

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЛАНЫ ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» ПО СОЗДАНИЮ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЗЗ СОЦИАЛЬНО - ЭКОНОМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В нашей стране теоретические и практические основы построения первых КА наблюдения (типа "Зенит") были разработаны под руководством С.П. Королева в начале 60-х гг. прошлого века. С 1964 г. работы по созданию автоматических низкоорбитальных средств ДЗЗ переданы по указанию С.П. Королева в ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс" (в то время Филиал №3 ОКБ-1) и за более чем 40-летнюю историю они получили значительное развитие. От эпизодических запусков одиночных КА до постоянно действующих систем ДЗЗ из нескольких маневрирующих на орбите автоматических КА с высоким уровнем автономности функционирования (в 1980-90 гг.). Это позволило оперативно получать и доставлять потребителю необходимую целевую информацию о наблюдаемых объектах.

Всего Центром обеспечено создание 27 типов КА в интересах различных ведомств и выведено на рабочие орбиты более 960 КА ДЗЗ нашей разработки [1]. Начиная с КА серии "Зенит" (создано 8

типов КА), постоянно совершенствовалась конструктивно-аппаратурная база и наращивались целевые характеристики. В результате этого был создан ряд КА ДЗЗ, таких как «Янтарь», с доставкой информации на Землю в спускаемом аппарате и двух капсулах, «Фрам», «Ресурс-Ф1», «Ресурс-Ф2» и др., приведенных на рис. 1.

Разработанные Центром КА решали задачи детального и обзорного зондирования Земли, в том числе с 1982 г. оптико-электронного наблюдения с передачей информации по радиоканалу через спутник-ретранслятор, что позволило довести оперативность получения информации до масштаба времени, близкого к реальному.

Широкое развитие в Центре получило направление создания картографических космических комплексов. В этой области Центр в настоящее время является единственным предприятием, обладающим реальным опытом создания штатно эксплуатирувавшихся картографических КА. Начиная с запу-

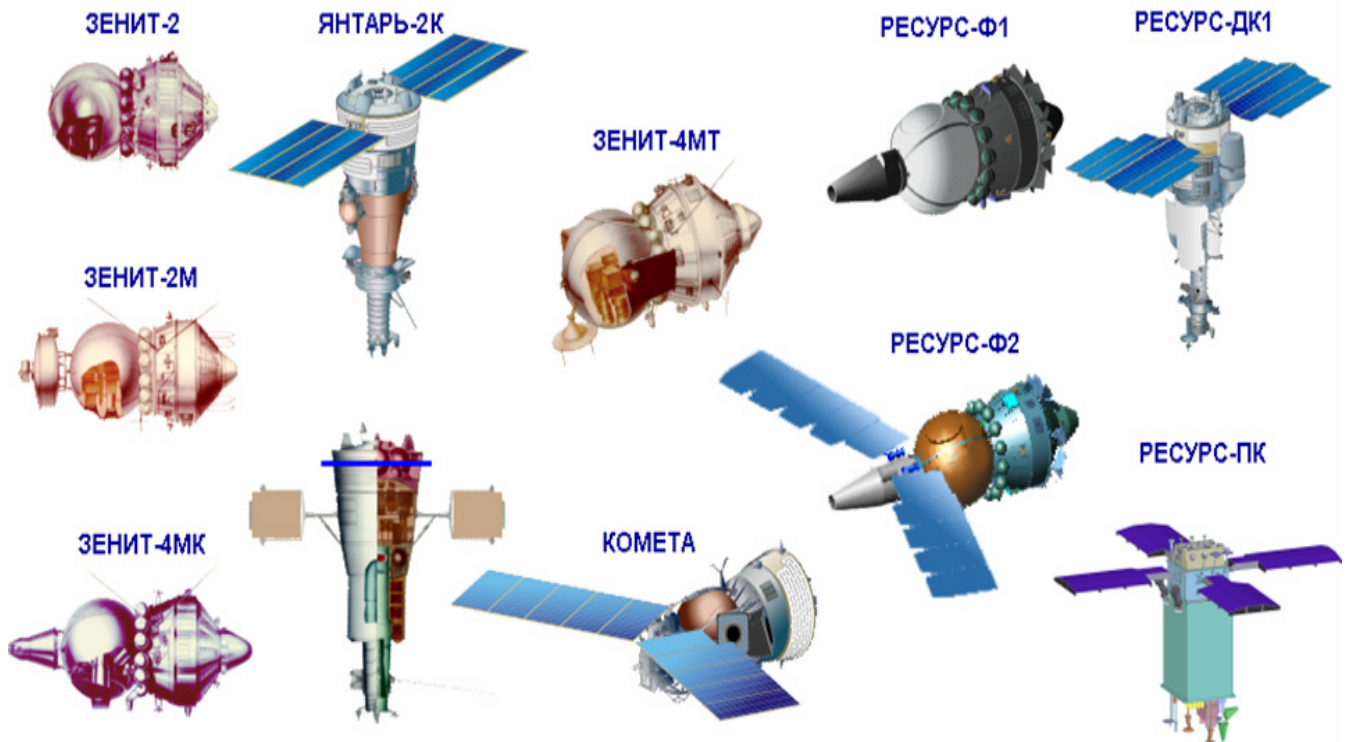


Рис.1. Космические аппараты ДЗЗ ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс"

щенного 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 60-х - начале 90-х годов в нашей стране успешно функционировала комплексная природоресурсная система "Ресурс", включающая разработанную ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс" подсистему детального фотонаблюдения "Ресурс-Ф" с доставкой информации на Землю в спускаемых аппаратах. С помощью информации, доставленной спутниками подсистемы "Ресурс-Ф", решены значительные прикладные задачи, в том числе, при проектировании

вместе с ФКП в сентябре 2007 г. обеспечен успешный полет очередного модернизированного КА «Фотон-М», а в 2010 г. планируется запуск КА «Бион-М» [1].

В результате проводившихся работ по тематике ДЗЗ РКЦ "ЦСКБ-Прогресс" вместе с кооперацией основных исполнителей накоплен значительный задел, который с учетом современных достижений в области оптико-электронной, вычислительной и радиопередающей техники позволил создать оптико-электронный космический комплекс "Ресурс-ДК1". Общий вид КА ДЗЗ "Ресурс-ДК1" и его основные показатели представлены на рис. 2 [1, 2].

Прошло уже более года, когда после успешно за-



Рис. 2. Общий вид и основные функции КА ДЗЗ "Ресурс-ДК1"

Байкало-Амурской магистрали, магистральных газо- и нефтепроводов, вскрыты местности, пригодные для геологической разведки нефти, газа, других природных ископаемых, оценены последствия стихийных бедствий и катастроф.

Одновременно на той же конструктивной базе были разработаны КА для проведения в космосе научных медико-биологических («Бион») и технологических («Фотон») экспериментов. Этому направлению деятельности в Центре уделяется значительное внимание и в настоящее время. В соответ-

вершенных летно-конструкторских испытаниях решением Государственной комиссии (16 сентября 2006 г.) КА "Ресурс-ДК1" был принят в штатную эксплуатацию. Сегодня это единственный успешно эксплуатирующийся в России космический комплекс, который обеспечивает детальное наблюдение в панхроматическом диапазоне и многозональную съёмку земной поверхности с оперативной доставкой изображений по высокоскоростной радиолнии на наземный комплекс приема обработки и распространения информации (НКПОР-ДК НЦОМЗ) в ин-

тересах социально-экономического развития России и международного сотрудничества.

Успешное функционирование комплекса позволило восстановить паритет России по получению детальной информации (с разрешением до 1 м).

Анализ снимков, получаемых с КА "Ресурс-ДК1", подтверждает их высокое качество, соответствующее заявленным характеристикам.

Наряду с основной целевой задачей, КА выполняет функции орбитальной платформы – носителя инструментальных средств для проведения фундаментальных научных исследований, в том числе в интересах зарубежных заказчиков. Это НА «Памела» (Италия, Россия), с помощью которой решаются задачи поиска и изучения антиматерии, а также НА «Арина» (Россия) для регистрации и выделения высокоэнергетичных заряженных частиц – предвестников землетрясений.

КК "Ресурс-ДК1" создан нами в рамках Федеральной космической программы России совместно с широкой кооперацией предприятий соисполнителей (ОАО «Красногорский механический завод», НПП «ОПТЭКС», НИИ ТП, ЗАО НПО «ЭЛАК», РИРВ, НИИ КП, ЦНИИ "Электроприбор", ПО "Корпус", ИКИ РАН, ФГУП «РНИИ КП», ОАО "Сатурн", НПЦ "ПОЛЮС", КБХМ и др.). Основные тактико-технические характеристики КК "Ресурс-

ДК1" (по разрешению, периодичности наблюдения, оперативности получения информации) соответствуют уровню действующих зарубежных КА аналогичного типа, а по ширине полосы захвата и максимальной производительности – превосходят их.

Достижение высоких показателей этого КК потребовало выработки ряда новых технических решений. В том числе при разработке оптико-электронной целевой аппаратуры, радиолинии передачи информации, автономного управления штатной работой КА на основе высокоточных данных от бортовой системы спутниковой навигации и системы пространственной прецизионной ориентации КА в требуемом положении.

Фрагменты общей схемы функционирования и типовые режимы съемки КА «Ресурс-ДК1» в процессе зондирования объектов, произвольно расположенных относительно трассы полета, представлены на рис. 3.

Они иллюстрируют сложный характер угловых управляемых движений КА. Их реализация потребовала решения ряда проблем высокоточного управления движением КА, обеспечивающих исключение «смаза» изображения в процессе экспонирования целей и необходимую динамику движения КА как на маршрутах, так и на межмаршрутных интервалах [4].

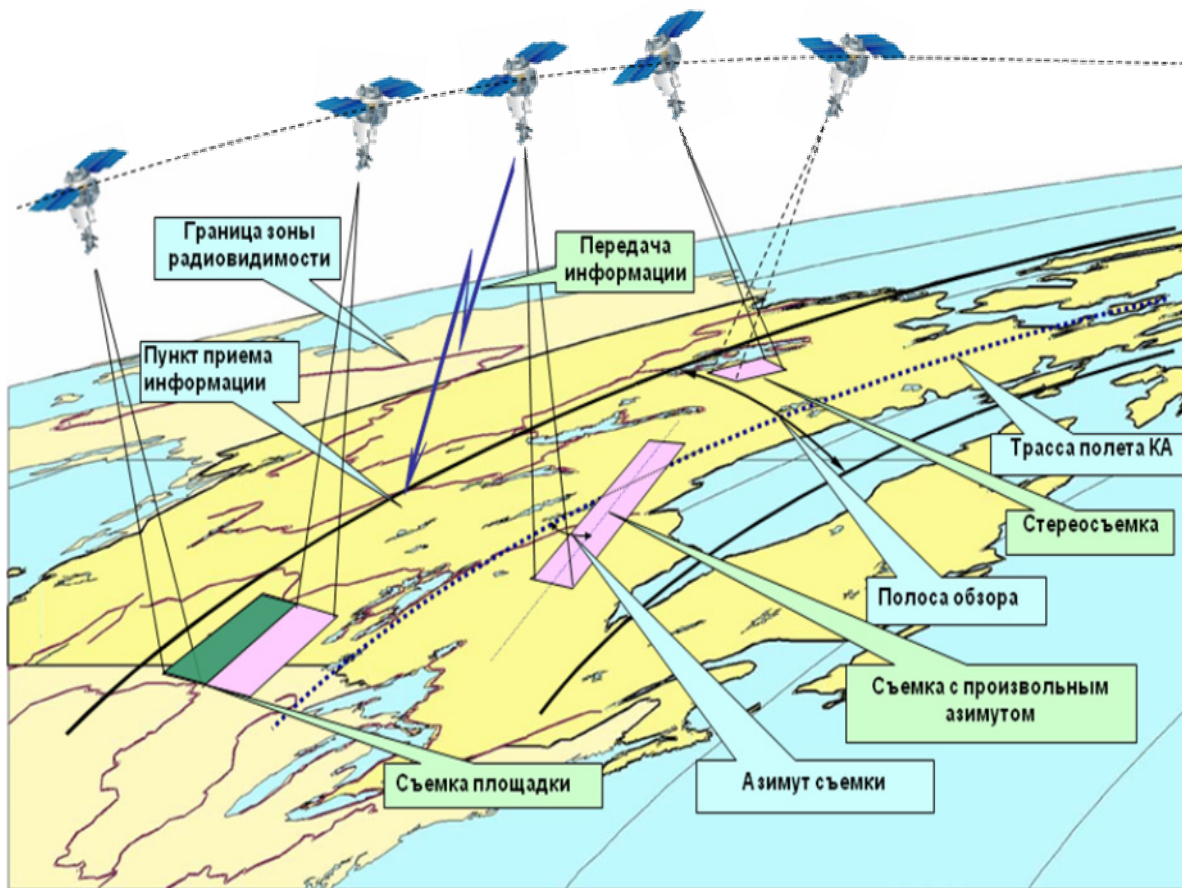


Рис. 3. Съемка площадок и съемка с произвольным азимутом

Определяющими для КА «Ресурс-ДК1» оказались следующие три проблемы:

- исследования динамики и автоматизации проектирования прецизионных гиросиловых СУД при внешних и параметрических возмущениях, при неполном измерении вектора состояния, с учетом упругих колебаний и подвижности элементов конструкции КА;
- аналитический синтез в бортовом комплексе управления (БКУ) программ управления угловым движением, обеспечивающих заданный вектор “бега изображения” в фокальной плоскости целевой аппаратуры (ЦА) на маршрутах, а также соответствующие (с гладкими переходами) межмаршрутные движения;
- синтез структуры и алгоритмов прецизионного управления программным движением упругодеформируемого КА с *явной* настройкой силового гироскопического комплекса для исключения его

сингулярных состояний и "*невозбуждения*" упругих колебаний КА. Исследования проведены в классе робастных и адаптивных систем.

Решение отмеченных проблем обусловило создание соответствующих измерительных и силовых структурных элементов БКУ, представленных в таблице.

"Ресурс-ДК1" - это автоматический КА с высокой степенью автономности. Автоматизированная система управления КА (АСУ КА) реализована традиционно в виде БКУ и наземного комплекса управления (НКУ), связанных между собой командной радиолнией управления и радиолнией бортовой телеметрической системы, но распределение задач управления полетом КА между БКУ и НКУ построено на совершенно новых принципах, изложенных ниже.

Наименование прибора/системы	Направления развития	Основные показатели	Достигнуто	Достижимо в ближайшее время
Бескарданная инерциальная система на базе электростатического гироскопа (БИС-ЭГ). Разработчик и изготовитель ЦНИИ "Электроприбор", С.-Петербург	Снижение массы Повышение точности Уменьшение времени готовности	Уход базы,с/сут;	5	2
		Погрешности съема информации, угл.с:	20	5
		-систематические, -случайные	20	5
		Масса, кг	28	14
Звездный координатор типа БОКЗ-М: неподвижный, широкоугольный с встроенным каталогом звезд. Разработчик и изготовитель ИКИ РАН, Москва	Определение пространственной ориентации КА, интеграция с ДУС, БСКВУ Повышение: -точности, -допустимой угловой скорости, -частоты съема информации	Погрешности, угл. с при угловой скорости КА 0,15град/с	8	3-5
		Период обновления информации, с	3	0,25
		Масса, кг	4	3-4
Измеритель угловой скорости волоконно-оптический (ИУС ВО). Разработчик и изготовитель НПП "Антарес", Саратов	Уменьшение: -погрешности масштабного коэффициента, -нулевого сигнала, шума	Погрешности: -масштабного коэффициента, %,	0,005	0,001
		-нулевого сигнала, град/с,	$2,8 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
		-шума, град/с	$7 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
		Масса, кг	15	10
Силовой гироскопический комплекс на базе 4 гироудинов с кинетическими моментами 100-250 Н·м·с. Разработчик и изготовитель НИИ КП, С.-Петербург	Уменьшение массово-энергетических характеристик Увеличение диапазона скорости вращения гиروزла Уменьшение погрешности $M_{угр}$	Максимальная скорость гиروزла, град/с	8,6	~20
		Погрешность отработки кинетического момента, %	3	от 0,5 до 1
		Погрешность отработки заданной скорости гиروزла, %	3	~1

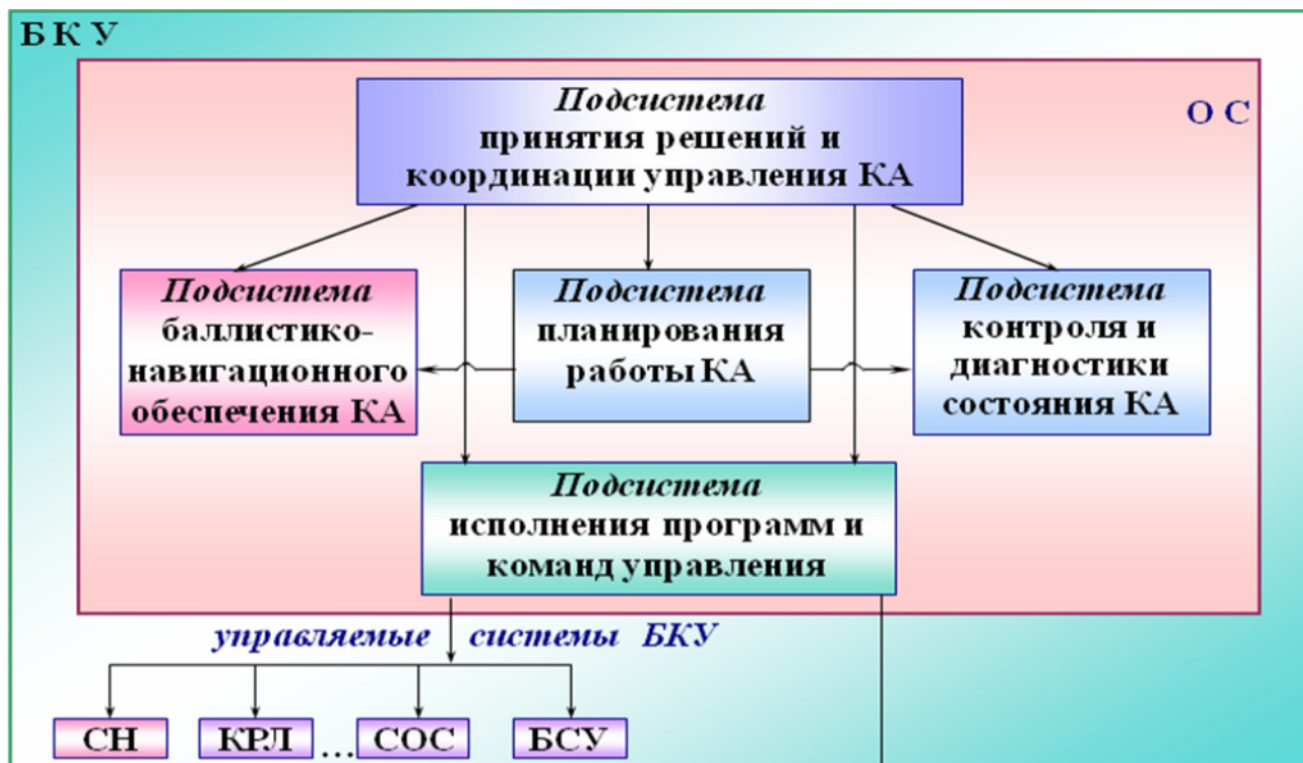


Рис. 4. Общая структура БКУ КА ДЗЗ

Являясь активным и динамичным элементом в системе зондирования, КА должен осуществлять доставку непосредственно в район наблюдения аппаратуры зондирования (АЗ), получение, запоминание, предварительную обработку, привязку ко времени или координатам информации о зондируемом районе, обеспечивать передачу запомненной информации на приемные пункты на поверхности Земли.

Управление КА ДЗЗ во многом связано с принятым способом реализации "захвата" АЗ требуемых объектов, маршрутов, районов зондирования.

В нашем центре обоснован и детально разработан способ "захвата" объектов зондирования по программе, хранящейся (передаваемой) в БКУ КА. Такая программа включает в себя: географические

координаты объектов, маршрутов, районов зондирования и ряд других технологических данных. Временную диаграмму работы бортовых систем, которая обеспечивает реализацию заданной НКУ совокупности целей, формирует БКУ по текущей навигационной информации, определяемой бортовыми средствами.

Этот способ "захвата" целей зондирования стимулировал появление и развитие средств автономной бортовой навигации КА и бортовых программных средств баллистического обеспечения, благодаря чему определение ПДЦМ КА становится возможным с более высокой точностью и в любое необходимое время, а не только в моменты видимости КА средствами НКУ. Это позволило в свою очередь повысить такие характеристики процесса зондиро-

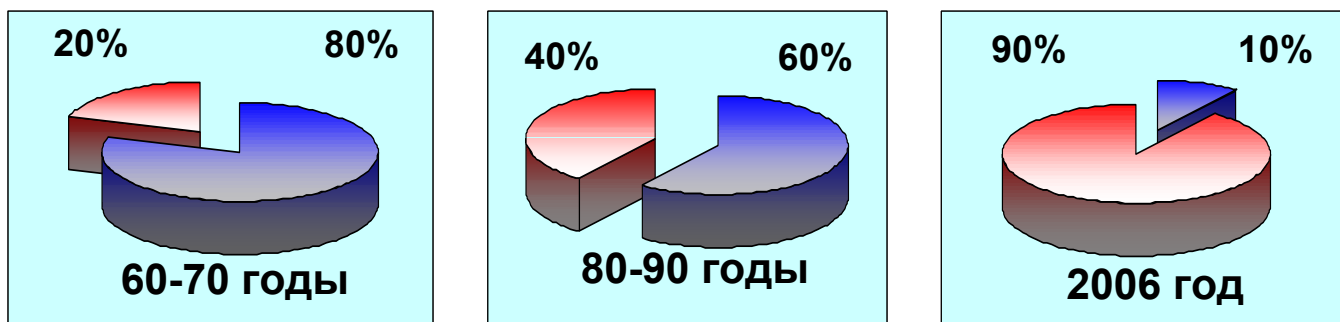


Рис.5. Распределение задач управления НКУ и БКУ: красный цвет – объем задач, решаемых БКУ, синий цвет – объем задач, решаемых НКУ

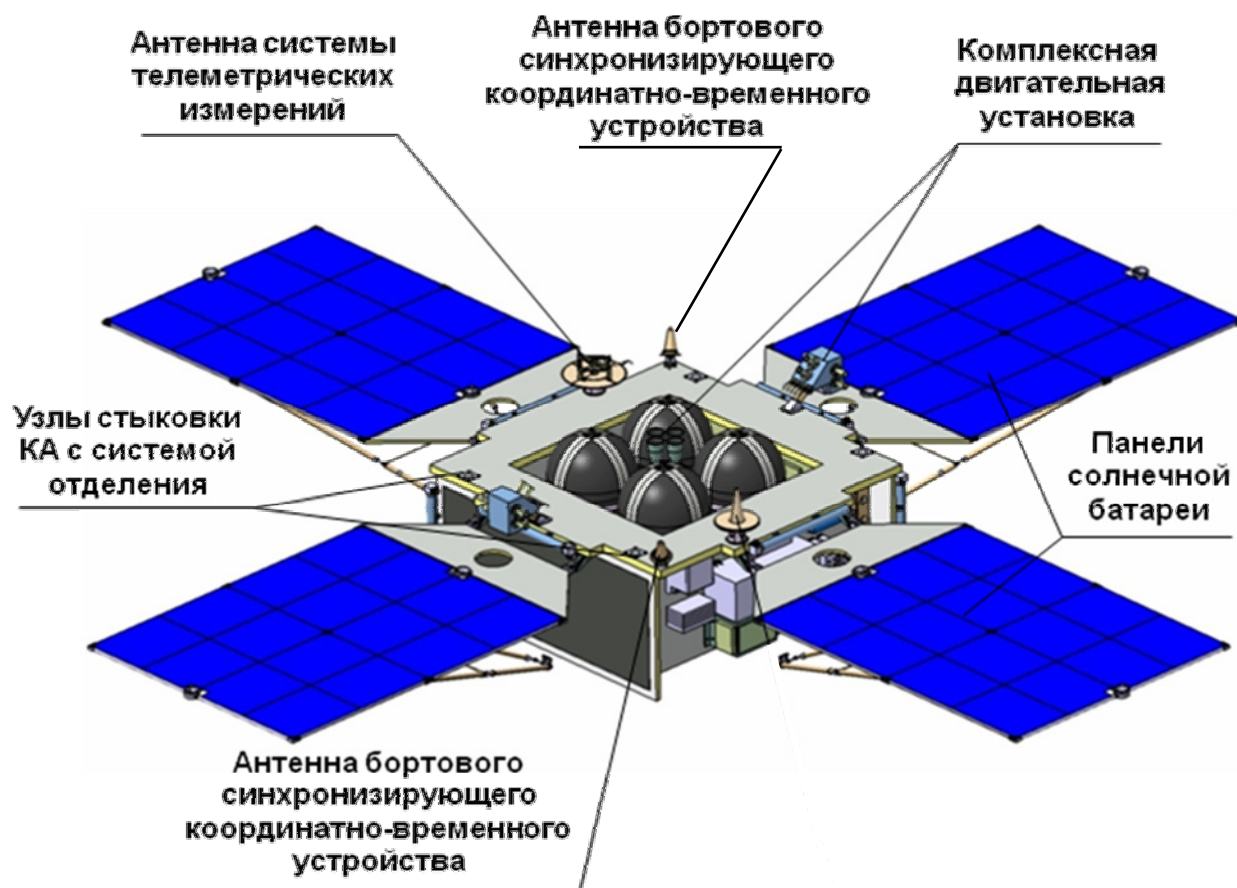


Рис.6. Общий вид платформы КА «Ресурс-П» №2

вания, как разрешение на местности, производительность, оперативность.

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

- нестационарные и случайные возмущающие воздействия от набегающего потока верхней атмосферы, вследствие полета КА с переменной геометрией на низких эллиптических 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 полета;
- необходимость управления "смазом" изображения в фокальной плоскости ЦА для получения информации высокого разрешения, в том числе путем управления угловым движением КА.

Отмеченные особенности нашли отражение в структуре процессов управления КА, в составе и структуре бортовых и наземных средств управления, в характеристиках ЦА и обеспечивающих бортовых систем.

На рис. 4 представлена общая структура БКУ современных КА ДЗЗ [3-5]. Основой БКУ является организующая система (ОС), которая обеспечивает требуемый уровень автономности решения штатных задач и управление в аномальных ситуациях. В структуре ОС пять 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.

Наличие трех автономных подсистем среднего уровня (бортовое планирование, контрольно-диагностическое и баллистико-навигационное обес-

печение) обеспечивает требуемый уровень автономности полета КА (до нескольких суток) с сохранением высокой производительности проведения целевых работ. А функциональное наполнение этих подсистем определяет степень интеллектуализации процессов управления.

Для управления сложной технической системой необходима информация о состоянии элементов системы, о состоянии той среды, в которой происходит ее функционирование, а также модели процесса функционирования системы во взаимодействии с окружающей средой. Эта информация и модели содержатся в памяти бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ), входящих в состав БКУ. Они являются базой для выработки управленческих решений, воздействующих на подсистемы, обеспечивая достижение целевых функций.

Распределение задач управления между НКУ и БКУ приведено на рис.5 [1, 3]. Оно начало складываться в то время, когда вычислительные средства, способные по своим характеристикам обеспечивать обработку измерений траекторных параметров и обработку телеметрической информации, могли быть размещены только на наземных пунктах НКУ.

Основное участие НКУ в управлении КА ДЗЗ:

- при выборе объектов зондирования;
- при приеме и обработке получаемой с КА ДЗЗ информации;
- при управлении в слабо формализованных АС.

БКУ современных КА ДЗЗ оснащаются БЦВМ или локальной сетью таких машин – бортовыми вычислительными системами (БВС), что позволяет проводить сложную логическую обработку данных, полученных на борту КА.

Это позволило при создании КА "Ресурс-ДК1" значительную часть задач, решаемых первоначально на НКУ, перенести на БКУ. В частности, это относится к задачам навигации, контроля состояния БА и систем КА, диагностики отказов БА, переключения (при отказах) на резервные контуры управления и аппаратуру.

Базовый КА "Ресурс-ДК1" имеет значительные резервы по массе, зоне полезного груза, энергетическим характеристикам для установки на нем дополнительной целевой аппаратуры. Эти резервы на КА "Ресурс-ДК1" №1 сегодня использованы для установки научной аппаратуры "Памела" и "Арина".

Достигнутые высокие тактико-технические характеристики КК «Ресурс-ДК1», а также созданный значительный технологический задел как в нашем Центре, так и на смежных предприятиях свидетель-

ствуют о значительных потенциальных возможностях этого комплекса.

В 2007 г. ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» выиграл конкурс Роскосмоса на создание КК «Ресурс-П». В состав этого КК входят два КА.

КА №1 базируется в основном на конструктивно-аппаратном заделе КА «Ресурс-ДК1» №1 и позитивных результатах проектных наработок по повышению его целевых характеристик в следующих основных направлениях:

- обеспечение разрешения 1м в панхроматическом диапазоне и 3-4 м в узких спектральных диапазонах (на околокруговой ССО Н=515-550 км);
- расширение полосы захвата (до 44,5 км);
- увеличение числа узких спектральных диапазонов (и одновременно снимаемых) с 3 до 5;
- введение режимов стереосъемки, съемки площадок, расширение возможностей азимутальной съемки вплоть до перпендикулярной к трассе полета;
- обеспечение гиперспектральной съемки (в т.ч. с ОЭА «Геотон-1Л»);
- обеспечение привязки снимков с точностью 20-50 м;
- увеличение срока активного существования КА с 3 до 5 лет.

Согласно проекту конкурсного ТЗ на ОКР порядок создания и облик КА «Ресурс-П» №2 должны быть определены после 2010 г. (год запуска КА №1). Однако наше предприятие уже сейчас прорабатывает возможные варианты исполнения КА №2. Облик аппарата разрабатывается с учетом негерметичного исполнения отсеков, а также значительного уменьшения габаритных размеров и массы по отношению к КА №1. По сути КА «Ресурс-П» №2 представляет из себя малый космический аппарат общим весом порядка 1,5 тонн (рис.6).

Ещё несколько слов о возможной перспективе развития средств ДЗЗ.

В 2002 г. нами разработано дополнение к ЭП по дооснащению КА «Ресурс-ДК1» с радиолокационным комплексом разработки НИИ ТП (рис.7).

Выбран х-диапазон (длина волны ~ 3,1 см), обеспечивающий получение информации в СВЧ диапазоне высокого разрешения, наиболее эффективно комплексируемой с информацией детального разрешения в видимом диапазоне спектра. Показана возможность реально при сравнительно низких затратах и в приемлемые сроки создать космические радиолокационные средства ДЗЗ, что в определённой степени закрывает «провал» российской космонавтики в этой области.

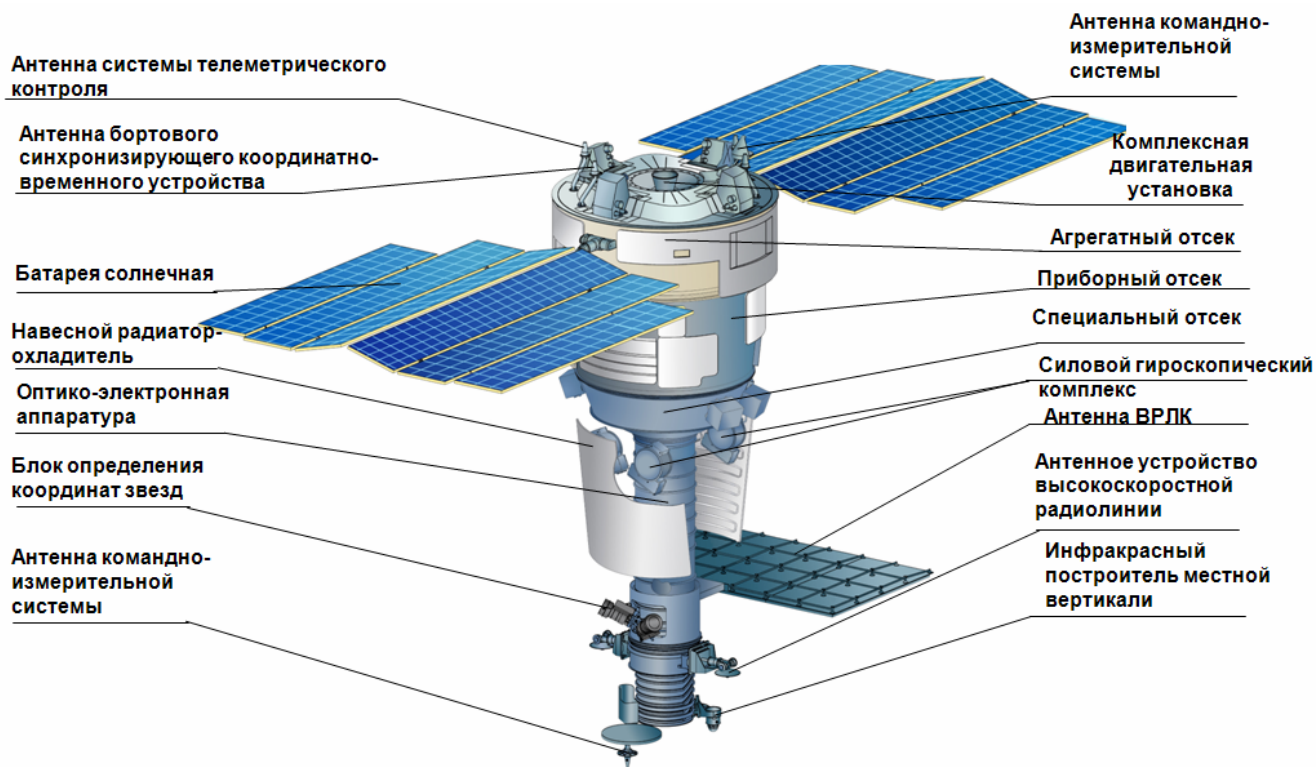


Рис. 7. КА «Ресурс-ДК1» с радиолокационным комплексом



Рис. 8. Снимок полученный из космоса. Англия (Лондон), высота съемки 421 км, угол Солнца 22,4°, угол крена 23,1°

Следует подчеркнуть, что этот комплекс не является альтернативой КА «Аракс-Р», но позволит реально начать получать информацию ДЗЗ в СВЧ-диапазоне и, в конечном итоге, получить выигрыш в качестве и времени создания специализированного радиолокационного комплекса в рамках ФКП.

Необходимо отметить, что наработки, полученные при создании НКПОР КК "Ресурс-ДК1", используются для создания в Самаре наземного пункта приема и обработки информации (НППОИ «ЦСКБ-Прогресс»).

Цели создания НППОИ - «ЦСКБ-Прогресс» :

- отработка технологий взаимодействия оператора КК «Ресурс-ДК1» с удаленными пунктами приема информации потенциальных потребителей;
- отработка новых технологий обработки изображений;
- исследование возможности совершенствования ТТХ КА.

Решаемые задачи: прием, первичная обработка и временное хранение информации дистанционного зондирования Земли, поступающей с КА «Ресурс-ДК1».

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

Пункт приема информации с КА ДЗЗ в Самарской области обеспечит возможность отработки и реализации территориально распределенного НКПОР КК «Ресурс-ДК» как на территории России, так и за рубежом.

Для иллюстрации потенциальных возможностей КК "Ресурс-ДК" представлен один из снимков, по-

лученных при отклонении КА по каналу крена на 23 угловых градуса (рис. 8), что позволяет исследовать детали наблюдаемых объектов (в данном случае опор моста через реку), недоступных при снимках в плане.

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 и средств их выведения.

Литература

1. Кирилин А.Н. Развитие российской космической системы ДЗЗ // Аэрокосмический курьер / А.Н.Кирилин, Р.Н.Ахметов. – 2007. – № 2. – С.57-61.
2. Дистанционное зондирование Земли. Космический комплекс «Ресурс-ДК1». Справочные материалы / Под редакцией Ю.И.Носенко – М.: МАДЖЕРИК, 2006. – Вып. 3. – С.68.
3. Аншаков Г.П. Методы и средства управления в высокоинформативном наблюдении Земли из космоса // Сборник трудов XIV Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам / Г.П. Аншаков, В.П. Макаров, А.И. Мантуров. – СПб, 2007. – С.165-173.
4. Аншаков Г.П. Интегрированная система управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования Земли. Сборник трудов IX Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам / Г.П. Аншаков, А.И. Мантуров, Ю.Г. Антонов. – СПб, 2002. – С.77-84.
5. Аншаков Г.П. Управление угловым движением космических аппаратов дистанционного зондирования. «Полет» / Г.П. Аншаков, А.И. Мантуров, Ю.М. Усталов. – 2006. – № 6. – С. 12-18.