

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 629.78

## НАЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ КА «КАНОПУС-В»

М.С. Леонов, А.В. Круглов

*Приводятся данные о задачах и особенностях построения наземного комплекса управления (НКУ) КА «Канопус-В» на средствах НАКУ НСЭН и измерений Роскосмоса, средствах НКУ, функционально привлекаемых, и ЦУП, созданного специально в рамках ОКР «Канопус-В». Рассматриваются особенности построения ЦУП, включая: аппаратно-программные средства, архитектуру построения вычислительного комплекса, состав и функциональное назначение специального программного обеспечения. Рассматривается организация информационного взаимодействия между элементами НКУ, а также внешними абонентами ЦУП, которыми являются СГК и ЦУП Белорусского КА. Приводятся основные технические характеристики НКУ КА «Канопус-В» по точности, оперативности, пропускной способности, делается вывод о возможности увеличения управляемой орбитальной группировки КА путем подключения к НКУ дополнительных НС КИС и ввода дополнительных АРМ в ЦУП.*

***Ключевые слова:** центр управления, телеметрическая информация, командно-программная информация, наземная станция, командно-измерительная система, бортовой комплекс управления, навигационно-баллистическое обеспечение.*

### Задачи и построение НКУ КА «Канопус-В»

Наземный комплекс управления (НКУ) КА «Канопус-В» предназначен для решения комплекса задач управления космическим аппаратом (КА) 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 [1].

Задачи управления КА, выполняемые с помощью средств НКУ, реализуется путём проведения сеансов связи с КА в соответствии с долгосрочными и суточными планами управления (СПУ), составляемыми на основе разработанных технологических циклов управления (ТЦУ) КА, и планами целевого использования аппаратуры КА.

В сеансах связи на КА передаются программы и команды управления, а НКУ принимает подтверждающие квитанции, телеметрическую информацию (ТМИ) и информацию оперативного контроля (ИОК) о состоянии обеспечивающих и целевой систем КА.

В состав НКУ входят:

– центр управления полётом (ЦУП) со средствами связи и передачи данных (ССПД), а также функциональные средства наземного автоматизированного управления научного и социально-экономического назначения (НАКУ НСЭН) и измерений Роскосмоса:

- мультисервисная сеть (МССПД);
- центр ситуационного анализа и координационного планирования (ЦСАКП);
- центр координации, эксплуатации и развития (ЦКЭР);

– наземные станции командно-измерительной системы (НС КИС).

НКУ решает следующие задачи:

- подготовки средств НКУ к запуску КА и к 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 с целью 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



Рис. 1. Функциональная схема НКУ

КА с обеспечением отображения и документирования по вызову оператора;

- измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) КА с помощью НС КИС, определение и прогнозирование по результатам измерений параметров движения КА с точностями, необходимыми для работы 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.

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

В состав НКУ (рис. 1) входят станции КИС типа: «Клён-М», расположенной в г. Москве, «Клён» в г. Железногорске Красноярского края. К ЦУП обеспечено подключение также дополнительных станций: «Клён-Р» в г. Железногорске и белорусского командно-измерительного пункта в пос. Плещеницы Минской области.

В период вывода КА на орбиту с помощью разгонного блока организуется взаимодействие ЦУП с единым ЦУП управления разгонными блоками (ЕЦУП РБ), из которого в ЦУП выдаётся 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 обеспечивает также взаимодействие с Оператором КА, которым является «НЦ ОМЗ» АО «Российские космические системы», при этом от Оператора поступают программы работ целевой аппаратуры КА, а от ЦУП Оператору поступают отчёты о передаче на КА необходимой информации, уточнённые НУ и данные о состоянии целевой аппаратуры КА.

В управлении КА участвует расчёт секторов главного конструктора, 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. Кроме того автоматизированное взаимодействие ЦУП обеспечивается с ЦУП БКА и центром ситуационного анализа и координационного планирования (ЦСА КП) в ФГУП ЦНИИмаш в г. Королёве.

### Построение центра управления полётом

Центр управления полётом предназначен для:

- обеспечения круглосуточного автоматизированного управления полётом КА и средствами НКУ «Канопус-В» с целью выполнения ими целевых задач;
- контроля орбитального положения КА и поддержания параметров орбиты КА с необходимой точностью;
- планирования работы бортовых и наземных средств в интересах эффективного выполнения целевых задач КА.

ЦУП обеспечивает свои функции в процессе ввода КА в эксплуатацию, выполнения ими целевой программы во всех режимах полёта КА.

Задачи, решаемые ЦУП, соответствуют задачам, решаемым НКУ в целом.

ЦУП КА «Канопус-В» размещается на площадях существующего ЦУП-М ФГУП ЦНИИмаш. При этом ЦУП КА «Канопус-В» интегрируется в существующую инфраструктуру ЦУП-М ЦНИИмаш: локальную вычислительную сеть, внутренние и внешние связи, индивидуальные и коллективные средства отображения, систему единого времени, комплекс внешних информационных обменов, рабочие помещения, энергетические и тепловые установки и т. д.

ЦУП КА «Канопус-В» состоит из следующих компонентов:

- аппаратных средств ЦУП на базе ПЭВМ, объединённых локально-вычислительной сетью (ЛВС);
- программного обеспечения ЦУП.

Работа ЦУП обеспечивается следующими средствами:

- средствами связи операторов (внутренней, технологической, междугородной);
- офисным оборудованием;
- средствами гарантийного и бесперебойного электроснабжения, молниезащиты, освещения, отопления, кондиционирования и т. д.;
- средствами пожаробнаружения и пожаротушения;
- средствами обеспечения работы операторов (мебель, жалюзи и электробытовые приборы);
- средствами охраны объекта;
- зданиями и сооружениями ЦУП.

Аппаратный состав ЦУП для обеспечения выполнения функциональных требований состоит из следующих средств вычислительной и оргтехники:

- автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов на базе ПЭВМ, с соответствующим специальным программным обеспечением;
- серверов центральной базы данных;

- средств локальной вычислительной сети ЦУП;
- средств документирования коллективного пользования;
- средств отображения информации коллективного пользования;
- средств системы синхронизации времени;
- средств копирования документов.

Исходя из требований надёжности управления, организуются две линейки АРМ (основная и резервная). ЦУП делится на сектора, оснащённые аппаратными и программными средствами:

- сектор управления: два АРМ (основное и резервное) управления; два АРМ (основное и резервное) обмена с НС КИС;
- сектор оперативного планирования и расчета КПИ – два АРМ (основное и резервное);
- сектор навигационно-баллистического обеспечения (НБО) – два АРМ (основной с принтером и резервный) для решения задач НБО управления КА «Канопус-В» № 1;
- сектор информационного обмена: АРМ отображения; серверы баз данных; рабочее место администратора сети; сетевое оборудование;
- сектор руководства ЦУП – одно АРМ с подключённым к нему принтером;
- сектор анализа и диагностики: два АРМ (основное и резервное) обработки ТМИ; два АРМ (основное и резервное) анализа обработанной ТМИ;
- сектор долгосрочного и суточного планирования – два АРМ (основной с принтером и резервный).

Помимо вышеперечисленных средств, ЦУП оснащается шестью АРМ неоперативного контроля состояния КА и отображения.

В качестве средств отображения коллективного пользования используются плазменные панели.

Для обеспечения обмена информацией внутри ЦУП создается сегмент ЛВС ЦУП. Он также используется для обеспечения через ССПД информационного обмена ЦУП с НС КИС и внешними абонентами.

ЛВС строится с использованием спецификации сетей Ethernet со скоростью передачи 100 Мбит/с.

Ядром ЛВС являются мощные сетевые коммутаторы фирмы Cisco, соединённые между собой волоконно-оптической линией связи.

Программное обеспечение (ПО) ЦУП (рис. 2) содержит:

- общесистемное программное обеспечение (ОСПО);
- общее программное обеспечение (ОПО);
- специальное программное обеспечение (СПО).

Структура программного обеспечения ЦУП приведена на рис. 2.

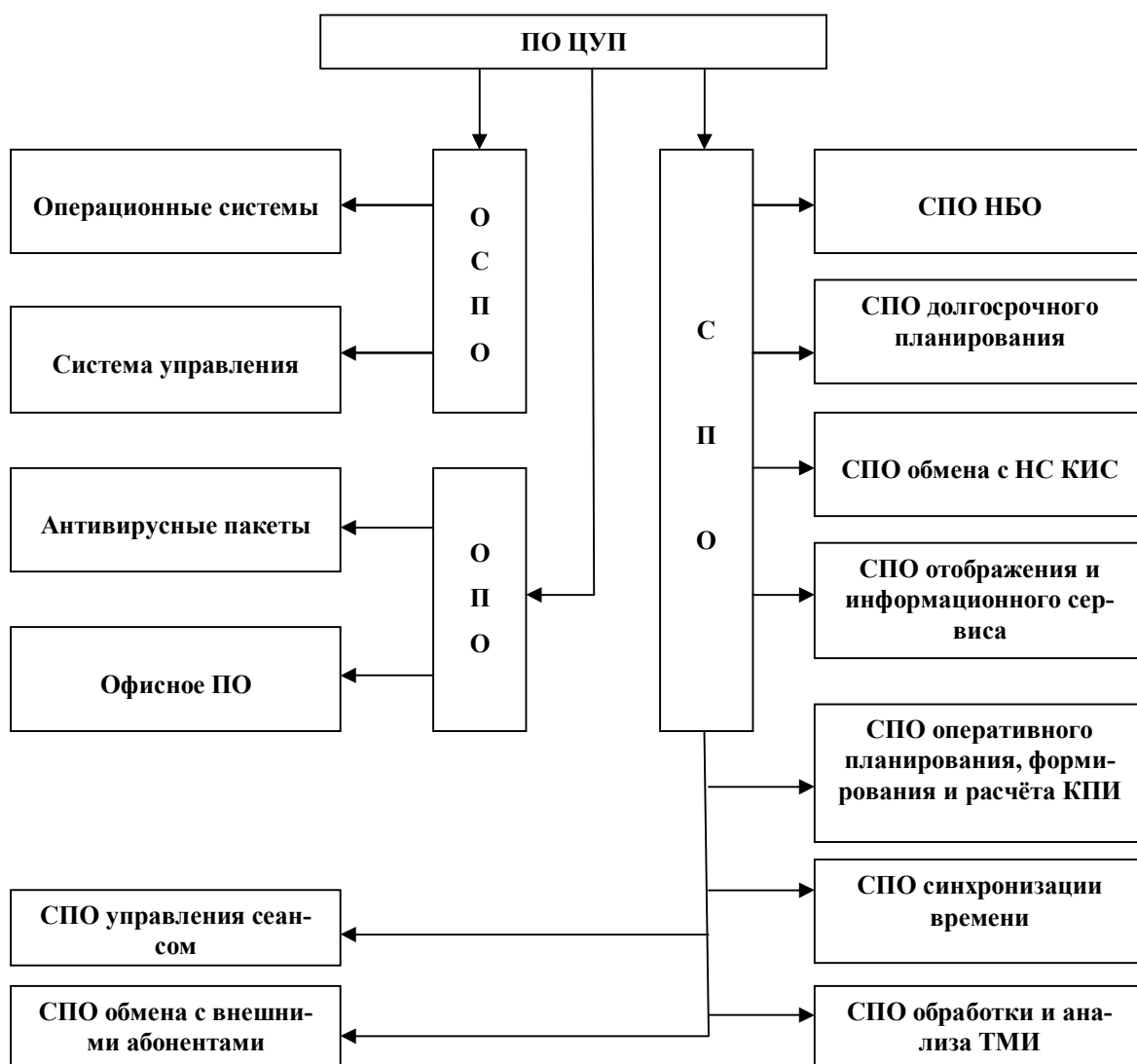


Рис. 2. Общая структура ПО ЦУП

### Система связи и передачи данных

При обеспечении связи ССПД выполняет задачи по передаче информации следующих видов.

В направлении ЦУП → НС КИС передаются:

- целеуказания для наведения антенн;
- массивы КПИ, РП, РК/КУ (команд управления НС КИС);

– директивы для управления НС КИС.

В направлении НС КИС → ЦУП передаются:

- телеметрическая информация;
- ИФКТ (информация функционального контроля);

– отчёты о выполнении сеансов связи;

– квитанции о прохождении РК, КПИ;

– результаты ИТНП.

В обоих направлениях ЦУП ↔ НС КИС обеспечивается громкоговорящая связь.

Для взаимодействия ЦУП с НС КИС используются каналы МССПД Роскосмоса.

Для взаимодействия ЦУП с ЦУП и КИП Белорусского НКУ (БНКУ) и с СГК используются выделенные высокоскоростные волоконно-оптические (ВОЛС) и спутниковый канал связи (КСС).

Для связи с оператором КК (НКПОР) используются выделенные цифровые телефонные каналы связи.

Для связи с ЕЦУП РБ и ЦКЭР – каналы связи МГТС.

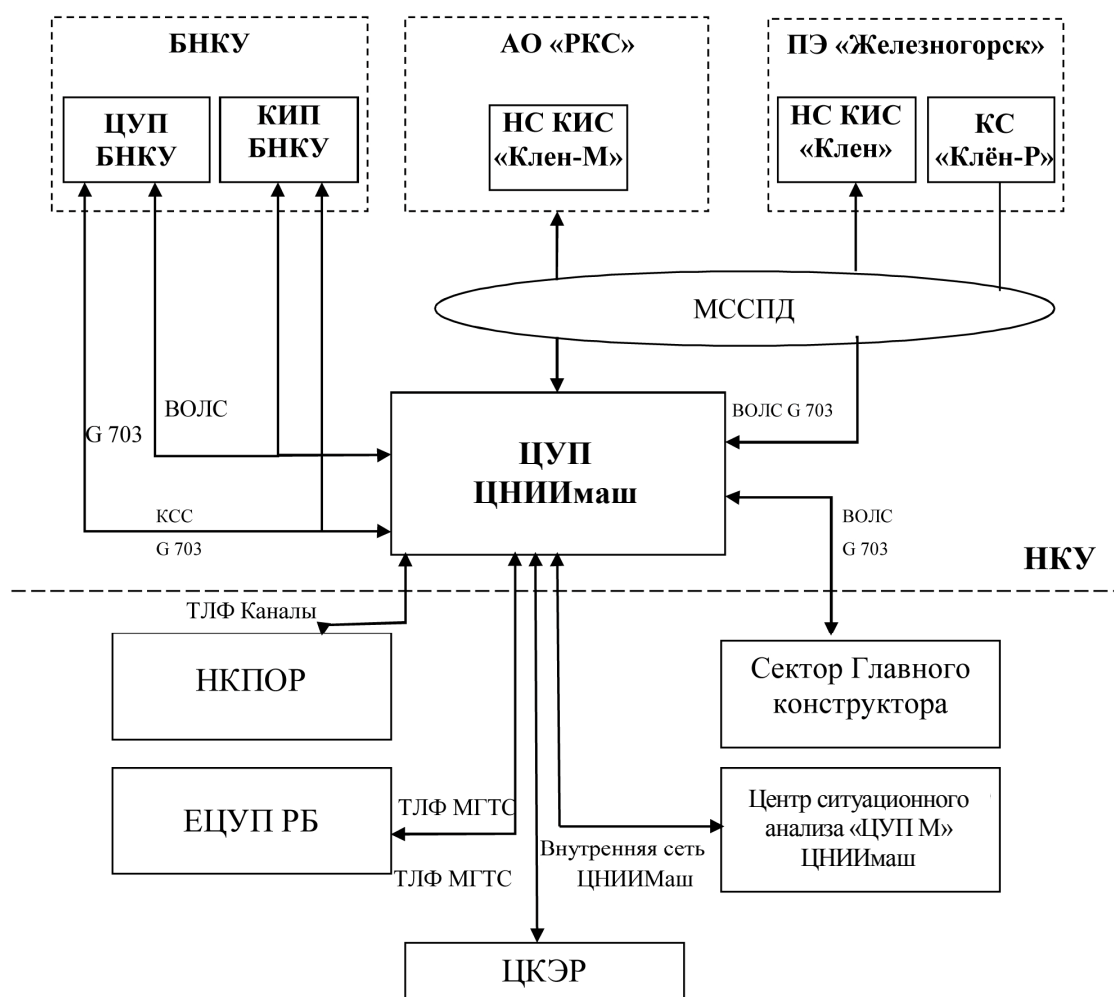


Рис. 3. Структурная схема информационных связей НКУ

Взаимодействие с ЦСА КП обеспечивается по внутренней сети ЦНИИМаш.

ССПД (рис. 3) обеспечивает взаимодействие основных элементов НКУ: ЦУП и НС КИС, а также взаимодействие ЦУП с внешними абонентами.

### Характеристики НКУ

НКУ обеспечивает следующие характеристики по оперативности:

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

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

- темп выдачи разовых команд на КА «Канопус-В» №1 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) средств НКУ с бортовым эталоном времени и частоты, 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 КА «Канопус-В» 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 сред-

ствами от несанкционированного доступа к информации, циркулирующей в НКУ.

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

НКУ создавался для одновременного управления группировкой из двух КА типа «Канопус-В». Эта возможность с успехом была использована для управления в период лётных испытаний одновременно для КА «Канопус-В» и белорусского КА после их совместного запуска.

Построение НКУ предусматривает возможность увеличения состава управляемой орбитальной группировки путём подключения дополнительных станций КИС по мере ввода их в эксплуатацию и развёртывания дополнительных АРМ в ЦУП.

#### Литература

1. Карпов А. М., Леонов М. С., Жодзишский А. И. Основные направления развития командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами // Радиотехника. – 1996. – № 4. – С. 85 – 90.

Поступила в редакцию 24.11.2015

*Михаил Сергеевич Леонов, д-р техн. наук, начальник отдела,  
т. (495) 624-18-09, e-mail: lab2701@mail.ru.*

*АО «Корпорация «ВНИИЭМ».*

*Александр Викторович Круглов, д-р техн. наук, начальник отделения,  
т. (495) 673-97-30, e-mail: contact@spacecorp.ru.*

*АО «Российские космические системы».*

## KANOPUS-V SATELLITE GROUND CONTROL COMPLEX

**M.S. Leonov, A.V. Kruglov**

*The article offers information on mission and configuration of Kanopus-V Satellite Ground Control Complex (GCC), which is built on the basis of scientific and social & economic purposes ground computer complex (SSEP GCC) and Roscosmos telemetry system, as well as on functionally used GCC facilities and MCC (Mission Control Center) specially established for Kanopus-V RDP (Research & Design Project). MCC configuration, including hardware and software, computer complex architecture, contents and functional applicability of special software, is considered in the article. Communication establishment between GCC components and FCC external users, i.e., Chief Designer Division (CDD) and Belorussian Satellite MCC, is studied. Main technical characteristics of Kanopus-V Satellite GCC, i.e., accuracy, operational capability, capacity characteristics, are given; authors come to conclusion that Satellite constellations could be extended by connecting complementary TMS GS (telemetry system ground stations) and establishing additional computer workstations (CW) in MCC.*

**Key words:** control complex, telemetry data, command & program information, ground station, telemetry system, on-board control system, navigation and ballistic support.

#### List of References

1. Karpov A. M., Leonov M. S., Zhodzishskiy A. I., Basic directions in development of satellite telemetry control complexes // Radiotekhnika. – 1996. – No. 4. – Pp. 85 – 90.

*Mikhail Sergeevich Leonov, D. Sc. (Tech.).*

*JC 'VNIEM Corporation'.*

*Tel.: (495) 624-18-09.*

*E-mail: lab2701@mail.ru.*

*Alexandr Viktorovich Kruglov, D. Sc. (Tech.), Head of Division.*

*JC 'Russian Space Systems'.*

*Tel.: (495) 673-97-30.*

*E-mail: contact@spacecorp.ru.*