

УДК 629.783 DOI 10.30894/issn2409-0239.2021.8.3.81.88

## Проблемы и направления развития отечественных наземных станций командно-измерительных систем космических аппаратов

**А. И. Жодзишский**, *д. т. н., проф., contact@spacecorp.ru*  
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**А. В. Круглов**, *д. т. н., проф., contact@spacecorp.ru*  
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Д. Н. Нагорных**, *к. ф.-м. н., contact@spacecorp.ru*  
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье анализируется эволюция командно-измерительных систем управления космическими аппаратами в последние десятилетия. Показывается, что основные проблемы развития отечественных наземных станций КИС связаны с унификацией, преодолением ведомственных интересов, импортозамещением и обеспечением информационной безопасности. Предлагаются пути решения указанных проблем. Приводится структурная схема наземной станции КИС, способной обеспечивать управление основными существующими и перспективными околоземными КА в отведенных им диапазонах частот.

Целью развития отечественных наземных станций КИС в ближайшие годы должно стать обеспечение устойчивого оперативного и безопасного управления возрастающим количеством КА при сокращении сроков разработки и затрат на их создание и эксплуатацию.

**Ключевые слова:** командно-измерительные системы, наземные станции, радиолинии, унификация КИС, системы криптографической защиты информации

## Problems and Directions in Development of Domestic Ground Stations for Spacecraft Command and Measurement Systems

**A. I. Zhodzishskiy**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., contact@spacecorp.ru*  
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

**A. V. Kruglov**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., contact@spacecorp.ru*  
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

**D. N. Nagornykh**, *Cand. Sci. (Phys.-Math.), contact@spacecorp.ru*  
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The article analyzes the evolution of telemetry, tracking and control (TT&C) for spacecraft in recent decades. It shows that the main problems in the development of domestic ground stations of TT&C are related to unification, overcoming departmental interests, import substitution, and ensuring information security. The ways to solve these problems are proposed. A block diagram of a ground station of TT&C capable of providing control of the main existing and prospective near-Earth satellites in their assigned frequency ranges is presented. The purpose of the development of domestic ground stations of TT&C in the coming years should be to ensure sustainable operational and safe control of an increasing number of spacecraft while reducing the development time and costs of their creation and operation.

**Keywords:** telemetry, tracking and control (TT&C), ground stations, radio links, unification of TT&C, cryptographic information protection systems

Командно-измерительные системы (КИС) космических комплексов, используемые для управления космическими аппаратами (КА), состоят из бортовой аппаратуры (БА) КИС, устанавливаемой на КА, и наземных станций (НС) КИС, входящих в состав наземных комплексов управления (НКУ) этими КА [1]. Основными функциями КИС являются:

- передача на КА командно-программной информации (КПИ), содержащей разовые команды, рабочие программы, цифровые массивы, с квитированием правильности прохождения информации;
- прием с КА телеметрической информации (ТМИ) о состоянии и работе бортовых систем;
- измерение текущих навигационных параметров (ИТНП) КА для расчета траектории его полета;
- сверка, фазирование и коррекция (СФК) бортовой шкалы времени.

Взаимодействие НС КИС и БА КИС осуществляется по запросной (НС КИС–БА КИС) и ответной (БА КИС–НС КИС) радиолиниям. Для выполнения целевых функций на борту КА устанавливают целевую (специальную) аппаратуру, информация с которой, как правило, передается по автономной радиолинии.

КИС должны обладать повышенной надежностью и обеспечивать управление КА при штатном функционировании и нештатных ситуациях, в том числе связанных с потерей ориентации КА.

В СССР до 80-х годов прошлого века управление всеми КА осуществлялось с помощью НС КИС, входящих в состав единого наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) [2]. Лучшие отечественные КИС по своим характеристикам не уступали аналогичным системам США, а в части помехозащищенности превосходили их.

В последние десятилетия основными направлениями развития КИС в мире были [3–7]:

- увеличение информативности и помехоустойчивости радиолиний в соответствии с международными стандартами, отражающими современный научно-технический уровень [8];
- совмещение радиолиний управления и передачи целевой информации;

- широкое использование геостационарных спутников-ретрансляторов для управления и передачи данных с низкоорбитальных ИСЗ;
- внедрение навигационной аппаратуры потребителя (НАП) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в БА для автономного определения орбиты КА с передачей полученных данных в составе ТМИ на НС;
- освоение более высоких диапазонов частот, включая Ка-диапазон;
- снижение массогабаритных характеристик и энергопотребления при увеличении срока службы БА КИС;
- переход от управления одиночными КА к управлению орбитальными группировками КА с использованием межспутниковых радиолиний либо территориально разнесенных наземных шлюзовых станций [9];
- повышение автоматизации функционирования НС КИС.

В это же время развитие отечественных КИС затормозилось в результате:

- последствий произошедшей в конце прошлого века смены экономической политики в стране и в космической отрасли в частности;
- недостатков существующей нормативно-правовой базы и исполнительной дисциплины;
- превалирования ведомственных интересов над общегосударственными;
- слабой специализации и кооперации предприятий космической отрасли;
- недостаточного финансирования перспективных космических программ при остаточном принципе финансирования КИС, особенно НС КИС;
- острой нехватки квалифицированных инженеров-разработчиков.

Текущая ситуация в России характеризуется:

- большим парком одинаковых по назначению, но несовместимых между собой КИС при крайне неравномерной загрузке наземных станций;
- поддержанием работоспособности и модернизацией существующих НС КИС в ущерб

созданию новых с принципиально лучшими параметрами;

- использованием иностранных приборов, устройств и ЭКБ, а также общего программного обеспечения, значительным отставанием отечественной радиоэлектронной промышленности в части ЭКБ и необходимостью обеспечения в условиях санкций импортонезависимости (реализация, постановление Правительства РФ от 16.11.2015 № 1366);
- необходимостью выполнения требований Федерального закона «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [10];
- проблемами с регистрацией частот для управления новыми КА в связи с загруженностью традиционных частотных диапазонов и более жесткими требованиями в части ЭМС.

Целью развития КИС КА в ближайшие годы должно стать обеспечение устойчивого, оперативного и безопасного управления возрастающим количеством КА при сокращении сроков разработки и затрат на их создание и эксплуатацию.

Пути достижения поставленной цели являются:

- унификация бортовой аппаратуры КИС [11];
- создание универсальных наземных станций (УНС) КИС нового поколения, способных дистанционно из ЦУП программным способом адаптироваться под любую заложенную в БА структуру сигналов [12];
- переход к абонентскому закрытию информации в местах ее подготовки и обработки, т. е. в ЦУП и в БА, широко применяемому в зарубежных системах управления КА [13] и рекомендуемому для отечественных систем [14, 15];
- обеспечение импортонезависимости аппаратно-программных средств.

Большой шаг по унификации БА КИС предусмотрен в [11]. Проведено разделение БА на составные части со стандартными интерфейсами взаимодействия (физическими, логическими и программными), разработаны отраслевые стандарты для радиоканалов управления и передачи данных, элементы служебных систем, увязанные в единую

архитектуру платформы КА, предложены интеграция аппаратуры за счет перехода на технологии «Система на кристалле», «Система в корпусе» и переход на ЭКБ с малыми топологическими нормами.

Подход к унификации НС КИС имеет существенные отличия от реализуемого для БА. Для НС не столь существенны массогабаритные характеристики и энергопотребление. НС КИС являются обслуживаемыми, их аппаратура может ремонтироваться в процессе эксплуатации, а программное обеспечение совершенствуется.

Подавляющее большинство КИС в России работает в  $S$ -,  $C$ - или  $X$ -диапазонах частот. Диапазон  $X$  применяется также для сбора информации с КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Для межспутниковых радиолиний с геостационарными СР «Луч» выделены  $S$ - и  $Ku$ -диапазоны, а для магистральной радиолинии НС–СР используется  $Ku$ -диапазон. Перспективным для межспутниковых радиолиний, лунных КА и КА дальнего космоса является  $Ka$ -диапазон.

Обобщенная структурная схема УНС КИС с общим аппаратно-программным комплексом (АПК-Б) приведена на рис. 1.

В состав АПК-Б входят:

- ПЭВМ с модулем цифровой обработки сигналов (МЦОС);
- комплект коммуникационного оборудования (коммутаторы, межсетевые экраны (МЭ), преобразователи портов);
- генераторы опорные (ГО);
- навигационная аппаратура потребителя (НАП) ГНСС;
- блоки удаленного управления переключателями и питанием;
- программное обеспечение.

Обработка сигналов в МЦОС производится либо непосредственно на несущей частоте  $S$ -диапазона, либо на промежуточной частоте  $L$ -диапазона при работе с КА в  $C$ -,  $X$ - и более высоких диапазонах. Это дает возможность уменьшить количество частотных преобразований, что ведет к минимизации аппаратуры.

Взаимодействие УНС КИС с ЦУП осуществляется через систему связи и передачи данных (ССПД) НКУ.

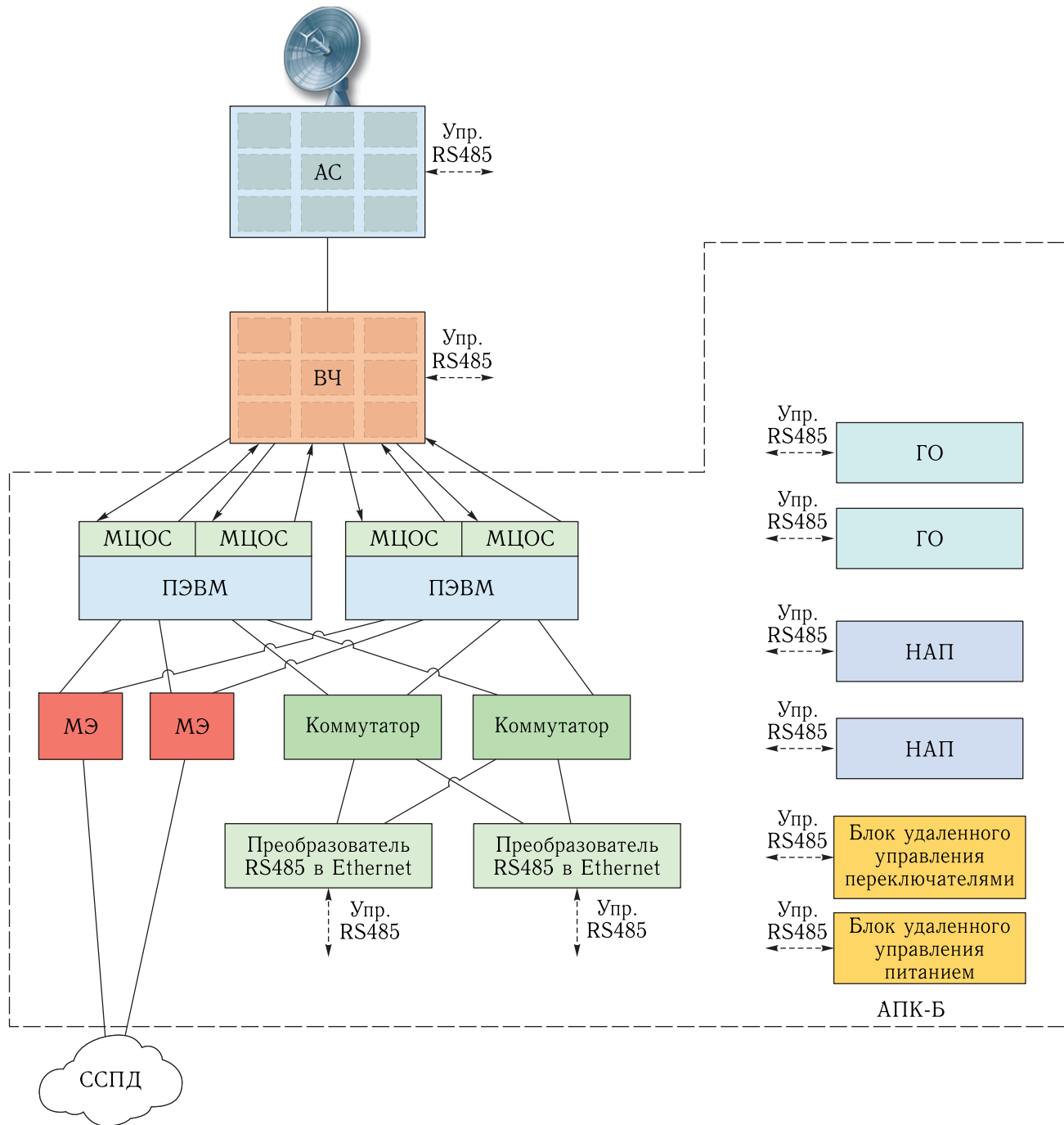


Рис. 1. Обобщенная структурная схема УНС КИС с АПК-Б

В качестве примера на рис. 2 приведена схема трехдиапазонной УНС КИС, которая сможет обеспечивать управление большинством существующих и перспективных КА. Пунктирной линией обведен АПК-Б. Сформированный в МЦОС АПК-Б сигнал поступает через ВЧ-коммутатор на соответствующий усилитель мощности (УМ) и да-

лее в антенную систему (АС). В АС используется специальный трехдиапазонный облучатель  $S$ -,  $C$ -,  $X$ -диапазонов частот.

Принятые антенной системой с КА сигналы попадают на малошумящие усилители (МШУ). Сигналы с МШУ в  $L$ -диапазоне или  $S$ -диапазоне поступают на ВЧ-коммутатор и далее попадают

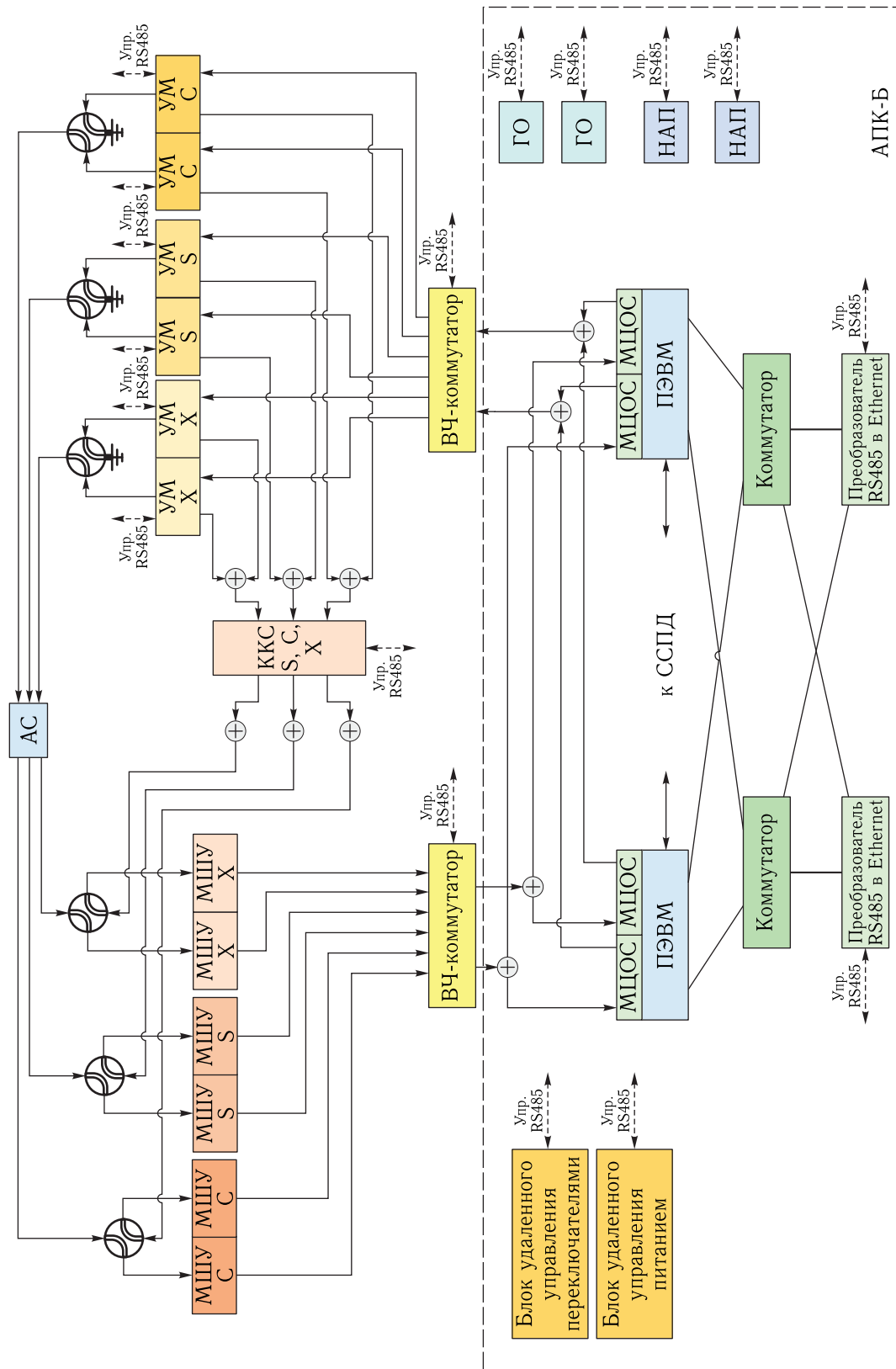


Рис. 2. Схема трехдиапазонной УНС КИС

на соответствующий МЦОС, где обрабатываются. Для проверки высокочастотного тракта УНС КИС используется конвертор контрольного сигнала (ККС). Проверочный тракт задействуется при помощи волноводных переключателей, а УМ при этом работает на нагрузку.

Все оборудование станции задублировано и работает в горячем резерве. Управление устройствами осуществляется через шину RS-485 и Ethernet.

УНС КИС работает без операторов при дистанционном контроле и управлении из ЦУП. Все специальное программное обеспечение является собственной разработкой на базе отечественной операционной системы Astra Linux Special Edition.

В настоящее время для защиты циркулирующей в радиоприемах КИС информации применяется система криптозащиты (СКЗИ), аппаратура которой устанавливается на КА (входит в состав БА КИС) и на НС КИС. В узлах связи пунктов эксплуатации

имеется своя аппаратура СКЗИ, закрывающая информацию в ССПД между узлами связи НС КИС и ЦУП КА. В результате в трактах от НС КИС и ЦУП до узлов связи соответствующих ПЭ информация оказывается незащищенной [14, 15].

Сложившаяся практика реализует фрагментарную криптозащиту информации, обеспечивая ее только в неконтролируемых зонах с использованием разнотипной аппаратуры. При этом необходима дополнительная защита на ПЭ от внутреннего нарушителя. Это требует избыточных средств и привлекаемых сил, а также противоречит концепции минимального распространения секретной (конфиденциальной) информации.

Перспективным для управления КА является внедрение абонентского закрытия информации в местах ее подготовки (формирования) и обработки (использования), которыми являются ЦУП и БА КИС (рис. 3). Закрытая (зашифрованная) в ЦУП

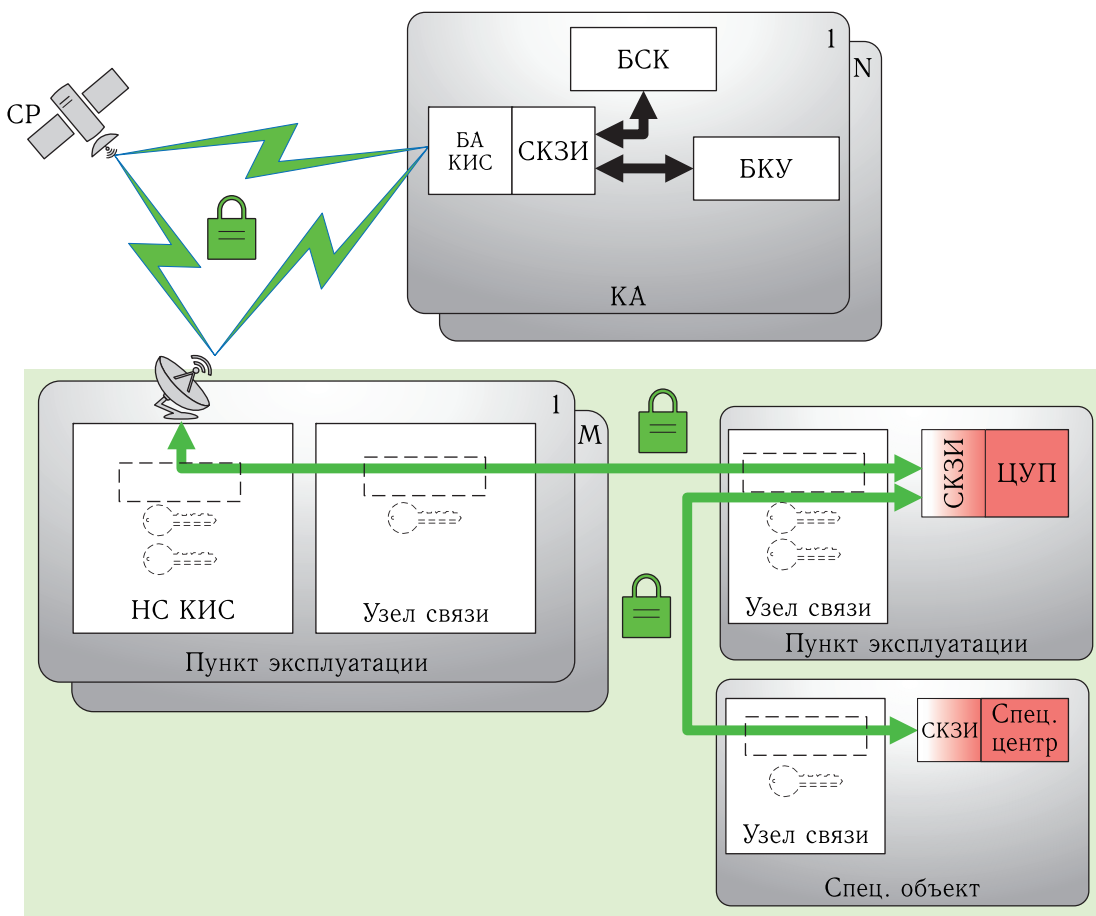


Рис. 3. Схема абонентского закрытия информации





Рис. 4. Ряд УНС КИС на базе общего АПК-Б

информация раскрывается только на КА, следуя через ССПД и НС КИС транзитом, как бы продлевая радиолинию. Если радиолинии КИС являются совмещенными и используются для передачи целевой информации, то шифрование (дешифрование) ее целесообразно осуществлять в наземном центре. В этом случае на КА кроме бортового комплекса управления (БКУ) потребителем и/или источником передаваемой информации будет также бортовой специальный комплекс (БСК). При этом в составе НС КИС не требуется аппаратуры СКЗИ. Это открывает возможность размещения НС КИС за рубежом и даже позволяет использовать иностранные НС КИС.

Внедрение абонентского закрытия обеспечивает сквозную защиту информации в трактах ЦУП–БА КИС как при непосредственном управлении КА с наземного пункта, так и при управлении через СР и исключает несанкционированный доступ к ней, что повышает информационную безопасность.

УНС КИС разрабатываются как в стационарном, так и в перебазируемом (контейнерном) вариантах. Контейнерное исполнение резко снижает затраты на капитальное строительство, позволяет

устанавливать НС КИС на кораблях и в местах временной эксплуатации.

На рис. 4 представлен востребованный в настоящее время ряд универсальных НС КИС с общим АПК-Б.

Трехдиапазонная универсальная НС КИС предназначена для непосредственного управления перспективными и существующими низкоорбитальными ИСЗ (НИСЗ) и ИСЗ, находящимися на более высоких орбитах. Объединенная земная станция (ОЗС) обеспечивает непосредственное управление КА дистанционного зондирования Земли и прием с них целевой информации. Ретрансляционная НС предназначена для управления НИСЗ через геостационарные СР, а геостационарная НС — для управления самими геостационарными КА, включая СР. Многофункциональная НС должна обеспечивать управление и прием целевой информации как непосредственно, так и в ретрансляционном режиме. Для управления КА дальнего космоса АПК-Б может подключаться к большим антенным системам. Однако более перспективным является когерентное сложение радиосигналов с нескольких антенных систем с диаметром зеркала 12–32 м.

## Заключение

Целью развития отечественных КИС в ближайшие годы должно стать обеспечение устойчивого, оперативного и безопасного управления возрастающим количеством КА при сокращении сроков разработки и затрат на их создание и эксплуатацию.

Перспективные наземные станции КИС должны быть многодиапазонными и строиться по единой архитектуре. Они должны иметь общий АПК-Б, программно-определяющий структуру радиосигналов и протоколы взаимодействия с БА КИС и ЦУП. Антенные системы и высокочастотное оборудование НС КИС должны быть максимально унифицированными.

Наземные станции КИС должны работать без операторов при дистанционном контроле и управлении из ЦУП.

## Список литературы

- ГОСТ Р 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010.
- КИК СССР. <https://www.kik-sssr.ru> (Дата обращения 04.08.2021).
- Развитие наземных комплексов управления космическими аппаратами <http://lib.tsonline.ru/articles2/sputnik/razvitie-nazemnih-kompleksov-upravleniya-kosmicheskimi-apparatami> (Дата обращения 04.08.2021).
- Перспективные средства наземного комплекса управления космическими аппаратами ВВС США (2014). [http://pentagonus.ru/publ/perspektivnye\\_sredstva\\_nazemnogo\\_kompleksa\\_upravlenija\\_kosmicheskimi\\_apparatami\\_vvs\\_ssha\\_2014/16-1-0-2486](http://pentagonus.ru/publ/perspektivnye_sredstva_nazemnogo_kompleksa_upravlenija_kosmicheskimi_apparatami_vvs_ssha_2014/16-1-0-2486) (Дата обращения 04.08.2021).
- Состояние и перспективы развития наземного комплекса и средств управления КА. Общие принципы построения наземного комплекса управления. <http://libspace.narod.ru/504.html> (Дата обращения 04.08.2021).
- Состояние и перспективы развития систем и средств управления КА за рубежом. Общая характеристика зарубежных комплексов управления КА. Комплекс управления КА США. <https://sovkos.ru/cosmos/information/122.html> (Дата обращения 04.08.2021).
- Кисляков М. Ю., Логачев Н. С., Петушков А. М. Системно-технические аспекты развития НАКУ КА НСЭН и измерений до 2025 года // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2016. Т. 3, вып. 1, С. 62–71.
- <https://www.public.ccsds.org> (Дата обращения 04.08.2021).
- Все о проекте «Спутниковый интернет Starlink». Часть 3. Наземный комплекс. <https://habr.com/ru/post/526386> (Дата обращения 04.08.2021).
- Федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
- Техническое задание на составную часть опытно-конструкторской работы «Разработка и создание линейки унифицированных интегрированных бортовых информационных систем для модернизируемых и перспективных космических аппаратов». Шифр СЧ ОКР: «ИБИС-КА-НКУ» (КА). ФКП-Р на 2016–2025 годы, 2018 г.
- Жодзишский А. И., Жидкова С. К., Нагорных Д. Н. Построение единого наземного комплекса управления многоспутниковой группировки КА ДЗЗ // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2020. Т. 7, вып. 4, С. 14–21.
- CCSDS. Report Concerning Space Data System Standards. Space Data Link Security Protocol — Summary of Concept And Rationale. Informational Report CCSDS 350.5-G-1. Green Book, June 2018.
- Хавронина Т. Е. Модуль аутентификации телекоманд по стандартам ESA и CCSDS // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. Т. 2.
- Панько С. П., Сухотин В. В., Мишуров А. В., Евстратько В. В., Горчаковский А. А., Килин Г. П., Рябушкин С. А., Вильданов А. И., Шатров В. А. Защита командного канала системы управления космическим аппаратом // Исследования наукограда. Октябрь–Декабрь 2015. № 4(14).