КА ДЗЗ [3, 4].

Основой БКУ является организующая система (ОС), которая обеспечивает требуемый уровень автономности решения штатных задач и управление в аномальных ситуациях. В структуру ОС входит ряд функциональных элементов (подсистем), реализованных в виде совокупностей бортовых программ.

Верхний уровень – подсистема принятия решений и координации управления КА – обеспечивает взаимосвязанное функционирование всех подсистем ОС, исходя из текущей обстановки на борту КА.

Нижний уровень – подсистема исполнения принятых решений, т. е. команд управления на бортовые системы. В ряде случаев структурный состав этого уровня мо-

жет дополняться и другими подсистемами, в частности, управления живучестью и полётной калибровкой бортовых средств [2, 3, 4].



Рис. 4. Общая структура бортового комплекса управления

Наличие трёх автономных подсистем среднего уровня (бортовое планирование, контрольно-диагностическое и баллистико-навигационное обеспечение) обеспечивает требуемый уровень автономности полёта КА (до нескольких суток) с сохранением высокой производительности проведения целевых работ. Функциональное наполнение этих подсистем определяет степень интеллектуализации процессов управления (или их автономности).

Для управления КА, как сложной технической системой (в условиях неопределённости), необходима информация, отражающая следующие состояния:

- текущее состояние КА и его бортовых систем;
- состояние КА и его систем в прошедшие моменты времени;
- прогнозируемые состояния КА и его систем на заданные моменты времени, t_2 ;
- изменение состояния бортовых систем на интервале до t_3 ;
- модели функционирования КА и его систем во взаимодействии с окружающей средой на текущий момент и на прогнозируемые интервалы времени.

Достигнутые высокие тактико-технические характеристики КК «Ресурс-ДК1», а также существенный технологический задел, созданный в Центре и на смежных предприятиях, свидетельствуют о его значительных потенциальных возможностях. Это по-

служило основанием для ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс» продолжить исследования в интересах разработки перспективной космической системы (КС) оптикоэлектронного наблюдения из двух КА «Ресурс-П» и выиграть в 2007 г. конкурс Роскосмоса. Именно поэтому КА № 1 «Ресурс-П» базируется в основном на конструктивно-аппаратном заделе КА «Ресурс-ДК1» и учитывает позитивные результаты проектных исследований и наработок по повышению его целевых показателей. Хотя порядок создания и облик КА «Ресурс-П» № 2 определяются после запуска первого КА, Центр уже сейчас прорабатывает возможные варианты его исполнения. Облик одного из вариантов этого аппарата представлен на рис. 5. Его особенность состоит в негерметичном исполнении отсеков при значительном уменьшении габаритных размеров и массы по отношению к КА № 1



Рис. 5. Общий вид КА «Ресурс-П» № 2

Для космических систем оптикоэлектронного наблюдения одним из важнейших является вопрос приёма, обработки и распространения (доставки потребителям) получаемой целевой информации. При создании перспективных КС подобного класса целесообразно использовать результаты, достигнутые при проектировании и эксплуатации комплекса «Ресурс-ДК1».

2. Центр приёма и обработки информации «ЦСКБ – Прогресс»

На начальной стадии полёта КА «Ресурс-ДК1» приём, обработка и распространение получаемой целевой информации осуществлялось отраслевым информационным центром ДЗЗ Роскосмоса – Научным центром оперативного мониторинга Земли (НЦ

ОМЗ). Затем выявилась необходимость использования дополнительных пунктов – региональных. В настоящее время информация с КА ДЗЗ может получаться уже в четырёх пунктах приёма. В том числе, Центром приёма и обработки информации ГНП РКЦ «ЦСКБ – Прогресс» – ЦПОИ «Самара».

Цели создания ЦПОИ «Самара»:

- отработка технологий взаимодействия Оператора КК «Ресурс-ДК1» с удалёнными пунктами приёма информации потенциальных потребителей;
- отработка новых технологий обработки изображений;
- исследование возможности совершенствования тактико-технических характеристик (ТТХ) КА.

Решаемые задачи: приём, обработка и распространение среди потребителей, в первую очередь Поволжского региона, информации дистанционного зондирования Земли, поступающей как с КА «Ресурс-ДК1», так и с других отечественных и зарубежных КА.

Достижимый эффект: ЦПОИ «ЦСКБ-Прогресс» рассматривается как пилотный проект регионального пункта приёма. Его внедрение для различных регионов нашей страны существенно повысит эффективность использования получаемой КК «Ресурс-ДК1» информации ДЗЗ и оперативность доведения её до конечного пользователя в обеспечение решения конкретных задач социально-экономического развития регионов.

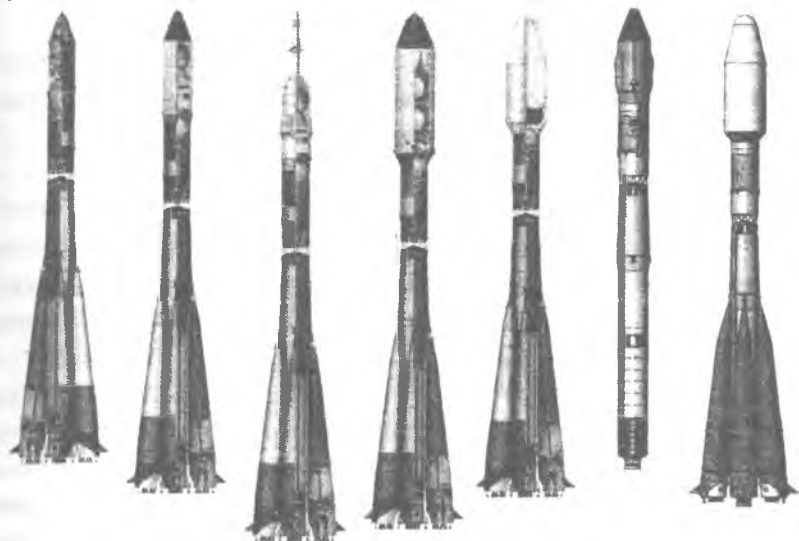
Пункт приёма информации с КА ДЗЗ в Самарской области обеспечивает возможность отработки и реализации территориально распределённого наземного комплекса приёма, обработки и реализации целевой информации (НКПОР) КК «Ресурс-ДК», как на территории России, так и за рубежом. Так в 2008 г. осуществлена успешная передача, приём и обработка тестовой информации с КА «Ресурс-ДК1» пунктом приёма в городе Тулуза (Франция).

3. Средства доставки полезной нагрузки

К числу положительных факторов, отражающихся на эффективности разработок Центра, относится возможность создания в ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс» полномасштабного ракетно-космического комплекса, включающего в себя: ракету-носитель, КА, АСУ КА (НКУ, БКУ), НКПОР.

В этой связи следует отметить, что при выведении создаваемых КА ДЗЗ на рабочие орбиты используются, как правило, ракеты-носители нашей разработки и изготовления, приведённые на рис. 6. В зависимости от конкретных требований это

может быть, например, ракета-носитель «Союз-2» соответствующих модификаций. Старты осуществляются с космодрома Байконур и обеспечиваются Байконурским филиалом ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс», а также с космодрома Плесецк.



«Молния» «Союз-У» «Союз-ФГ» «Союз 2» «Союз СТ» «Союз 1В» «Союз 2-3»
Рис. 6. Ракеты-носители ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс»

Планируется первый коммерческий запуск нашей ракеты-носителя «Союз-СТ» с космодрома Куру во Французской Гвиане, который создаётся с участием Центра. В настоящее время там проходит заключительный цикл работ по вводу в строй стартового комплекса и подготовки к запуску ракеты-носителя.

Кроме того, ближайшей задачей опытно-конструкторских работ по ракетам-носителям в ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс» является разработка ракеты лёгкого класса «Союз-1В» и эскизного проекта по созданию космического ракетного комплекса нового поколения (грузоподъёмностью 20-23 тонны). По этой работе РКЦ «ЦСКБ – Прогресс» совместно с РКК «Энергия» имени академика С.П. Королёва и ГРЦ «КБ имени академика В.П. Максеева» стали победителями конкурса, проведённого Роскосмосом. При этом Центр «ЦСКБ-Прогресс» определён головным предприятием в части ракеты космического назначения и в вопросах запусков автоматических аппаратов. РКК «Энергия» является головным предприятием в части ракетного комплекса для пилотируемых запусков. ГРЦ поручено создание полного комплекта документации на первую ступень носителя, а нашему Центру – разработку второй

ступени, на которой планируется устанавливать водородный двигатель. Полное изготовление носителя и головного обтекателя планируется производить в ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс». Тактико-технические характеристики этого двухступенчатого носителя по всем показателям «привязаны» к космодрому «Восточный».

Все разработки Центра по КА и ракетам-носителям проводятся с широкой, многократно проверенной и хорошо зарекомендовавшей себя кооперацией российских научно-производственных предприятий-соисполнителей.

Заключение

За полувековую активную деятельность в космической области в ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс» сложилась мощная научно-производственная база, способная обеспечивать создание и серийное производство широкой номенклатуры космических систем ДЗЗ, средств их выведения, управления в полёте, получения и обработки целевой информации.

Практически все создаваемые Центром КА выводятся на рабочие орбиты с помощью ракет-носителей собственной разработки и изготовления. Причём, старты осуществляются с космодромов Байконур (обеспечиваются Байконурским филиалом ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс») и Плесецк, а в ближайшей перспективе – и с космодрома Куру во Французской Гвиане, созданного при активном участии Центра в обеспечение коммерческих запусков зарубежных заказчиков.

Библиографический список

1. Кирилин, А.Н. Развитие российской космической системы ДЗЗ [Текст]/ А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов. // *Аэрокосмический курьер*. – 2007. – № 2. – С. 57-61.
2. Ахметов, Р.Н. Управление живучестью космического аппарата [Текст]/ Р.Н. Ахметов. // *Общероссийский научно-технический журнал «Полёт»*. – 2006. – №9. – С. 16-20.
3. Кирилин, А.Н. Основные результаты и планы ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс» по созданию космических средств ДЗЗ социально-экономического назначения [Текст]/ А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, Г.П. Аншаков. // *Труды НПП ВНИИЭМ*. – М.: «Электромеханика», 2008. – Т.105.
4. Аншаков, Г.П. Методы и средства управления КА зондирования Земли «Ресурс-ДК1» [Текст]/ Г.П. Аншаков, Р.Н. Ахметов, В.П. Макаров, А.И. Мангуров, Я.А. Мостовой. // *Сб. трудов XIII Всероссийского семинара по проблемам управления движением и навигации ЛА*. – Самара: СГАУ им С.П. Королева. 2007. – С. 4-17.