

Пленарные доклады

УДК 629.78

Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Аншаков Г.П., Сторож А.Д., Стратилатов Н.Р.,
Типухов В.А., Бакланов А.И.

КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ «РЕСУРС-П» – НОВЫЕ РЕШЕНИЯ, ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

25 июня 2013 года с космодрома «Байконур» состоялся запуск космического аппарата (КА) «Ресурс-П» №1, разработанного и изготовленного в Государственном научно-производственном ракетно-космическом центре «ЦСКБ-Прогресс» (в настоящее время АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», далее Центр). Выведение КА «Ресурс-П» №1 на орбиту осуществлено ракетой-носителем «Союз-2», также разработанной и изготовленной Центром (слайд 1). 26 декабря 2014 года состоялся успешный запуск КА «Ресурс-П» №2.

Достигнутые высокие тактико-технические характеристики КА «Ресурс-ДК1», запущенного в июне 2006 года и успешно эксплуатируемого по настоящее время, хотя гарантийный срок активного существования был 3 года, а также созданный значительный технологический задел как в Центре, так и на смежных предприятиях, преопределил в значительной степени победу Центра в конкурсе Роскосмоса на создание космической системы (КС) «Ресурс-П2», в состав которой должны войти три КА.

Разработка космических аппаратов космической системы «Ресурс-П» базируется как на конструктивно-аппаратном заделе КА «Ресурс-ДК1», так и на позитивных результатах специальных проектных наработок по повышению целевых и технических характеристик космических аппаратов системы в следующих основных направлениях (слайд 2).

КА «Ресурс-П» предназначен для высокодетального, детального широкополосного и гиперспектрального оптико-электронного наблюдения поверхности Земли, для чего на борту КА установлено три типа съёмочной аппаратуры.

Первый тип аппаратуры: оптико-электронная аппаратура (слайд 3). Основные технические характеристики представлены на слайде 4.

Второй тип аппаратуры: комплекс широкозахватной мультиспектральной аппаратуры (слайд 5). Обе камеры состоят из одинаковых электронных блоков и отличаются объективами, которые изготовлены специально для КА «Ресурс-П». Каждая

камера обеспечивает съёмку в панхроматическом и пяти узких мультиспектральных диапазонах. Работа камер может осуществляться как вместе, так и автономно. Основные технические характеристики представлены на слайде 6.

Третий тип: гиперспектральная аппаратура (слайд 7). Основные технические характеристики представлены на слайде 8.

Для КА «Ресурс-П» принципиально изменена схема получения панхроматического и мультиспектральных изображений: разработаны два типа матриц приборов с зарядовой связью (ПЗС), работающих в режиме временной задержки и накопления (ВЗН): панхроматические и мультиспектральные. Структура фокальной плоскости КА «Ресурс-П» и «Ресурс-ДК1» показана на слайде 9.

Для обеспечения высоких потребительских и точностных свойств информации в состав бортового комплекса введена аппаратура сбора служебной информации.

Принципиально новой технологией, реализованной на КА «Ресурс-П», стало применение высокоскоростных оптико-волоконных линий передачи видеoinформации от всей оптикоэлектронной аппаратуры в бортовое запоминающее устройство. Это существенно уменьшило массу кабельной сети и повысило качество изображения. Электронная составляющая аппаратуры всех оптикоэлектронных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), установленных на КА, разработана и изготовлена в Центре и его филиале НПП «ОПТЭКС».

Центр является головным разработчиком не только КА и указанной выше оптикоэлектронной аппаратуры, но и системы управления (СУ), системы управления движением (СУД), спутниковой системы навигации (ССН), бортового программного обеспечения (БПО), сквозного тракта получения и доставки информации.

Общий вид КА ДЗЗ «Ресурс-П» представлен на слайде 10.

КА функционируют на околокруговой солнечно-синхронной орбите с начальными параметрами, представленными на слайде 11.

Параметры рабочей орбиты обеспечивают безпропускное покрытие полосой обзора одиночного КА (950 км с высоты 475 км) районов земной поверхности в широтном поясе от 80° ю.ш. до 80° с.ш. с периодичностью не более трёх суток.

Параметры баллистической структуры орбитальной группировки (БС ОГ) из двух КА и трёх КА выбраны с целью обеспечения минимальной периодичности покрытия районов земной поверхности полосами обзора космическими аппаратами орбитальной группировки. Баллистическая структура системы из двух КА представлена на слайде 12, а из трёх КА – на слайде 13.

Периодичность покрытия районов земной поверхности полосами обзора двух КА ОГ – не более 2 суток, трёх КА ОГ – не более суток.

Следует отметить, что наряду с основной целевой задачей КА «Ресурс-П» №2 выполняет функции орбитальной платформы-носителя инструментальных средств для проведения фундаментальных научных исследований. Это научная аппаратура «Нуклон» (головная научная организация – научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ). Аппаратура предназначена для проведения космического эксперимента по исследованию космических лучей высоких энергий и их химического состава.

Кроме этого, на КА установлен бортовой радиотехнический комплекс автоматической идентификационной системы судов (БРК АИС), предназначенный для информационного обеспечения задач по повышению безопасности эксплуатации морских и речных судов.

Структура процессов управления КА связана, в основном, с принятыми методами наведения оси целевой аппаратуры (ЦА) на объект зондирования и её стабилизации в процессе экспонирования.

«Ресурс-П» – это автоматические КА с высокой степенью автономности. Автоматизированная система управления КА (АСУ КА) реализована традиционно в виде бортового (БКУ) и наземного комплексов управления (НКУ), связанных между собой командной радиолинией управления и радиолинией бортовой телеметрической системы. Но распределение задач управления полётом КА между БКУ и НКУ построено на принципах максимально возможной автономности и автоматизации управления средствами БКУ и характеризуется тем, что до 90% этих задач приходится на долю БКУ.

Бортовая вычислительная система (БВС) является центральным управляющим элементом БКУ, решающим задачи взаимосвязанного управления всех подсистем КА и целевой аппаратуры по критериям эффективности КА в целом. В связи с этим вычислительный процесс организован в виде совокупности параллельных асинхронных процессов, а для обеспечения мультипрограммной работы разработана специализированная операционная система с соответствующей диспетчеризацией программных функций.

Обобщённая структура БКУ представлена на слайде 14.

Интеллектуальной основой БКУ является организующая система (ОС). В структуре ОС имеется пять функциональных элементов (подсистем), реализованных в виде совокупностей бортовых программ.

Наличие трёх автономных подсистем среднего уровня (бортовое планирование, контрольно-диагностическое и баллистико-навигационное обеспечение) обеспечивает требуемый уровень управления полётом КА, а функциональное наполнение этих подсистем определяет степень интеллектуализации процессов управления.

На слайде 15 приведены основные характеристики АСУ КА.

Следует отметить показатели автономности и оперативности управления, приведенные в последних двух пунктах.

Выбор объектов наблюдения, приём, обработка получаемой с борта КА целевой информации, её распространение осуществляется головным оператором – научным центром оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ), г. Москва. КС «Ресурс-П» может обеспечивать передачу информации на более чем 100 пунктов приёма информации потребителей. В настоящее время наиболее активно информация принимается соответствующими пунктами в городах Красноярске, Хабаровске, Новосибирске, Обнинске, пунктом приёма и обработки информации нашего Центра в г. Самаре, проведена работа по организации приёма в г. Ханое (Вьетнам). Предполагается, что сеть пунктов приёма будет расширяться по мере наращивания орбитальной группировки КС.

В НЦ ОМЗ реализован полный цикл обработки данных ДЗЗ, общепринятый в международной практике (слайд 16).

В январе 2014 года НЦ ОМЗ разработал «Отчёт по результатам сравнительного анализа характеристик и материалов наблюдения российского КА ДЗЗ «Ресурс-П» №1 с зарубежными аналогами», основные выводы которого следующие:

1. Материалы КК ДЗЗ «Ресурс-П» пригодны для решения широкого круга задач ДЗЗ, включая мониторинг землепользования, строительства, контроль чрезвычайных ситуаций после природных или техногенных катастроф и др.
2. Материалы КК ДЗЗ «Ресурс-П» №1 после дополнительной обработки по изобразительным (дешифровочным) и информационным свойствам не только не уступают, а в отдельных случаях, даже превосходят аналогичные материалы иностранных космических комплексов «Pleiades» и «Ikonos».

Особенности формирования программ управления

В процессе исследований динамики управления полётом КА определены классы функционально подобных (но параметрически различающихся) угловых движений, совершаемых КА при выполнении целевых функций, которые соответствуют определённым этапам (участкам) его полёта (слайд 17).

Это позволило построить для каждого такого класса движений типовые программы управления функционированием КА, что упрощает решение проблемы их формирования бортовыми средствами.

Для формирования программ управления угловым движением КА используется типовая совокупность параметров (слайд 17), определяющих положение осей КА в выбранном базисе: кинематические параметры (матрица направляющих косинусов, кватернионы, углы Эйлера-Крылова); векторы угловой скорости $\vec{\omega}(t)$; векторы углового ускорения $\vec{\varepsilon}(t)$.

На основе таких программ, формируемых бортовыми средствами КА «Ресурс-П» по текущим навигационным данным, осуществляются различные режимы зондирования районов земной поверхности.

На слайде 18 представлен фрагмент программы управления угловым движением КА «Ресурс-П» для реализации объектового и маршрутного режимов съёмки.

Из графиков видно, что реализуется довольно широкий спектр угловых движений КА в инерциальном пространстве.

Организация эффективных программно управляемых угловых движений КА базируется на высокоточной текущей навигационной информации, получаемой непосредственно бортовыми средствами.

В составе КА штатно эксплуатируется автономная спутниковая система навигации с использованием радионавигационного поля систем ГЛОНАСС и GPS. Она состоит из ПО, реализованного в БВС БКУ, и навигационной части бортового синхронизирующего координатно-временного устройства – БСКВУ. Структурная схема представлена на слайде 19.

Программа управления ССН организует периодические включения БСКВУ для получения одномоментных навигационных определений ($t, x, y, z, v_x, v_y, v_z$), проведение статистической обработки этих результатов, формирование массивов навигационной информации.

Система позволяет выполнять с необходимой точностью задачи навигационного обеспечения, как бортовых потребителей, так и потребителей наземной инфраструктуры с целью эксплуатации КА по целевому назначению без привлечения наземных измерительных средств.

На КА «Ресурс-П» за счёт использования бортовой модели движения центра масс КА, учитывающей 8 полных членов разложения геопотенциала, а также повышения

точности навигационного поля ГЛОНАСС, погрешности определения ПДЦМ существенно лучше, чем на КА «Ресурс-ДК1» (слайд 20).

Система управления движением КА

В процессе её создания потребовалось обеспечить реализацию ряда сложных научно-технических задач (слайд 21).

Структурная схема СУД представлена на слайде 22.

В составе системы управления движением используются: четыре блока определения координат звёзд – БОКЗ – М60 (ИКИ РАН), два инфракрасных построителя местной вертикали – ИКА ПМВ 301К (ОАО «НПП «Квант»), блок измерителей угловой скорости волоконно-оптический – БИУС ВОА, многофункциональный программируемый контроллер – МПК, измеритель угловой скорости волоконно-оптический с акселерометрами – ИУС ВОА (разработчик этих трёх типов аппаратуры – ОАО «НПП «Антарес»), шесть силовых гироскопических комплексов (СГК) в качестве основных исполнительных органов (ФГУП «НИИ командных приборов»), магнитная система сброса накопленного кинетического момента – ССКМ (ОАО «НИИ ЭМ»).

Необходимо обеспечивать высокую динамику КА при отклонениях оси визирования от трассы, при переходе к азимутальной съёмке в широком диапазоне углов, при реализации стереомаршрута и площадочной съёмке. Анализ этих задач показал их выполнимость при существенном увеличении по сравнению с КА «Ресурс-ДК1» размеров области вариации кинетического момента гиросиловой системы управления. Это было обеспечено с помощью изменения кинетического момента гироротора гиродина (250 Н·м·с вместо 94 Н·м·с) и увеличения количества гиродинов в гиросиловой системе (шесть гиродинов вместо четырёх). Результаты расчётов определили схему установки гиродинов: система из трёх коллинеарных групп с двумя гиродинами в группе. Оси трёх коллинеарных групп расположены по конусу вокруг оси Y с шагом 120°, при этом оси двух групп расположены симметрично относительно плоскости YZ. Угол полураствора конуса равен 30°. Такой выбор позволил обеспечить угловое ускорение КА требуемого уровня.

Требуемое значение управляющего момента рассчитывается в виде суммы трёх составляющих, из которых одна представляет собой программное значение управляющего момента, вторая соответствует реализации управления по отклонению измерений по углу и угловой скорости от программных значений, а третья учитывает реакцию суммарного кинетического момента корпуса аппарата с гиросиловой системой на угловую скорость КА.

Основные характеристики СУД представлены на слайдах 23, 24.

Следует отметить максимальную угловую скорость вращения КА $2^0/\text{с}$ и точности ориентации по углу ± 2 угл. мин и стабилизации по скорости $0,005^0/\text{с}$.

Контроль работоспособности, выявление аномальных ситуаций (АС) и их диагностика являются необходимыми элементами при организации управления КА. Поэтому БКУ характеризуется наличием в его составе специализированных диагностических средств (слайд 25).

Широко используются функциональные и тестовые методы контроля работоспособности и технического диагностирования.

Методы бортового функционального контроля отличаются тем, что практически все они реализованы программными средствами. Программы контроля работают в фоновом режиме, не мешая штатным алгоритмам. Основой многих из них служат эталонные математические модели контуров или процессов управления, тщательно отработанные в наземных условиях, в том числе, при имитационном моделировании функционирования систем.

Для тех аварийных отказов, которые могут инициировать отказы других систем и элементов, а также нарушения координации работы элементов, эффективным инструментом является так называемый контур «аварийной защиты».

Основная функция этого контура – перевод систем БКУ и КА в некоторые допустимые состояния, в которых КА может находиться достаточно длительное время (слайд 26).

Реализация функции принятия большинства управленческих решений автономно на борту КА как в штатных, так и в нештатных ситуациях, резко улучшает временные характеристики процессов восстановления работоспособности КА.

Особое место в этом плане занимает проблема обеспечения надёжной работоспособности КА и его систем в условиях воздействия факторов космического пространства (КП).

Проблема усугубляется довольно широким применением импортной электронной компонентной базы (ЭКБ) с высокой степенью интеграции, но в исполнении Industrial. в аппаратуре КА. В первую очередь речь идет о воздействии тяжёлых заряженных частиц (ТЗЧ) и высокоэнергетических протонов (ВЭП) космического пространства на БА КА. В этом плане нашему предприятию в кооперации пришлось выполнить большой объём работ, прежде всего научно-методического и расчётно-экспериментального характера (слайд 27).

Была организована необходимая экспериментальная отработка «критичных» электрорадиоизделий (ЭРИ) и электронных модулей, комплектующих БА, на стойкость к ТЗЧ и ВЭП. Выполнены различные виды доработок или произведена замена нестойких «критичных» ЭРИ на радиационнстойкие аналоги.

В целом проблема восстановления работоспособности декомпозируется на две частные проблемы (слайд 28).

Восстановление функций отказавшей материальной части систем – бортовой аппаратуры (БА)

Это методы восстановления самой отказавшей БА (и её элементов), которые базируются на известных принципах управления избыточностью, и это методы восстановления функций, выполняемых той или иной БА в составе системы, исходя из принципа структурной перестройки на основе функциональных возможностей бортовых средств. Конечно, при этом задача может решаться с некоторыми ограничениями.

Парирование ошибок БПО БКУ и его систем

Одним из эффективных инструментов для этого является исполнение в оперативной памяти БВС специальной программы – «программы из оперативной памяти» (ПрОЗУ). Она создаётся в оперативном порядке для конкретных аномальных ситуаций специалистами – разработчиками БПО – и закладывается по командно-программной радиолинии НКУ в ОЗУ БВС. ПрОЗУ исполняется «параллельно» с неверно работающей штатной бортовой программой. В момент выдачи ошибочных результатов из штатного БПО программы из ОЗУ подменяют неверный результат на правильный. В штатном БПО предусматривается система анализа признаков наличия ПрОЗУ, которые засылаются по линии связи.

Особенности обеспечения надёжности БПО БКУ КА

Как известно, надёжность бортовых программ любых технических средств обеспечивается в первую очередь построением их соответствующей структуры. Поэтому в структуре БПО БКУ КА «Ресурс – П» предусматривается формирование некоторого «ядра».

Ядро – это ограниченная часть БПО, которая обеспечивает аварийную защиту, решение дежурных задач (тесты БВС, связь с НКУ, «слив» телеметрической информации (ТМИ)). В этой связи весьма важной является безошибочное функционирование группы программ, составляющих ядро. Именно ядру уделено максимальное внимание и на этапе разработки, и на этапе отладки, когда стремятся максимально полно отладить все варианты его программ с помощью наземных средств.

Структура БПО БКУ приведена на слайде 29.

Имеется два традиционно крупных блока программ: общее БПО и специальное БПО.

Специальное БПО предназначено для реализации системных функций БКУ, а именно:

- оптимальное или близкое к нему управление в системах КА по их частным критериям эффективности – это более двух десятков систем КА;
- комплексное взаимодействие систем КА для достижения высоких значений критериев функционирования КА ДЗЗ в целом (разрешающая способность, оперативность, производительность и др.).

На слайде 30 представлены ряд конкретных характеристик БВС и БПО.

Комплект БПО КА «Ресурс-П» включает более тысячи программ, работающих в реальном времени, максимальное время переключения программ составляет доли миллисекунд. Число управляющих и информационных межпрограммных связей исчисляется тысячами по каждому виду. Естественно, что резко выросли объёмы ПЗУ (ПЗУ_к – это ПЗУ констант, а ПЗУ_с – это собственно системное ПЗУ) и ОЗУ. О трудоёмкости процесса создания БПО свидетельствует в значительной мере объём отладки: нужно пройти более пятисот витков полёта КА в реальном времени, а каждый виток – это 90 минут «чистого» времени, не считая времени работы комплекса программ моделей. Сюда нужно добавить ещё и время на программирование, автономную отладку и устранение ошибок, выявляемых при отладке. В целом на создание БПО для конкретного КА требуется 2-3 года.

Следует отметить, что впервые именно в КА ДЗЗ нашей разработки были применены распределённые вычислительные средства, входящие в состав почти каждой бортовой аппаратуры, взаимодействующие с центральной БВС. Это характерно и для КА «Ресурс-П». Следовательно, реализована сеть БВС, что позволило повысить эффективность выполнения функциональных и целевых задач КА.

КА «Ресурс-П» и КС в целом создаются в рамках Федеральной космической программы России в широкой кооперации российских предприятий-соисполнителей. (ОАО Красногорский завод, филиал Центра – НПП «Оптэкс», НИИ ТП, ЗАО НПО «Элак», ОАО РИРВ, НИИ КИ, ИКИ РАН, ОАО «НПП «Квант», ОАО «НПП «Антарес», ОАО РКС, ОАО «НИИ ЭМ» и др.).

Результаты функционирования КА «Ресурс-П» №1 и всех его систем и агрегатов подтвердили высокую эффективность КА и выполнение требований технического задания Роскосмоса. КА «Ресурс-П» №1 30.09.2013 года по решению Государственной комиссии

был принят в штатную эксплуатацию. КА «Ресурс-П» №2 в настоящее время завершил штатный цикл лётно-конструкторских испытаний и 29.05.2015 г. по решению государственной комиссии принят в штатную эксплуатацию.

На слайдах 31, 32 приведена отснятая площадь соответственно КА «Ресурс-П» №1 и №2 по состоянию на 01.06.2015 года.

Ближайшие перспективы: КА «Ресурс-П» №3 находится в стадии изготовления, планируемый срок запуска КА – начало 2016 года.

**Космическая система дистанционного зондирования
Земли «Ресурс – П» – новые решения, опыт
эксплуатации и перспективы развития**

**Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Аншаков Г.П., Сторож А.Д.,
Стратилатов Н.Р., Типухов В.А., Бакланов А.И.**

АО «РКЦ «Прогресс», г.Самара

**Установка ракеты-носителя «Союз -2» с КА «Ресурс-П» №1
в стартовое сооружение**



• обеспечение разрешения 1 м в панхроматическом диапазоне и 3-4 м в узких спектральных диапазонах при полёте КА на околокруговой ССО с высотой $H=475$ км;

- увеличение количества узких спектральных диапазонов с 3-х до 5-ти и количество одновременно снимаемых спектральных диапазонов с 3-х до 6-ти;
- увеличение ширины полосы захвата до 38 км;
- обеспечение гиперспектральной съемки;
- обеспечение привязки снимков с точностью до 15 м;
- увеличение срока активного существования КА с 3-х до 5 лет;
- введение режимов стереосъемки, съемки площадок, расширение возможностей азимутальной съемки.

Аппаратура «Геотон – Д1» с системой приема и преобразования информации «Сангур – 1У»



Оптико-электронная аппаратура «Геотон-Д1» (ОАО КЗ) с системой приема и преобразования информации «Сангур-1У» обеспечивает высокодетальную съёмку земной поверхности в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Оптико-механический блок аппаратуры «Геотон-Д1» обеспечивает формирование изображения в плоскости чувствительных элементов оптико-электронных преобразователей.

Система приема и преобразования информации «Сангур-1У» осуществляет преобразование непрерывно движущегося изображения видимого диапазона, сформированного оптико-электронной аппаратурой, в цифровой электрический сигнал, обработку, сжатие и выдачу его в БА ВРЛ.

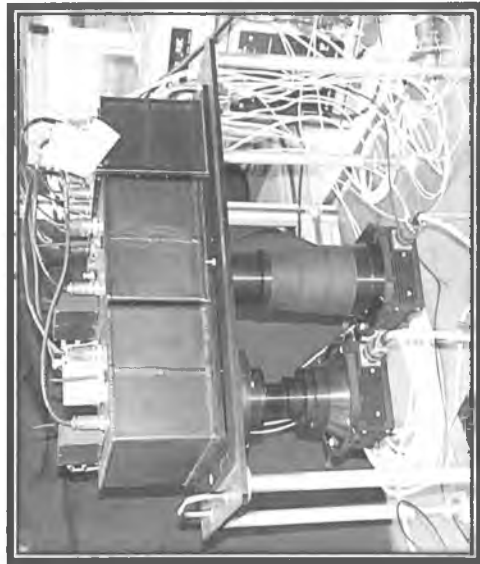
Основные технические характеристики ОЭА «Геотон – Д1» и СПИИ «Сангур – 1У»

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ, ММ	4000
ДИАМЕТР ВХОДНОГО ЗРАЧКА, ММ	500
ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОТВЕРСТИЕ	1.8
УГОЛ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ, ГРАДУС	5°18'
РАЗМЕР ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА, МКМ	
- ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ	6×6
- УЗКИЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ	18×18
ЛИНЕЙНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ НА МЕСТНОСТИ, М:	
- В ПАНХРОМАТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ	1,0
- В УЗКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНАХ	3,0 – 4,0
ШИРИНА ПОЛОСЫ ЗАХВАТА, КМ	38
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ, МКМ:	
- ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ	0,58 – 0,80 0,8 – 0,9
- УЗКИЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ, МКМ:	
СИНИЙ	0,45-0,52
ЗЕЛЕНЬ	0,52-0,60
КРАСНЫЙ	0,61-0,68
КРАЙНИЙ КРАСНЫЙ	0,72-0,80
БЛИЗКИЙ ИНФРАКРАСНЫЙ	0,80-0,90
КОЛИЧЕСТВО ОДНОВРЕМЕННО ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДИАПАЗОНОВ	1-6

Комплекс широкозахватной мультиспектральной аппаратуры (КШМСА)

КШМСА предназначен для проведения дистанционной оптико-электронной съемки земной и водной поверхности в панхроматическом и мультиспектральном диапазонах спектра.

КШМСА представляет из себя моноблок, состоящий из широкозахватной мультиспектральной аппаратуры высокого разрешения КШМСА-ВР и широкозахватной мультиспектральной аппаратуры среднего разрешения КШМСА-СР.



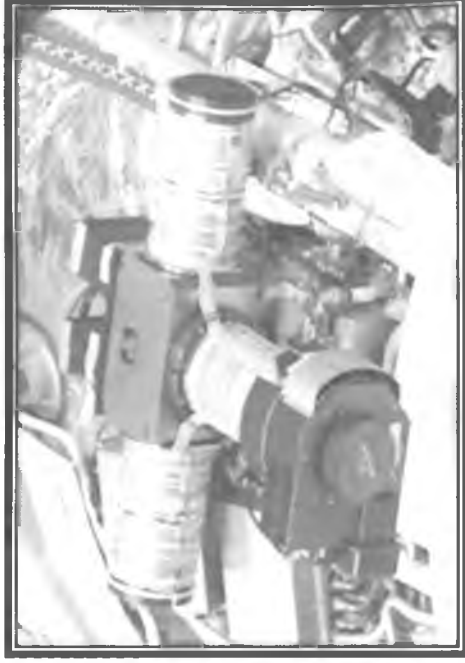
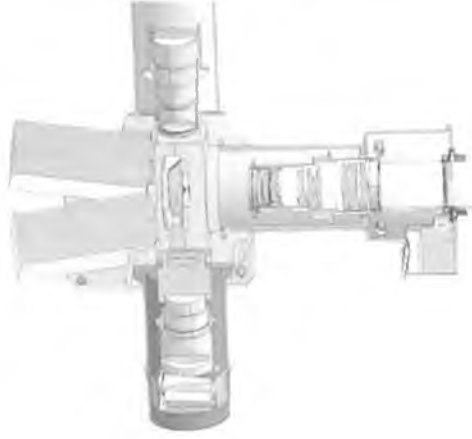
Основные технические характеристики КШМСА

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК	
	КШМСА-СР	КШМСА-ВР
ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА: - ТИП; - ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ, ММ - ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОТВЕРСТИЕ, D/F; - УГОЛ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ, 2 θ , ГРАДУС	ЛИНЗОВАЯ ~40 1:5,4 54	ЛИНЗОВАЯ ~200 1:5,4 12
ПОЛОСА ЗАХВАТА С Н=475 КМ, КМ	442	97
РАЗРЕШЕНИЕ НА МЕСТНОСТИ С Н=475 КМ, М:	60 (ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ) 120 (R, G, B, ИК)	12 (ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ) 24 (R, G, B, ИК)
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ, МКМ	0,43 - 0,7 (ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ); 0,51 - 0,58(G); 0,6 - 0,7 (R); 0,7 - 0,9 (ИК)	0,43 - 0,51(B) 0,7 - 0,9 (ИК)
РАЗМЕР ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ОЭП, МКМ 2	5 \times 5 (ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ) 10 \times 10 (R, G, B, ИК)	5 \times 5 (ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ) 10 \times 10 (R, G, B, ИК)
КОЛИЧЕСТВО ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТРОКЕ ОЭП, ШТ	8000 (ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ) 4000 (R, G, B, ИК)	8000 (ПАНХРОМАТИЧЕСКИЙ) 4000 (R, G, B, ИК)
ТИП ФОТОПРИЕМНИКА	ЛИНЕЙНЫЙ ФПЗС (КОДАК К14104)	
РАЗРЯДНОСТЬ ЛИНЕЙНОГО КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ, БИТ/Пиксель	12	
МАССА, КГ	20	

Гиперспектральная аппаратура (ГСА)

Гиперспектральная аппаратура (ОАО КЗ) предназначена для получения информации о распределении поля спектральной энергетической яркости Земли в 255 узких спектральных каналах видимого и ближнего инфракрасного диапазона.

Информация, получаемая ГСА, используется для решения широкого круга задач в интересах потребителей: экологический мониторинг; сельское, лесное, водное хозяйство; госнаркоконтроль.



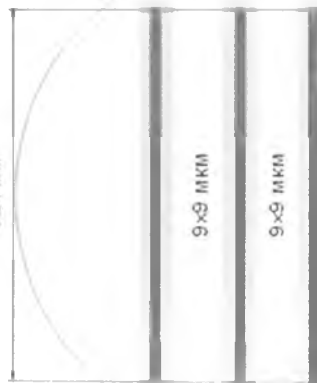
Основные технические характеристики ГСА

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛОСА ЗАХВАТА (H=475 КМ), КМ	30
РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ (ПРОЕКЦИЯ ПИКСЕЛЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ) (H=475 КМ), М	25-30
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ, МКМ	0,4÷1,1
СПЕКТРАЛЬНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ, НМ	5-10



«Ресурс-ДК1»
«Сангур-1»

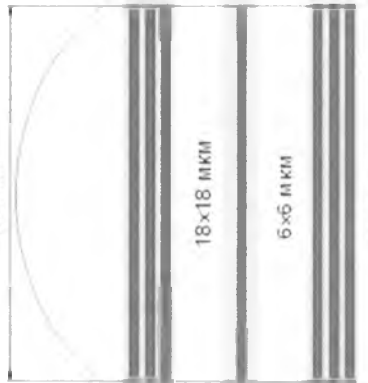
324 мм



0,55±0,08 мм
0,55±0,08 мм
0,7±0,1 мм

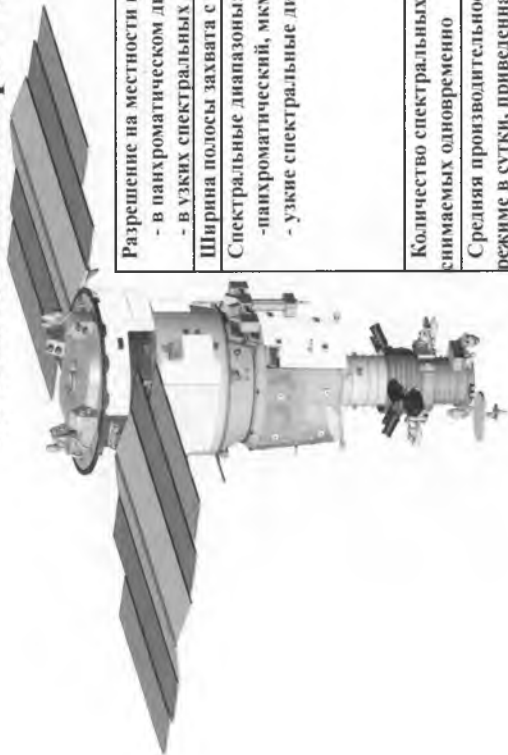
«Ресурс-П»
«Сангур-1У»

324 мм



0,55±0,08 мм
0,55±0,08 мм
0,7±0,1 мм

Космический аппарат «Ресурс-П»

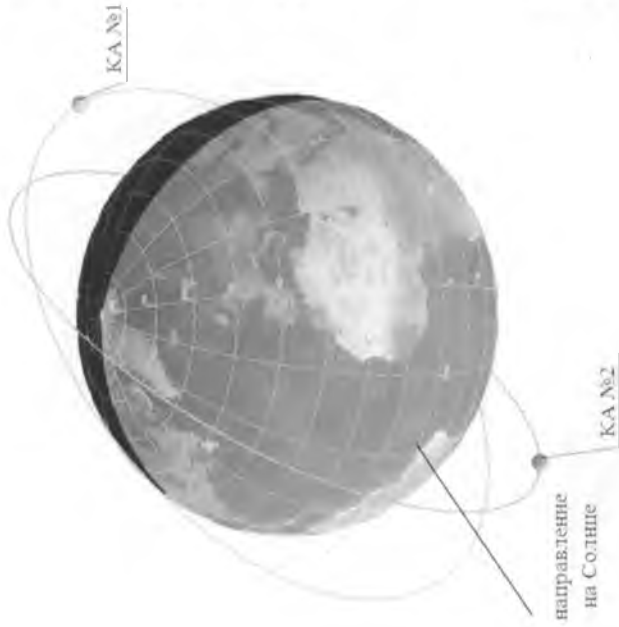


Разрешение на местности в надире с Н=475 км: - в панхроматическом диапазоне, м - в узких спектральных диапазонах, м	1,0 3,0÷4,0
Ширина полосы захвата с Н=475 км, км	38
Спектральные диапазоны: -панхроматический, мкм - узкие спектральные диапазоны, мкм	0,58÷0,80 0,45÷0,52 0,52÷0,60 0,61÷0,68 0,72÷0,80 0,80÷0,90
Количество спектральных диапазонов, снимаемых одновременно	1÷6
Средняя производительность в высокдетальном режиме в сутки, приведенная к уровню сжатия 4 бит/выборку, при одном ПШИ, млн. км2	0,080
Оперативность передачи информации на пункт приема, час	от РМВ до 12
Рабочая орбита: - тип - средняя высота, км - наклонение, град.	околокруговая (ССО) от 470 до 480 97,28
Срок активного существования, лет	5

Фактические начальные параметры рабочих орбит КА «Ресурс-П» №1 и №2

	№1	№2
• наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора	97,275°;	97,291°;
• драконический период обращения	93,97 мин;	93,99 мин;
• минимальная высота	468,4 км;	467 км;
• максимальная высота	486,7 км;	500 км;
• средняя высота	477,5 км;	483,5 км;
• межвитковый интервал	23,49°;	23,50°;
• суточное смещение трассы полёта	7,62°;	7,54°;
• смещение трассы через трое суток в западном направлении	0,63°;	0,87°;
• местное среднее солнечное время прохождения нисходящего узла орбиты	10 ч 22 мин	11 ч 49 мин

Баллистическая структура системы из двух КА «Ресурс-П»



Начальное относительное положение

КА №1 и КА №2:

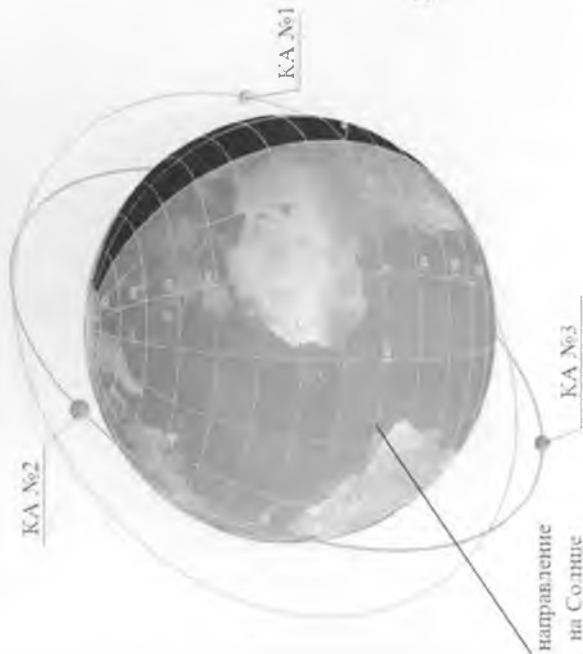
- по аргументу широты в плоскостях рабочих орбит $\Delta U_{1,2} = 178,1^\circ$;
- по долготе восходящих узлов орбитальных плоскостей $\Delta \Omega_{1,2} = 23,50^\circ$;

Местное среднее солнечное время:

- для КА №1 $t_{\text{МССВ}} \text{ нуз} = 10 \text{ ч } 22 \text{ мин}$;
- для КА №2 $t_{\text{МССВ}} \text{ нуз} = 11 \text{ ч } 49 \text{ мин}$

Номинальная баллистическая структура системы из трех КА «Ресурс-П»

- Параметры рабочих орбит
КА «Ресурс-П» №1, №2, №3
- Наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора $i = 97,28$
 - Драконический период обращения $T\Omega = 93,97$ мин
 - Средняя высота орбиты НСР от 470 до 480 км



Начальное относительное положение

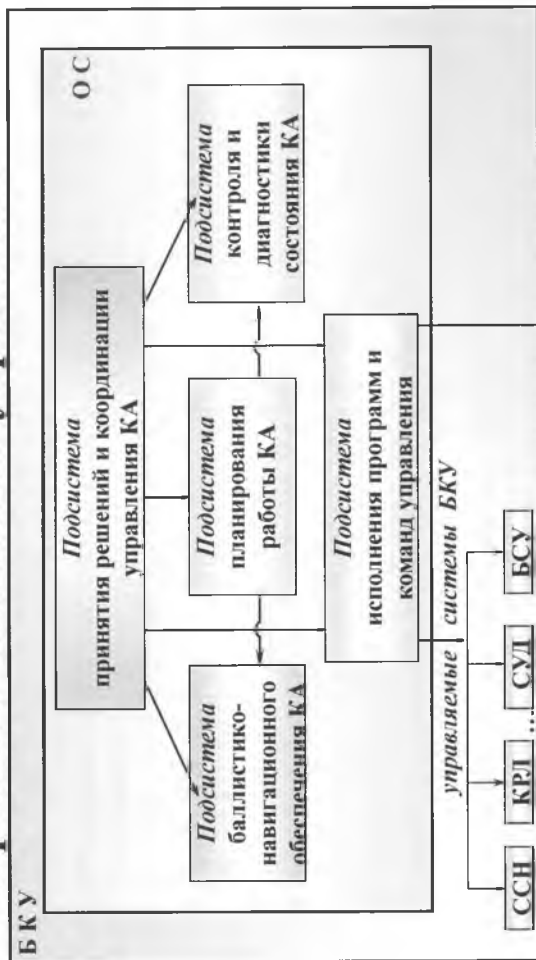
КА №1, КА №2 и КА №3:

- по аргументу широты в плоскостях рабочих орбит $\Delta U_{1,2} = \Delta U_{2,3} = \Delta U_{3,1} = 120^\circ$;
- по долготе восходящих узлов орбитальных плоскостей $\Delta \Omega_{1,2} = \Delta \Omega_{1,3} = 23,49^\circ$;

Местное среднее солнечное время:

- для КА №1 $t_{\text{МССВ нуз}} = 10$ ч 22 мин;
- для КА №2 и №3 $t_{\text{МССВ нуз}} = 11$ ч 55 мин.

Обобщённая структура бортового комплекса управления



ОС – организующая система,

ССН – спутниковая система навигации,

СУД – система ориентации и стабилизации,

БСУ – бортовое синхронизирующее устройство,

КДУ – корректирующая двигательная установка,

КРЛ – командная радиолиния,

управляемые системы КА

АЗ – аппаратура зондирования,

СТР – система терморегулирования,

СЭП – система электропитания.

Основные характеристики АСУ КА

Показатели	Значения
Метод управления КА	программно - координатно-
Количество КИП, привлекаемых для управления в типовые сутки	1 – 2
Количество сеансов связи в сутки штатного функционирования КА	2 – 3
Количество управляемых КА, одновременно функционирующих на орбите ИСЗ	до 3
Автономность управления КА, [сутки] - по целевому контуру - по навигационному контуру - по контуру обеспечивающей аппаратуры	7 без ограничений без ограничений
Оперативность управления: - время от закладки РП до начала работы целевой аппаратуры, [мин] - время от момента принятия решения в НКУ до выдачи РП с управляющим воздействием, [час]	10 не более 1,5

Уровни обработки информации с КА «Ресурс-П»

	Панхроматическая съемка	Многоспектральная съемка
Уровень 1А	Сшитое между матрицами и между зонами компенсации изображение с радиометрической и геометрической коррекцией	Сшитое между матрицами и между зонами компенсации изображение с радиометрической и геометрической коррекцией. не -цветосинтезированное
Уровень 1Б		Уровень 1А с цветосинтезом
Уровень 2А	Уровень 1А с трансформированием в картографическую проекцию по орбитальным данным	Уровень 1Б с трансформированием в картографическую проекцию по орбитальным данным
Уровень 2Б	Уровень 1А с трансформированием в картографическую проекцию по наземным опорным точкам	Уровень 1Б с трансформированием в картографическую проекцию по наземным опорным точкам
Уровень 3	Мозаичное изображение из снимков уровня обработки 2	
Уровень 4	Композитное изображение, созданное путём комплексирования панхроматического и многоспектрального снимков, полученных одновременно и обработанных до уровня 2	

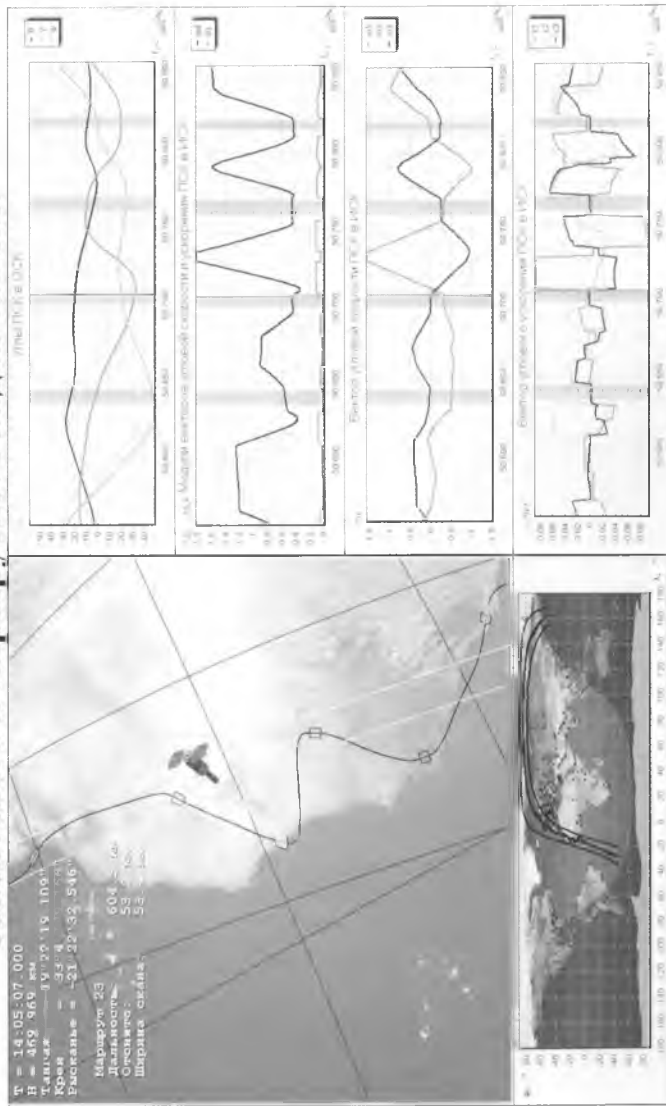
Типовые участки работы КА ДЗЗ

- зондирование маршрутов съемки;
- межмаршрутные интервалы;
- зоны проведения маневров КА на орбите;
- участки ориентирования панелей СБ на Солнце;
- участки сброса целевой информации на Землю.

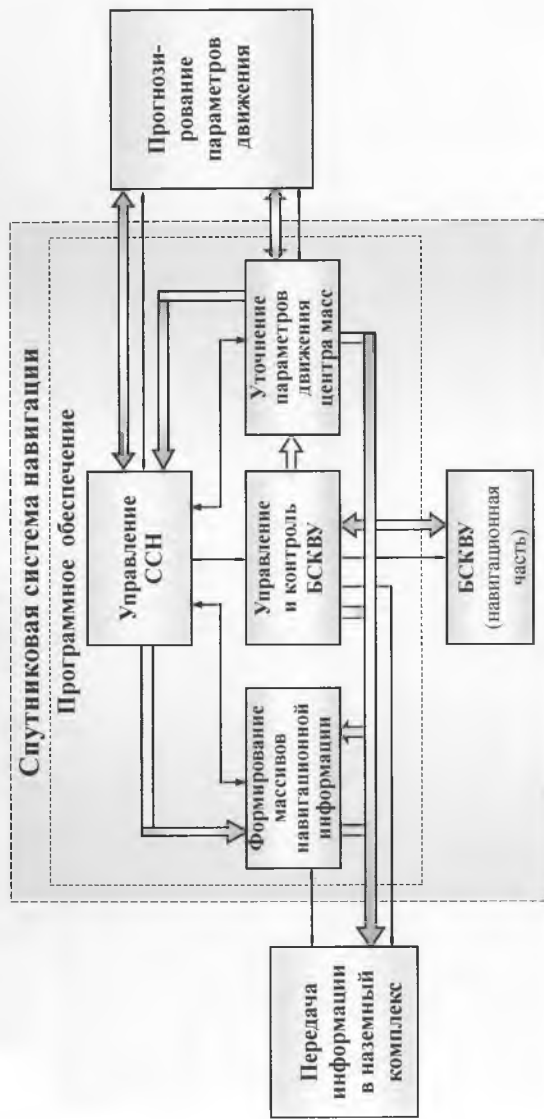
Совокупность настраиваемых параметров программы углового движения

- совокупность кинематических параметров $M(t)$ – направляющие косинусы, углы Эйлера-Крылова, кватернионы.
- векторы угловых скоростей $\omega(t) = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$;
- угловые ускорения $\varepsilon(t) = (\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$.

Фрагмент программы управления угловым движением КА «Ресурс-П» для реализации объектового и маршрутного видов съёмки



Структурная схема ССН



Сравнительные точностные характеристики ССН КА «Ресурс-П» и КА «Ресурс-ДК1» с использованием навигационного поля ГЛОНАСС

Тип КА	Год оценки	Погрешности определения координат (СКО)	Погрешности прогноза координат на интервале 1 виток (СКО)		Примечание
			по радиусу и бинормали	вдоль орбиты	
«Ресурс-ДК1»	2006 – 2013	3 – 12 м	100 м	500 м	12-24 навигационных КА, одна частота, сигнал пониженной точности
«Ресурс-П»	2013 (начало ЛКИ)	1 – 3 м	20 м	100 м	24 навигационных КА, две частоты, сигнал высокой точности

Задачи управления движением КА

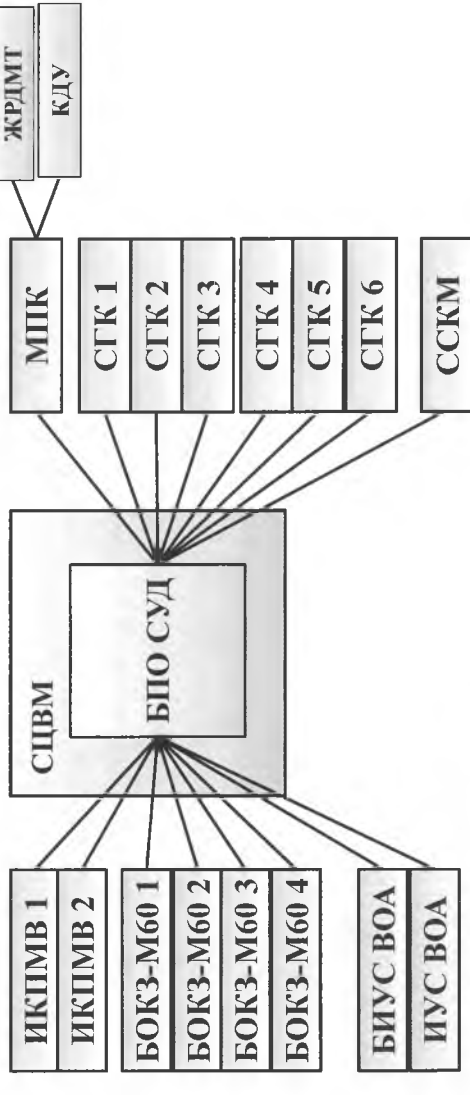
- 1) Синтез структуры и алгоритмов прецизионной стабилизации программного движения упругодеформируемого КА с явной настройкой силового гироскопического комплекса (СГК) для исключения его сингулярных состояний и "не возбуждения" упругих колебаний КА.
- 2) Аналитический синтез программы маршрутного углового движения КА, а также движения на межмаршрутных интервалах с определением кватерниона ориентации $\Lambda(t)$, векторов угловой скорости $\omega(t)$ и углового ускорения $\varepsilon(t)$ как явных функций на заданном интервале времени при краевых условиях общего вида (по Λ , ω и ε) при "мягких" (гладких) переходах от межмаршрутного движения к движению на маршруте.
- 3) Создания методов калибровки бортовых измерительных средств СУД КА непосредственно в полете с целью уменьшения влияния на качество управляемых движений нестабильности положения их базовых осей, систематических и случайных ошибок. Разработка методики и алгоритмов построения единого астроизмерительного базиса («виртуального» БОКЗ).
- 4) Разработка алгоритмов бесплатформенной инерциальной системы определения ориентации (БИСО) на базе датчиков угловой скорости (ИУС ВОА, БИУС ВОА) и блоков определения координат звезд (БОКЗ-М60);
- 5) Разработка безрасходного (без затрат рабочего тела) способа приведения КА в ориентированное положение с использованием магнитной системы сброса кинетического момента и силового гироскопического комплекса.

Система управления движением

Структурная схема СУД

Чувствительные элементы СУД

Исполнительные органы СУД



ЖРДМТ

КДУ

СУДМ

- Входят в СУД функционально

Основные характеристики СУД

1. Режимы функционирования:

- приведение изделия в ориентированное в ОСК положение;
- отработка программы управления угловым движением в инерциальной системе координат (ИСК);
- управление движения центром масс КА;
- режим дежурной ориентации.

2. Точностные и динамические характеристики СУД:

- максимальная угловая скорость вращения КА $2,0 \text{ }^\circ/\text{с}$;
- угловое ускорение вращения КА $0,15 \text{ }^\circ/\text{с}^2$;
- точность ориентации по углу:
 - при работе СПА $\pm 2 \text{ угл. мин. (P=0,96)}$;
 - вне работы СПА $\pm 6 \text{ угл. мин. (P=0,96)}$;
- точность стабилизации по скорости: $0,005 \text{ }^\circ/\text{с (P=0,96)}$;
- точность выдачи импульса тяги:
 - по направлению $\pm 2 \text{ }^\circ$;
 - по модулю: $\pm 0,3 \text{ м/с}$.

Основные характеристики СУД

3. Характеристики живучести СУД:

- допускается отказ одного любого элемента БА СУД;
- допускается отказ 2-х СГК;
- при отказе 3-х СГК управление осуществляется на ЖРДМТ;
- при отказе ССКМ сброс кинетического момента осуществляется средствами ЖРДМТ;
- на рабочей орбите в целях экономии топлива для увеличения времени активного существования КА приведение изделия в ориентированное положение осуществляется безрасходным способом.

4. Особенности СУД:

- использование 6-и СГК;
- использовании безрасходного способа приведения КА в ориентированное положение.

Основные средства управления КА в нестандартных ситуациях

Средства контроля и управления	Особенности реализации в современных КА ДЗЗ	Достижимые свойства
Система контроля и диагностики состояния бортовых средств	Распределенная система в составе АСУ КА: автономная часть в составе БКУ, интерактивная часть в составе НКУ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Высокая автономность принятия (на борту) управленческих решений в штатных условиях работы и по большинству АС из принятого каталога вероятных. ■ Свойство восстанавливаемости в процессе эксплуатации
Контуры "аварийной защиты" бортовых систем	Программные (отдельные модули БПО БКУ) сигналы от БА на систему прерывания БВС	<ul style="list-style-type: none"> ■ Оперативность реагирования на АС в бортовых средствах КА. ■ Предотвращение развития АС. ■ Сохранение штатных характеристик большинства бортовых средств. ■ Возможность оперативного выхода из АС.
Бортовые аппаратные средства с интеллектуальными модулями БПО	Встроенные аппаратно-программные элементы контроля и анализа состояния БА	<ul style="list-style-type: none"> ■ Оперативность реагирования на АС в БА и системах БКУ. ■ Предотвращение развития АС в системах КА. ■ Сохранение работоспособности бортовых систем и БА. ■ Возможность оперативного восстановления работоспособности систем.
Структурный и функциональный резерв БА и систем БКУ	Избыточность – физическая (структурная) в составе БА и функциональная – в составе бортовых систем	<ul style="list-style-type: none"> ■ Сохранение штатных характеристик бортовых систем за счет управления структурной избыточностью или восстановления штатных функций систем и КА с допустимым изменением характеристик

Допустимые состояния КА при нештатных ситуациях

Допустимые состояния КА	Особенности функционирования	Характер причин и последствий	Принятия решения по реанимации
Ориентированный дежурный полет (ОДП)	Сохраняются: ориентация КА, сеансы связи с НКУ; перекладки панелей СБ	Причины АС локализованы бортовыми средствами контроля, а их последствия определены Целевые задачи не выполняются	БКУ в обеспечении оперативности и автономности управления НКУ в качестве органа контроля и дополнительного анализа АС
Неориентированный полет (НП)	Сохраняются: сеансы связи с НКУ	Причины и возможные последствия угрожают работоспособности КА или неоднозначны в рамках принятой модели контроля (искажение данных в ОЗУ СЦВМ, потеря ориентации и стабилизации и др.)	НКУ БКУ - в части реализации программы реанимации из НКУ

Примечание:

Бортовые модели реагирования на список аномальных ситуаций содержится в БПО БКУ

С привлечением ведущих специалистов испытательных центров (ОАО «ЭНПО СПЭЛС», ФГУП «НИИП»), организаций промышленности (ФГУП «ЦНИИмаш», НИИЯФ МГУ), а также разработчиков БА впервые были разработаны «Методические указания по обеспечению стойкости БА изделий разработки ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» к воздействию ТЗЧ и ВЭП КП», содержащие требования по сбоеустойчивости и отказоустойчивости БА (часть 1) и методические указания по оценке и обеспечению сбоеустойчивости и отказоустойчивости БА (часть 2).

Проведена консервативная (расчётная) оценка стойкости БА к воздействию ТЗЧ и ВЭП. По результатам установлено, что из предлагаемых к использованию в составе КА 30-ти наименований БА 16 наименований следует отнести к потенциально чувствительным к воздействию ТЗЧ и ВЭП (содержали «критичные» ЭРИ).

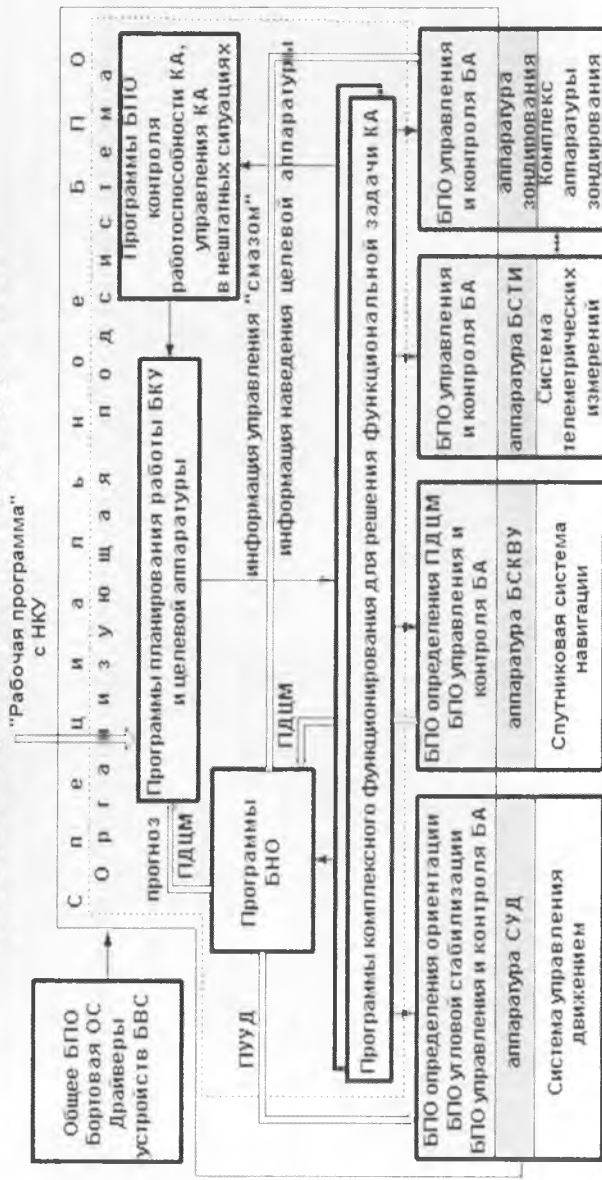
Проблема восстановления работоспособности бортовых средств КА

Отказы	Методы восстановления	Особенности реализации	Средства обнаружения отказов и диагностики	Примечание
<p>Материальные части систем КА и их структурных элементов</p>	<p>1. На основе управления структурной избыточностью БА и ее элементов. 2. На основе управления функциональной избыточностью систем ввиду особенности построения БПО.</p>	<p>Программные модули в БПО с интеллектуальными функциями диагностики и управления внутренними ресурсами</p>	<p>Эталонные математические модели функционирования систем и БА. Тестовые движения КА и их анализ. Модули БПО по управлению ресурсами систем. Специальная структура БПО.</p>	<p>Обеспечение реконфигурации управления и возможности автономного выполнения ряда функций</p>
<p>Ошибки в БПО БКУ КА</p>	<p>На основе принципов замещения элементов БПО с выявленными ошибками на исправные</p>	<p>Распределенная система контроля в БПО БКУ, включающая тесты аппаратной части и выявляющая ошибки БПО</p>	<p>Замена отказавших модулей БПО БКУ исправными. Прозу, как частичная, так и полная замена отдельных программ БПО в ПЗУ БВС.</p>	<p>Специфика применения таких модулей определяется свойствами БВС БКУ, выбором структуры БПО максимально полной отладки ядра БПО</p>

Примечание:

Ядро БПО – это некоторая ограниченная часть программ БПО, обеспечивающая аварийную защиту, решение дежурных задач (тесты БВС, связь с НКУ, слив ТМ-информации и др.). Поэтому безошибочная работа этого ядра обеспечена посредством максимально полной его отладки в наземных средствах Генерального конструктора (НКО) с применением штатной БВС.

Бортовое программное обеспечение (БПО) – системообразующая структура БКУ



БНО - баллистико-навигационное обеспечение

ПУУД - программа управления угловым движением

Особенности БВС И БПО

Тип КА и годы	Мульти-программная работа в реальном времени	Максимальное время переключения программ, мс	Число межпрограммных связей		Объем памяти ПЗУК+ПЗУС, Кбайт	Объем памяти ОЗУ, Кбайт	Число витков для комплексной отладки	Относительное число вариантов комплексной отладки
			Управляющих	Информационных				
Ресурс -ДК1, 2006	До 1200 программ	0,6	1700	3021	256	130	185	~23
Ресурс-П, 2013	До 1200 программ	0,6	1821	3770	528	238	544	37

**Общая отснятая площадь КА «Ресурс – П» №1
на 01.06.2015**

Тип целевой аппаратуры	Отснятая площадь, км²
Опτικο-электронная аппаратура высокодеталяного разрешения	55 640 879
Комплексы широкозахватных мультиспектральных съёмочных аппаратур высокого разрешения	98 074 829
Комплексы широкозахватных мультиспектральных съёмочных аппаратур среднего разрешения	236 353 524
Гиперспектральная аппаратура	3 199 188

**Общая отснятая площадь КА «Ресурс – П» №2
на 01.06.2015**

Тип целевой аппаратуры	Отснятая площадь, км ²
Оптико-электронная аппаратура высокодетального разрешения	11 879 227
Комплекс широкозахватных мультиспектральных съёмочных аппаратур высокого разрешения	30 872 055
Комплекс широкозахватных мультиспектральных съёмочных аппаратур среднего разрешения	106 078 963
Гиперспектральная аппаратура	963 913