

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А. В. Лешоко, В. Н. Осьминин,
К. В. Киселёв, В. А. Трегуб

Описано функционирование наземного комплекса управления (НКУ) в процессе управления орбитальной группировкой (ОГ) ДЗЗ в составе космического комплекса (КК) оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В», а также рассмотрены его состав, назначение, задачи, построение, характеристики. Указаны тенденции развития НКУ ДЗЗ, исходя из повышения требований к качественным и количественным характеристикам циркулирующей в КК ДЗЗ информации. Подробно рассматриваются задачи сектора главного конструктора (СГК) в процессе испытания и управления КА «Канопус-В» как один из факторов повышения эффективности НКУ.

Ключевые слова: наземный комплекс управления, дистанционное зондирование Земли, сектор главного конструктора, космический комплекс, космический аппарат.

НКУ КА ДЗЗ «Канопус-В»

Коллектив авторов принимал участие в испытаниях НКУ «Канопус-В» и принимает участие в его эксплуатации. Целью написания статьи является рассмотрение перспектив развития НКУ КК ДЗЗ. В обязанности авторов входит принятие технических и организационных решений для обеспечения качественного и надёжного функционирования КК «Канопус-В». Также авторы вносят свой вклад в разработку перспективных КК ДЗЗ на основе имеющегося опыта и знания тенденций развития космической техники.

Уникальное сочетание практического опыта управления и возможности его использования при разработке и внедрении инновационных технологий в эксплуатацию существующих КК ДЗЗ, а также при разработке перспективных является одним из факторов опережающего развития отечественной космической отрасли.

Основные целевые задачи НКУ могут быть сформулированы следующим образом: поддержание орбитальной структуры космической системы, управление и контроль выполнения динамических операций в космосе, управление функционированием бортовой аппаратуры КА, контроль и диагностика её состояния, взаимодействие с комплексами, обеспечивающими целевое использование КА на всех этапах функционирования.

Помимо НКУ в КК «Канопус-В» входят: наземный комплекс приёма, обработки и регистрации (НКПОР), единый ЦУП управления разгонными блоками (ЕЦУП РБ) и сектор главного конструктора (СГК) [1].

НКУ «Канопус-В» строится на базе наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения (НАКУ КА НСЭН) и

измерений Государственной корпорации «Роскосмос» (Роскосмос).

В состав НКУ входят как индивидуальные средства – центр управления полётом (ЦУП) со средствами связи и передачи данных (ССПД), так и привлекаемые функционально средства НАКУ КА НСЭН и измерений Роскосмоса:

- мультисервисная система связи и передачи данных (МССПД);
- центр ситуационного анализа и координационного планирования (ЦСАКП);
- центр координации эксплуатации и развития средств наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения и измерений (ЦКЭР);
- территориально разнесённые наземные станции командно-измерительной системы (НС КИС) «Клён».

Наземный комплекс управления КА ДЗЗ предназначен для решения комплекса задач управления орбитальной группировкой космических аппаратов ДЗЗ с использованием наземных средств на этапах лётных испытаний и эксплуатации совместно с бортовым комплексом управления (БКУ) КА, а также для информационного взаимодействия с внешними организациями [2].

Задачи управления КА, выполняемые с помощью средств НКУ, реализуются путём проведения сеансов связи с КА в соответствии с долгосрочными, суточными планами управления (СПУ), программами сеансов связи (ПСС), составляемыми на основе разработанных технологических циклов управления (ТЦУ) КА, планами целевого использования аппаратуры КА, а также долгосрочными и разовыми техническими решениями по управлению КА.

В сеансах связи (СС) с КА на КА передаются программы и команды управления, а НКУ прини-

мают подтверждающие квитанции, телеметрическую информацию (ТМИ) и информацию оперативного контроля (ИОК) о состоянии обеспечивающих и целевой систем КА.

НКУ решает следующие задачи:

- подготовки средств НКУ к запуску КА и управлению КА в полёте;
- управления КА в течение всего срока активного существования, в том числе и в случае возникновения нештатной ситуации;
- автоматизированного долгосрочного и оперативного планирования операций управления КА и работы средств НКУ;
- автоматизированной подготовки исходных данных и технологической информации для решения задач командно-программного управления, навигационно-баллистического обеспечения полёта КА, контроля состояния и функционирования КА;
- автоматизированного доведения планов, исходных данных, технологической информации до соответствующих средств НКУ и внешних организаций;
- автоматизированной подготовки и проведения сеансов связи с КА;
- автоматизированного контроля выполнения КА заданной программы полёта с выдачей команд на КА по передаче ТМИ и заданий на её обработку при отказах бортовой аппаратуры и возникновении нештатных ситуаций;
- автоматизированного сбора, обработки и анализа информации всех видов, оперативного отображения и документирования результатов обработки на средствах ЦУП в целях контроля выполнения технологического цикла управления КА, состояния бортовой аппаратуры КА и средств НКУ, учёта ресурсов, а также накопления, систематизации и хранения текущей информации о состоянии КА с обеспечением отображения и документирования по вызову оператора;
- измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) КА НС КИС, определение и прогнозирование по результатам измерений параметров движения КА с точностями, необходимыми для работы БА КА, НС КИС, НКУ, наземного комплекса приёма, обработки и распространения информации (НКПОР) и целевого использования КА;
- автоматизированного формирования, расчётов, компоновки и передачи на борт КА командно-программной информации (КПИ) и разовых команд (РК);
- автоматизированного обмена баллистической, командно-программной, контрольной и оперативно-технической информацией с НКПОР.

ЦУП предназначен для:

- обеспечения круглосуточного автоматизированного управления полётом КА и средствами

НКУ «Канопус-В» в целях выполнения ими целевых задач;

- контроля орбитального положения КА и поддержания параметров орбиты КА с необходимой точностью;
- планирования работы бортовой аппаратуры и наземных средств в интересах эффективного выполнения целевых задач КА.

На этапе вывода разгонным блоком КА на орбиту организуется взаимодействие ЦУП КА с единым ЦУП управления разгонными блоками (ЕЦУП РБ), из которого в ЦУП поступает уточнённая информация о фактических параметрах орбиты КА после выведения. В случае отклонения параметров орбиты от расчётных ЦУП обеспечивает при необходимости передачу уточнённых начальных условий (НУ) движения КА на НС КИС.

ЦУП также обеспечивает взаимодействие с Оператором КК, которым является НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы», при этом от Оператора поступают программы работ целевой аппаратуры КА, а из ЦУП Оператору поступают отчёты о передаче на КА необходимой информации, уточнённые НУ и данные о состоянии целевой аппаратуры КА.

ССПД обеспечивает автоматизированный обмен информационными потоками ЦУП с НС КИС, сектором главного конструктора (СГК), а также оперативную связь дежурных смен НКУ с внешними абонентами.

МССПД предназначена для обеспечения передачи информации и своевременной, достоверной, устойчивой связи между объектами НАКУ КА НСЭН и измерений, находящимися в ведении Роскосмоса, в интересах обеспечения управления и информационного обеспечения запусков космических аппаратов научного и социально-экономического назначения. Средства связи совместно со средствами телекоммуникаций и автоматизации управления составляют техническую основу управления и являются составной частью НАКУ КА НСЭН и измерений.

ЦСАКП является органом управления, предназначенным для проведения ситуационного анализа состояния орбитальной группировки КА НСЭН, наземных средств управления и измерений, планирования применения и координации использования средств НАКУ КА НСЭН и измерений. Эксплуатирующим предприятием в части ЦСАКП является ФГУП ЦНИИмаш.

ЦКЭР предназначено для:

- информационного обеспечения деятельности руководства Роскосмоса и головной организации по Единому ГосНАКУ при создании, организации

эксплуатации и развитию систем, комплексов и средств НАКУ КА НСЭН и измерений;

- координации работ, проводимых организациями промышленности в области создания, развития и эксплуатации НАКУ КА НСЭН и измерений, его составных частей, систем, комплексов и средств в соответствии с утверждённой Роскосмосом идеологией (системным проектом);

- обеспечения координации и информационного взаимодействия между объектами НАКУ КА НСЭН и измерений при выполнении задач управления КА НСЭН, пилотируемыми космическими комплексами (ПКК) и информационного обеспечения их запусков;

- информационного обеспечения запусков РКН с КА НСЭН и ПКК;

- планирования, организации и контроля эксплуатации средств НАКУ КА НСЭН и измерений;

- взаимодействия с управляющими структурами НАКУ КА и ИКК Минобороны России при организации планирования и проведении эксплуатационных мероприятий на средствах НАКУ КА НСЭН и измерений по вопросам информационного обмена и использования средств ССПД;

- мониторинга технического состояния средств НАКУ КА НСЭН и измерений, выявле-

ния и принятия мер по предотвращению и устранению неисправностей в работе средств управления КА и измерений.

НС КИС «Клён» предназначена для контроля и управления перспективными автоматическими КА научного и социально-экономического назначения, находящимися на круговых, высокоэллиптических и геостационарных орбитах с высотами от 200 до 42 000 км, разгонными блоками (РБ), а также пилотируемыми космическими комплексами (ПКК) и орбитальными станциями, и привлекается для управления ОГ КА «Канопус-В».

В настоящее время состав НС КИС «Клён», привлекаемых для управления ОГ КА «Канопус-В», включают:

- НС КИС «Клён-М» на территории АО «Российские космические системы», г. Москва;

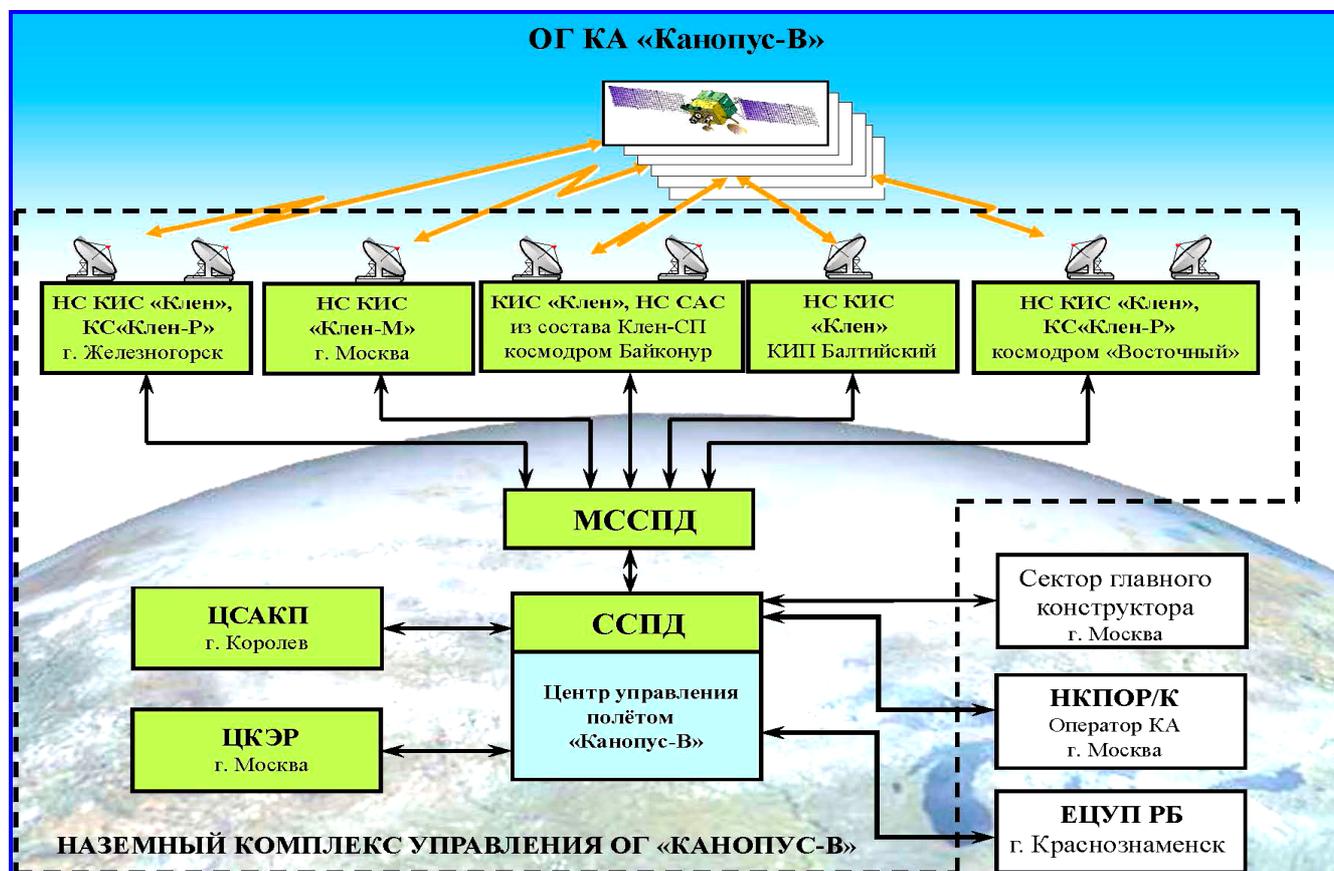
- НС КИС «Клён» и КС КИС «Клён-Р» на командно-измерительном пункте (КИП), г. Железнодорожск;

- НС КИС «Клён» на КИП Балтийский;

- НС КИС «Клён» и КС КИС «Клён-Р» на пл. 9 космодрома «Восточный»;

- КИС «Клён» из состава «Клён-СП» на пл. 23 космодрома Байконур.

Функциональная схема НКУ ОГ КА «Канопус-В» приведена на рисунке.



Функциональная схема НКУ ОГ КА «Канопус-В»

НКУ ОГ обеспечивает следующие характеристики по оперативности:

- интервал времени между поступлением ТМИ и отображением её на мониторах АРМ ЦУП не более 30 с;

- время представления ТМИ в ЦУП в виде документов от момента её получения НС КИС – не более 10 мин;

- темп выдачи разовых команд на КА «Канопус-В» с пульта оператора ЦУП или НС КИС: в автоматическом режиме – не более 2 с, в ручном – не более 10 с;

- оперативность расчёта КПИ – не более 1 ч;

- оперативность закладки на борт КА «Канопус-В» рабочих программ с учётом географии расположения НС КИС и орбиты КА – не более 12 ч.

НКУ обеспечивает синхронизацию местной шкалы времени (МШВ) с бортовой шкалой времени (БШВ) КА, а также проведение операций сверки бортовой шкалы времени со следующими характеристиками:

- точность синхронизации МШВ НС КИС не хуже 100 мкс;

- погрешность проведения сверки и коррекции бортовой шкалы времени с НШВ не хуже 200 мкс.

НКУ должен обеспечивать организационно-техническими методами защиту от несанкционированной выдачи разовых команд и программ управления на КА, а также защиту сетевыми средствами от несанкционированного доступа к информации, циркулирующей в НКУ.

Все виды информации, передаваемые на КА и принимаемые с КА, регистрируются в ЦУП и НС КИС с возможностью последующего анализа.

НКУ создаётся для управления группировкой из 6 КА типа «Канопус-В».

В настоящее время ОГ КА «Канопус-В» состоит из четырёх КА – «Канопус-В» № 1, 3, 4, «Канопус-В-ИК».

Завершить формирование ОГ КА планируется в 2019 г. запуском КА «Канопус-В» № 5 и № 6.

Для устойчивого управления ОГ в составе 6 КА НКУ планируется в 2019 г. введение ещё одной НС КИС, размещённой на космодроме Байконур, и дополнительных автоматизированных рабочих мест 9 (АРМ) в ЦУП.

Основной тенденцией развития дистанционного зондирования Земли является создание группировок спутников, т. е. работа одиночных космических аппаратов уходит в прошлое. К группировкам спутников можно отнести аппараты, которые идентичны или близки по своим характеристикам, которые работают согласованно и имеют общее хранилище данных.

Однозначно можно сказать, что во всём мире продолжит расти спрос на данные ДЗЗ, продукты и сервисы на их основе. Космические аппараты ДЗЗ уже сегодня выполняют съёмку в различных спектральных каналах и с различным разрешением, с высокой точностью, периодичностью и производительностью. Тактико-технические характеристики будут продолжать совершенствоваться, появится возможность получать данные по любому району Земли в любое время.

Одна из заметных тенденций, которая будет только усиливаться с течением времени, – колоссальное увеличение объёмов получаемых данных за единицу времени, которые необходимо в оперативном режиме обработать и проанализировать для принятия эффективных управленческих решений.

Таким образом, в перспективе НКУ должен развиваться в сторону обеспечения:

- увеличения объёма циркулирующей информации;
- увеличения скорости обработки, точности оценки и выработки заключения о работе БА;
- увеличения скорости принятия решений по управлению;

- повышения надёжности всех элементов НКУ.

Этого можно достичь благодаря:

- применению инновационных технологий и методов при эксплуатации НКУ;
- повышению автоматизации обработки информации;

- постоянному совершенствованию эксплуатационной документации;
- повышению квалификации персонала, участвующего в эксплуатации НКУ и управлении КА.

В управлении КА участвует расчёт сектора главного конструктора (СГК), расположенного в АО «Корпорация «ВНИИЭМ». В его основные задачи входит контроль правильности исполнения программы полёта КА, анализ состояния бортовой аппаратуры (БА) КА, а также разработка рекомендаций по выходу из нештатных ситуаций в случае возникновения таковых на КА.

Сектор главного конструктора АО «Корпорация «ВНИИЭМ»

Сектор главного конструктора (СГК) – организационная структура предприятия-изготовителя космического аппарата (КА), непосредственно участвующая в испытаниях и управлении КА типа «Канопус-В» совместно с центром управления полётом (ЦУП).

Прообразом современного СГК АО «Корпорация «ВНИИЭМ» можно считать созданную в 1994 г. группу специалистов института для включения в совместный дежурный расчёт ЦУП КА «Электр № 1»,

созданного ВНИИЭМ. Тогда совместная выработка управленческих решений и само совместное управление позволило в полной мере использовать опыт конструкторов и разработчиков КА, специалистов, проводивших испытания КА и его систем, что обеспечило высокую оперативность принятия мер по парированию возникавших нештатных ситуаций, изменению технологии управления, организации необходимых доработок алгоритмов управления КА и программно-математического обеспечения. Руководство института, напрямую получая информацию от специалистов, смогло организовать быстрое проведение испытаний принципиально нового для того времени КА и получение с него целевой информации.

Накопленный положительный опыт был пополнен благодаря созданию современного СГК. Активное участие СГК в управлении КА обусловлено рядом современных объективных тенденций:

- модификация в последующих экземплярах одного типа КА бортовой аппаратуры (БА) (как служебной платформы, так и специальной аппаратуры) с целью улучшения тактико-технических характеристик (ТТХ) КА;

- совершенствование алгоритмов управления, внесение изменений в бортовое программное обеспечение (ПО) БА, калибровка приборов, в том числе и в ходе эксплуатации КА;

- совершенствование средств и расширение состава средств наземного комплекса управления (НКУ) и наземного комплекса приёма обработки и распространения целевой информации, которое требует постоянного совершенствования алгоритмов и программно-математического обеспечения управления КА.

Участие в управлении КА СГК позволяет проводить оперативные изменения в технологии управления КА в составе космического комплекса (КК) и обеспечивает эксплуатацию запускаемых КА без длительного периода натурных испытаний.

Изменения в технологии управления первоначально вводятся техническим решением, оформляемым СГК и направляемым в ЦУП. При успешной «обкатке» новой технологии, СГК инициирует и участвует в оформлении изменений в эксплуатационной документации КА.

Организация несения круглосуточного дежурства в СГК позволяет в случае нештатных ситуаций оперативно парировать их, привлекая разработчиков БА к анализу сложившейся ситуации, и, соответственно, принимать наиболее проработанные технические решения. Следует отметить, что сложившийся высокий уровень ответственности

разработчиков БА позволяет дежурной смене СГК круглосуточно связываться с ними и получать необходимые консультации по возникшим проблемам. На практике технические решения по нестандартным ситуациям не принимаются без согласования с ключевыми специалистами по БА.

Дежурная смена СГК кроме оперативного участия в анализе нештатных ситуаций и принятия технических решений, проводит проверку, согласование и аттестацию всех программ сеансов связи (ПСС), принимает в реальном масштабе времени репортаж ЦУП о проведении сеанса связи (СС) с КА, получает, обрабатывает и анализирует информацию оперативного контроля (ИОК) и телеметрическую информацию (ТМИ). Также ежедневно проводится контроль программ задействования средств НКУ (ПЗС), формирования суточной программы управления (СПУ) КА, расчёта энергобаланса КА.

Высокая квалификация персонала СГК позволила быстро подготовиться и к выполнению обязанностей дежурного расчёта ЦУП КА «Ломоносов».

Перед запуском КА «Ломоносов» был создан центр управления полётом КА на платформе «Канопус», персонал которого выполняет обязанности в составе дежурных смен ЦУП «Ломоносов» и в составе оперативной группы (ОГ) СГК.

Также одна из основных задач СГК – участие в разработке эксплуатационной документации на новые КА существующего космического комплекса (КК) «Канопус-В» на основе накопившегося опыта испытаний и эксплуатации КА.

Важной обязанностью дежурной смены СГК является незамедлительный доклад руководству предприятия о возникших нештатных ситуациях и принятых мерах. Сменный руководитель ОГ СГК ежедневно в установленное время докладывает Генеральному директору сводный формализованный отчёт о результатах управления всеми КА предприятия за сутки и планах на предстоящие сутки.

Расходы на содержание круглосуточного дежурства персонала СГК компенсируются:

- оперативностью принятия и выполнения технических решений по выходу из нештатных ситуаций (НШС), что однозначно приводит к увеличению срока эксплуатации КА;

- уменьшением ошибок операторов ЦУП из-за дополнительного контроля над формированием и выполнением ПЗС, ПСС, включая независимый анализ ИОК и ТМИ на средствах СГК;

- повышением качества ЭД, в том числе перспективных КА на основании опыта испытаний и эксплуатации КК;

- оперативностью внедрения новых версий ПО БА и наземных средств.

Перспективным направлением является использование опыта специалистов СГК на этапе проектирования и создания новых образцов космической техники на предприятии.

Таким образом, совместное участие предприятия-разработчика КА (СГК) и эксплуатирующей организации КК (ЦУП) в испытании и применении по целевому назначению КК является перспективным организационным решением для увеличения эффективности функционирования НКУ ДЗЗ, исходя из увеличения сложности и объёма задач, решаемых КК ДЗЗ.

Используемые термины и определения

Наземный комплекс управления орбитальными средствами (НКУ ОСр) – совокупность технических средств и сооружений, предназначенных для управления функционированием орбитальных средств с момента их выведения на орбиту.

Наземный автоматизированный комплекс управления орбитальными средствами (НАКУ ОСр) – совокупность необходимой инфраструктуры, технических систем, средств из состава командно-измерительных и измерительных пунктов, центров и пунктов управления орбитальными средствами, центров обработки измерительной информации, предназначенных для формирования наземных комплексов, обеспечивающих реализацию автоматизированных процессов контроля параметров полёта изделий ракетно-космической техники, состояния бортовой аппаратуры и управления их функционированием.

Орбитальная группировка космических аппаратов (ОГ КА) – совокупность космических аппаратов, расположенных на орбитах в соответствии с баллистической структурой и объединённых общностью решаемых задач в составе космической системы или комплекса.

Космическая система (КС) – совокупность согласованно действующих и взаимосвязанных технических средств космического комплекса и наземного специального комплекса (аппаратура приёма и передачи информации), предназначенных для решения целевых задач.

Космический комплекс (КК) – совокупность функционально взаимосвязанных орбитальных и наземных технических средств, обеспечивающих как самостоятельное решение целевых задач на основе использования космического пространства, так и в составе космической системы.

Командно-измерительная система космического комплекса (КИС КК) – радиотехническое средство наземного автоматизированного комплекса управления в совокупности с бортовой аппаратурой космического аппарата или разгонного блока, предназначенное для измерения параметров движения космических аппаратов и разгонных блоков, приёма и передачи различных видов информации, формирования и передачи на космические аппараты и разгонные блоки команд и программ управления, стандартных частот и сигналов времени для синхронизации работы бортового комплекса управления [3].

Литература

1. Леонов М. С., Круглов А. В. Наземный комплекс управления КА «Канопус-В» / М. С. Леонов, А. В. Круглов // Вопросы электромеханики. – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2015. – Т. 149. – С. 24 – 29.
2. Карпов А. М., Леонов М. С., Жодзишский А. И. Основные направления развития командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами // Радиотехника. – 1996. – № 4. – С. 85 – 90.
3. ГОСТ Р 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения – введ. впервые. – М. : Стандартинформ, 2011.

Поступила в редакцию 20.03.2018

Александр Васильевич Лешоко, начальник центра, т. + 7 (915) 266-05-23, e-mail: lav59@mcc.vniiem.ru.

Владимир Николаевич Осминин, главный специалист, т. + 7 (916) 154-28-26, e-mail: vladimirosminin@yandex.ru.

Константин Владимирович Киселёв, начальник отдела, e-mail: otd20upr@mail.ru.

Валерий Анатольевич Трегуб, начальник лаборатории, т. + 7 (925) 207-08-03, e-mail: otd20upr@mail.ru.

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF GROUND CONTROL CENTER FOR EARTH REMOTE SENSING SATELLITES

**A. V. Levoshko, V. N. Osminin,
K. V. Kiselev, V. A. Tregub**

The article describes the operation of the ground control center (GCC) in the course of control of the orbital ERS satellite constellation comprising the Canopus-V space system for real-time monitoring of man-made and natural disasters. The Canopus-V components, application and objectives, as

well as design features and performance specifications are provided. The prospects of the ERS GCC development taking into account increased requirements to the qualitative and quantitative characteristics of information circulating within the ERS space system are presented. The objectives of the chief designer sector during the Canopus-V testing and control operations, as one of the factors improving the GCS efficiency, are considered in detail.

Key words: ground control center, Earth remote sensing, chief designer sector, space system, satellite.

References

1. Leonov M. S., Kruglov A. V. Canopus-V ground control center / M. S. Leonov, A. V. Kruglov // Matters of Electromechanics. – M. : JC «VNIIEEM Corporation», 2015. – V. 149. – Pp. 24 – 29.
2. Karpov A. M., Leonov M. S., Zhodzishskii A. I. Basic trends of satellites telecommand system development // Radiotekhnika (Radioengineering). – 1996. – No. 4. – Pp. 85 – 90.
3. GOST R 53802-2010. Space systems. Terms and definitions – first introduction. – M. : Standartinform, 2011.

Aleksandr Vasilevich Levoshko, Head of Center, tel.: + 7 (915) 266-05-23, e-mail: lav59@mcc.vniiem.ru.
Vladimir Nikolaevich Osminin, Chief Specialist, tel.: + 7 (916) 154-28-26, e-mail: vladimirosmimin@yandex.ru.
Konstantin Vladimirovich Kiselev, Head of Department, e-mail: otd20upr@mail.ru.
Valerii Anatolevich Tregub, Head of Laboratory, tel.: + 7 (925) 207-08-03, e-mail: otd20upr@mail.ru.
(JC «VNIIEEM Corporation»).