РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
2016, том 3, выпуск 1, с. 62–71

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ

УДК 629.7.085.19

Системно-технические аспекты развития НАКУ КА НСЭН и измерений до 2025 года

М. Ю. Кисляков[1], **Н. С. Логачев**[2], **А. М. Петушков**[3]

[1,3]*к. т. н.*, [2]*д. в. н.*

АО «Российские космические системы»

e-mail: [1]*kisl60@mail.ru*, [2]*vn_i_op@mail.ru*, [3]*alexandr.petushkov@gmail.com*

Аннотация. Проведено рассмотрение особенностей перспективных технологий управления космическими аппаратами и основных направлений по их применению на практике, возникающих проблемных вопросов. Рассмотрены следующие технологии управления КА: баллистико-навигационного обеспечения, информационно-телеметрического обеспечения, управления через спутники-ретрансляторы, интеграции каналов передачи данных с КА. Обосновывается предварительный план реализации перспективных технологий в перспективном наземном автоматизированном комплексе управления КА научного, социально-экономического назначения и измерений.

Ключевые слова: наземный автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения; технология информационного обеспечения управления космическими аппаратами

System and Technical Development Aspects of the Ground-based Automated Control Complex for Spacecraft of Scientific and Socioeconomic Purposes and Measurements until 2025

M. Yu. Kislyakov[1], **N. S. Logachev**[2], **A. M. Petushkov**[3]

[1,3]*candidate of engineering science,* [2]*doctor of military science,*
Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: [1]*kisl60@mail.ru*, [2]*vn_i_op@mail.ru*, [3]*alexandr.petushkov@gmail.com*

Abstract. The peculiarities of spacecraft control perspective technologies and main trends in their practical usage, as well as arising problems, are examined. The following spacecraft control technologies are considered: ballistic and navigational provision, information-telemetric support, control via satellite relays, and integration of spacecraft data communication channels. Moreover, a preliminary plan for perspective technologies realization and the image of a perspective ground-based automated control complex for spacecraft of scientific and socioeconomic purposes and measurements is substantiated.

Key words: ground-based automated control complex for spacecraft of scientific and socioeconomic purposes, information support technology for spacecraft control

Введение

Согласно проекту Федеральной космической программы России на период 2016–2025 годы планируется существенное увеличение состава орбитальной группировки КА НСЭН, реализация ряда принципиально новых космических проектов, в том числе и межпланетных, расширение международного сотрудничества в космосе. Решение данных задач потребует существенного развития существующего наземного автоматизированного комплекса управления КА научного и социально-экономического назначения и измерений (НАКУ КА НСЭН и измерений).

Для решения данной задачи возможны варианты экстенсивного и интенсивного развития НАКУ КА НСЭН и измерений. Путь только экстенсивного развития — за счет увеличения количественного состава наземных средств — уже не может удовлетворять требованиям к современным комплексам управления КА, необходимо искать пути интенсивного развития на основе внедрения передовых технологий управления КА и измерений.

В настоящее время прорабатывается и реализуется ряд направлений совершенствования процессов управления КА, которые существенно влияют на архитектуру перспективного НАКУ КА НСЭН и измерений. К числу наиболее важных направлений относятся:

- применение навигационной аппаратуры потребителя [1];
- совершенствование информационно-телеметрического обеспечения [1];
- применение ретрансляционных технологий:
  - с использованием спутников-ретрансляторов (СР) на геостационарных орбитах [1, 3];
  - с использованием СР на низких орбитах [2, 4, 5];
- применение сетевых технологий управления [3–5];
- интеграция каналов передачи данных [4].

Детальное рассмотрение указанных направлений является предметом исследования создания комплексов управления КА, в рамках данной статьи будут рассмотрены особенности реализации перечисленных направлений и их влияние на архитектуру перспективного НАКУ КА НСЭН и измерений.

1. Применение навигационной аппаратуры потребителя

Баллистико-навигационное обеспечение полета КА включает в себя измерение текущих навигационных параметров (ИТНП) движения КА. В настоящее время основной технологией БНО является непосредственное ИТНП с наземных станций. Достоинство наземных измерений — их отработанность, простота, надежность. Недостаток — значительная загрузка наземных средств. Так, для КА ДЗЗ типа «Ресурс» требуется проведение ежедневно 6–7 сеансов ИТНП с территориально разнесенных КИП на 2–3 смежных витках, что составляет 50–60 % от общего числа сеансов связи с КА на суточном интервале. Применение навигационной аппаратуры потребителя (НАП) существенно сокращает число проводимых сеансов связи и снижает требования по количеству КИП и их пространственной топологии.

Использование радионавигационного поля полностью развернутой системы ГЛОНАСС позволяет глобально и непрерывно, для высот от 200 до 2000 км, определять положение КА-потребителей на орбите с предельными погрешностями на уровне десятков метров и единиц см/с по составляющим вектора скорости, что ограничивает возможности применения НАП на КА на высокоэллиптических орбитах, геостационарной орбите, при полете к Луне, а также на РБ, при выводе КА на геостационарную орбиту.

Навигационное обеспечение КА на орбитах высотой более 2000 км можно осуществлять по дискретному радионавигационному полю. Пространственно-временная дискретность радионавигационного поля обусловлена детерминированностью диаграммы направленности антенны навигационных КА, невозможностью излучения радиосигналов в верхнюю полусферу, а также радиотенью из-за экранирующего влияния Земли.

В этих условиях для КА на эллиптических орбитах с перигеем ниже 200 км и апогеем выше 2000 км целесообразно использовать технологию,

сочетающую определение параметров движения КА по единичным обсервациям по НРНП на перигейном участке с прогнозированием параметров движения на апогейный участок орбиты с последующим уточнением параметров движения на апогейном участке орбиты по дискретному радионавигационному полю, формируемому даже одним навигационным КА.

Для проведения особо точных работ, требующих знания положения центра масс КА-потребителей с погрешностями на уровне единиц метров по положению (например, при стыковке, проведении научных экспериментов и т. п.), может использоваться дифференциальный метод навигации.

Широкое использование СРНС ГЛОНАСС/GPS даст существенный экономический эффект, так как при значительном увеличении числа КА в орбитальной группировке, возрастании требований к точности и оперативности определения орбит нет необходимости наращивать число наземных измерительных средств, сокращается число сеансов измерений текущих навигационных параметров и объемы измерительной информации в НКУ КА.

Таким образом, проведенный анализ системно-технических особенностей НБО перспективных КА позволяет сделать вывод о том, что в ближайшей перспективе в НАКУ КА НСЭН будет реализовываться комбинированная технология НБО, в которой будет применяться как определение по сигналам систем ГЛОНАСС/GPS, так и проведение ИТНП наземными средствами. Применение наземных средств в основном будет необходимо для КА, летящих на высокоэллиптических, геостационарных, лунных и межпланетных орбитах, а также для РБ.

Для дальнейшего расширения сферы применения навигационной аппаратуры потребителей на борту КА необходимо дальнейшее развитие теории навигационных определений в разрывном поле.

2. Совершенствование информационно-телеметрического обеспечения

К настоящему времени большие объемы телеметрической информации являются одним из основных факторов, повышающих загрузку наземных радиотехнических средств, средств связи, а в перспективе и МКСР. Внедрение перспективных методов ИТО полета изделий РКТ позволит повысить пропускную способность НАКУ КА НСЭН и измерений.

Технология ИТО в настоящее время реализуется в виде использования основного режима телеизмерений, предполагающего передачу с КА полных потоков телеметрической информации по автономному радиоканалу или каналу КИС, а также использования информации обобщенного контроля, передаваемой по каналу КИС.

Основой дальнейшего развития является внедрение новых антенных систем, сжатия ТМИ, обработки ТМИ на борту КС, применения пакетной телеметрии.

Основу современных технологий сокращения избыточности передаваемых сообщений составляют алгоритмы синтаксического и семантического сжатия ТМИ.

Синтаксическое сжатие предполагает повышение информационной загруженности каждого из передаваемых символов ТМИ. В его основе нетрадиционные представления данных телеизмерений их образами, сокращающие структурную избыточность ТМИ. Семантическое сжатие обеспечивает сокращение временной избыточности передаваемых данных. Его основу составляют апертурные методы уменьшения избыточности ТМИ, связанные с установлением границ, выход за пределы которых представляет существенный результат телеизмерения, подлежащий передаче.

Объединение различных методов сжатия в сочетании с вычислениями и алгоритмами обратного восстановления телеизмерений, представленных в конечных полях, является одним из подходов к построению и совершенствованию перспективных бортовых радиотелеметрических систем.

Сжатие ТМИ позволит в 5–10 раз сократить объемы передаваемой информации и повысить на 5–6 дБ эквивалентную энергетику радиолинии. Это означает, что требуемые показатели достоверности приема ТМИ будут обеспечены при снижении в 8–10 раз требований к эффективной поверхности антенных систем, т. е. создаст условия для использования антенных систем меньшего диаметра.

Возможность использования малогабаритных антенных систем создает условия для уверенного приема ТМИ при развертывании малогабаритных радиотехнических комплексов на подвижных средствах, благодаря чему повышаются показатели мобильности и адаптируемости наземного телеметрического комплекса. Кроме того, сжатие ТМИ обеспечивает возможность ретрансляции сокращенных потоков телеизмерений с использованием МКСР, обычных спутников-ретрансляторов и передачи результатов телеизмерений по стандартным телефонным каналам связи.

Создание подвижных средств приема и обработки ТМИ различного базирования позволит существенно расширить возможности оперативного развертывания средств информационного обеспечения запусков РН, что особенно актуально для космодрома Восточный, при информационном обеспечении запусков.

Таким образом, в настоящее время имеются возможности существенно усовершенствовать процессы информационно-телеметрического обеспечения и улучшить характеристики наземных средств приема и обработки телеметрических данных. Необходимо согласовать подходы к реализации перспективных методов и сроки их реализации.

3. Применение ретрансляционных технологий управления КА

Наземные командно-измерительные пункты (КИП), обеспечивающие решение задач навигационно-баллистического, информационно-телеметрического и командно-программного обеспечения, должны быть разнесены по широте и долготе таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную непрерывную зону радиовидимости над территорией РФ для всех реализуемых наклонений орбит полета КА и трасс запуска РКН.

Расширение диапазона наклонений орбит КА, перенос значительной доли запусков на космодром «Восточный» потенциально требует создания новых наземных измерительных пунктов, т. е. экстенсивного развития инфраструктуры НАКУ КА НСЭН и измерений. Один из вариантов решения указанной проблемы — создание подвижных измерительных пунктов различного базирования — был упомянут выше.

Другой выход из создавшегося положения заключается в создании сети управления КА и приема информации от РН, РБ с использованием КА-ретрансляторов. Такая технология обмена данными с КА позволит сделать процессы управления КА, сбора измерительной информации от РН, РБ малозависимыми от зон радиовидимости наземных средств, а технологические циклы управления КА, сбора измерительной информации от РН, РБ — адаптивными.

Включение СР в контур управления КА имеет ряд технических особенностей, определяющих режимы их применения. Основными являются следующие:

- процесс создания и удержания канала(ов) связи между КА и СР;
- процесс создания и удержания канала(ов) связи между СР и наземной станцией;
- процесс создания и удержания канала(ов) связи между спутниками-ретрансляторами (при наличии межспутниковых линий связи);
- процесс управления потоками данных в каналах связи.

3.1. Применение ретрансляционных технологий управления КА с использованием СР на геостационарных орбитах

При использовании СР на геостационарной орбите для глобального охвата достаточно 3СР, разнесенных по точкам стояния примерно на 120°.

Как правило, СР имеет антенны для низкоскоростного приема сигналов от КА-абонентов — режим многостанционного доступа (МСД) и высокоскоростного — режим индивидуального доступа (ИД).

В режиме МСД используются антенны с круговой диаграммой направленности, что обеспечивает практически мгновенное вхождение в связь КА-абонента с СР. Невысокая информативность такого канала связи делает его применимым для обмена только короткими сообщениями, в частности такими, как сигнал «Вызов НКУ».

В режиме ИД используются узконаправленные антенны, что обусловливает необходимость расчета целеуказаний для антенн, учета допустимых углов поворота антенн, реализации процедуры взаимного нацеливания антенн, вхождения в связь, поворота антенн в ходе сеанса связи, прекращения сеанса обмена данными. Дополнительные операции по вхождению в связь и ее прекращению уменьшают эффективное время обмена данными. Число каналов ИД ограничено, поэтому необходимо дополнительно осуществлять распределение ресурса МКСР по проведению сеансов связи с КА в этом режиме.

Существенным недостатком применения СР на геостационарной орбите является необходимость использовать высокоэнергетические системы радиосвязи и значительное время задержки в каналах передачи данных.

Указанные особенности создания физического канала передачи данных обусловливают необходимость совершенствования процедуры передачи данных по межспутниковому каналу: применение типизированных сообщений; объединение потоков командно-программной, телеметрической и целевой информации; применение пакетной обработки сообщений; применение методов сжатия информации и других способов повышения скорости обмена.

Возникающие технические проблемы для создания подобных систем решены только некоторыми странами (см. табл. 1).

Наибольший опыт имеет США, система TDRSS эксплуатируется с 1983 г. К настоящему времени созданы и развернуты СР третьего поколения. Система имеет глобальный охват, существует возможность работы в различных диапазонах (кроме оптического) отработана и аппаратура для КА и РН, обеспечивающая связь с СР. СР имеют возможность обмениваться данными между собой, что позволяет обеспечивать связь КА-абонента с наземной станцией в близком реальному масштабу времени режиме.

В Китае создана и развернута национальная система «Тяньлянь-1», проведена ее отработка на орбите. Ведется разработка усовершенствованной системы «Тяньлянь-2».

В Российской Федерации развернута МКСР «Луч-5», однако к настоящему времени КА (за исключением РС МКС), РН и РБ не оснащены абонентской аппаратурой ретрансляции.

В 2016 г. Европейское космическое сообщество планирует развернуть свою систему ретрансляции EDRS [3], первоначально для обеспечения связи с КА над территорией Европы, Средиземноморья и Северной Африки. К 2019 г. планируется запустить еще два спутника для обеспечения глобального охвата. Бортовая аппаратура ретрансляции, в т. ч. лазерная, прошла экспериментальную отработку в космосе.

Таким образом, создание систем ретрансляции для обеспечения управлением КА является одной из основных задач ведущих стран. Мы пока отстаем в реализации данного направления, рассчитываем, что к 2020 г. это отставание будет ликвидировано и возможности по реализации ретрансляционного режима управления КА и передачи целевой информации через них будут существенно увеличены.

3.2. Применение ретрансляционных технологий управления КА с использованием СР на низких орбитах

В настоящее время активно ведутся работы по созданию низкоорбитальных многоспутниковых систем связи и передачи широкополосной информации. По своему замыслу эти системы должны работать с низкоэнергетическими терминалами типа телефонной трубки либо с подвижными и стационарными малогабаритными приемопередатчиками, обеспечивая им дешевую глобальную и непрерывную связь с любой зоной Земли. Для обеспечения глобальности действия отдельные системы используют межспутниковую ретрансляцию между КА системы внутри орбитальной плоскости и КА различных плоскостей.

Примерами таких систем являются «Иридиум», «Инмарсат», «Глобалстар», «Орбком», «Гонец» и др.

Потенциально возможности таких систем позволяют организовать через них управление низковысотными КА без применения мощной приемопередающей аппаратуры и наземных КИС, что особенно актуально для малых КА. Более низкая, по сравнению с СР на ГСО, высота орбиты позволяет существенно снизить время задержки передачи данных

Таблица 1. Состояние разработки систем ретрансляции на основе СР на ГСО

Название (страна)	Начало экспл.	Число СР (охват)	Диапазон высот КА-абонентов	Связь СР–СР	Диапазон КА–СР	Число каналов в режиме ИД	Число каналов в режиме МСД		Уровень отработки
TDRSS (США) (третье поколение)	1983	3 (глоб)	До 10 000 км	+	S, Ku, Ka	2 — S 2 — Ku или 2 — Ka	СР → КА 2 до 300 кбит/с	КА → СР 5 до 1,5 Мбит/с	ШЭ
«Тяньлянь-1» (Китай)	2008	3 (глоб)	н/д*	–	н/д	н/д	н/д	н/д	ШЭ
«Тяньлянь-2» (Китай)	н/д	Заявлены 3 точки (глоб)	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	В разработке
«Луч-5» (РФ)	2016	3 (глоб)	До 2000 км	–	S, Ku	S — до 5 Мбит/с Ku — до 150 Мбит/с	4 канала до 256 кбит/с		Развернута
«Луч-5М» (РФ)	2021	1	До 2000 км	–	S, Ku, Ka Лазерная связь	–//– 600 Мбит/с	–//–		В разработке
EDRS (ESA)	2016–2017 2019–2020	2 (Европа) 4 (глоб)		–	S, Ku, Ka Лазерная связь	н/д 1,8 Гбит/с	н/д	н/д	Демонстрационные испытания в космосе

*н/д — нет данных

Рис. 1. Орбитальное построение системы «O3b»: 16 КА на круговой экваториальной орбите с $H = 8000$ км

и упростить решение технических проблем, связанных с такой задержкой. Применяемые в данных системах протоколы информационного обмена доступны широкому кругу разработчиков и потребителей.

В 2005 г. ОАО «Российские космические системы» разработало и запустило КА типа «ТНС» для отработки вопросов управления малых КА с помощью низкоорбитальных систем связи. Результаты были положительными, в настоящее время готовится запуск новых наноспутников [2].

Сегодня лидер развития систем ретрансляции на низких орбитах — компания Google. В настоящее время она производит развертывание орбитальной системы «O3b» [5], состоящей из 16 КА, расположенных на экваториальной орбите с высотой 8000 км (рис. 1). Группировка спутников «O3b» обеспечит широкополосную связь в пределах 45/−45° южной и северной широты. Одним из предполагаемых направлений ее применения является обеспечение связи малогабаритных КА с наземными станциями. Более высокая орбита, по сравнению с перечисленными выше, позволяет расширить диапазон орбит КА, которые смогут воспользоваться такой «виртуальной ССПД» для обмена данными с ЦУП и потребителями, как и в проекте КА типа «ТНС».

Создание низкоорбитальных сетей управления КА и передачи от них целевой информации является важным направлением развития систем управления малогабаритными КА и имеет большую перспективу. Необходимо ускорить проведение отработки технологий применения низковысотных систем связи для управления малогабаритными КА. Пока в этом направлении реальных шагов сделано мало.

4. Сетевые технологии управления КА

Внедрение ретрансляционной технологии управления КА и передачи целевой информации (ЦИ) приводит к следующему выводу: система управления КА и передачи ЦИ становится аналогом объемно-распределенной вычислительной сети, в которой целесообразно использование унифицированных протоколов обмена данными вместо создания специализированных технических средств. Вследствие этого следующим важным направлением развития технологий управления КА является разработка и внедрение единых стандартов (форматов, протоколов) обмена информацией бортовой аппаратуры управления КС с наземными средствами,

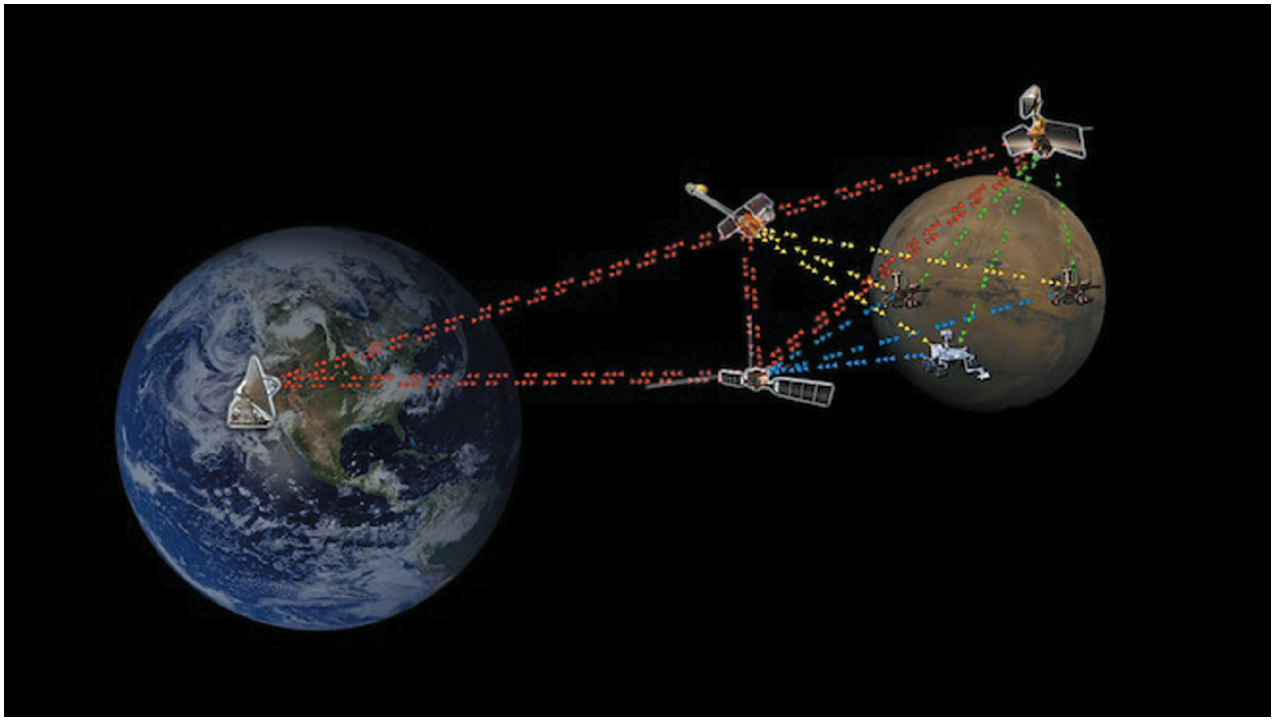

Рис. 2. Вариант организации сети для информационного обмена с лунными модулями

независимо от вида передаваемой информации, с переходом в перспективе к принципам пакетной коммутации [4]. Это позволит отказаться от специализированных наземных средств обработки и передачи различных видов информации за счет внедрения протоколов сетевого обмена и значительно сократить число специализированных средств при значительном повышении степени использования средств коллективного пользования. При этом вся совокупность средств интегрированного НАКУ КА НСЭН и измерений и бортовых комплексов управления КА станет единой информационно-вычислительной сетью, соответствующей многоуровневой архитектуре открытых систем.

Результаты опытной отработки КА типа «ТНС» показали, что техническая реализация сетевых протоколов возможна и позволяет создать принципиально новые технологии управления малыми КА.

Необходимо отметить еще один аспект развития малогабаритных КА: тенденцию создания многоспутниковых (кластерных) систем [4], в которых, пользуясь терминологией информационных систем, один КА выполняет роль «сервера» для связи с ЦУП, остальные являются абонентами локальной сети. По сути, это аналог широко распространенных локальных вычислительных сетей. Перенесение этой идеи на системы обмена данными и управления космическими аппаратами представляется перспективным, по крайней мере в плане повышения оперативности доведения информации до взаимодействующих КА, сокращения количества наземных станций управления КА и числа проводимых сеансов связи с ними. Это обеспечивается за счет возможности при развитой сети установить с любой наземной станцией контакт с любым КА, независимо от его местоположения в космическом пространстве, без ожидания вхождения в зону непосредственной радиовидимости, в т. ч. используя каналы ретрансляции информации, т. е. применять асинхронный режим управления КА и передачи данных (рис. 2).

Анализ проблем организации связи в межпланетном пространстве привел к выводу о необходимости разработки принципиально новых протоколов [5]. Протоколы для межпланетных сетей получили название Bundle-протоколов. Самое большое

Таблица 2. Предложения по направлениям реализации перспективных технологий управления КА и информационного обмена с ними

Наименование перспективных технологий управления КА	Направления реализации перспективных технологий управления КА
Использование бортовой навигационной аппаратуры потребителя ГНС ГЛОНАСС/GPS для ИТНП изделий РКТ с передачей информации в составе ТМИ. Интеграция контуров траекторного и телеметрического контроля	БКУ перспективных изделий РКТ, НКУ КА, РБ, КСИСО РН
Использование ретрансляционных режимов управления КА и информационного обмена	МКСР, БКУ и НКУ перспективных изделий РКТ, перспективная УКИС, абонентская аппаратура ретрансляции
Использование бортовой системы контроля, диагностики и автоматического восстановления работоспособности бортовой аппаратуры КА	БКУ перспективных изделий РКТ
Создание системы формирования и доведения сигналов «Вызов НКУ» с использованием МКСР	БКУ и НКУ перспективных КА
Реализация координатно-временного управления вместо программно-временного управления	БКУ перспективных КА, РН, РБ, ЦУП
Использование целевого радиоканала для закладки командно-программной информации на борт КА и передачи ТМИ	БКУ перспективных КА, станции приема информации ДЗЗ, станции спутниковой связи, пункты приема и передачи информации МКСР
Сверка, фазирование и коррекция бортовой шкалы времени по сигналам ГНС ГЛОНАСС/GPS с использованием бортовой НАП	БКУ перспективных изделий РКТ
Использования методов интеллектуализации обработки информации и принятия решений в звеньях управления АСУ КА	БКУ перспективных КА, АПК ЦУП КА, ЦОН
Малопунктные технологии управления КА и измерений	НКУ КА, РБ, КСИСО
Пакетная телеметрия, сжатие ТМИ	Перспективные БРТС, БА КИС, перспективные НПРС, КИС, ЦОН
Беззапросные траекторные измерения по телеметрическому сигналу с использованием НПРС	Перспективные НПРС. БКУ изделий РКТ
Использование существующих спутниковых низковысотных систем космической связи («Инмарсат», «Глобалстар», «Орбком», «O3b» и др.) и УКВ-станций для информационного обмена с изделиями РКТ	БКУ и НКУ малогабаритных КА
Использование мобильных (перебазируемых) командно-измерительных средств для повышения глобальности и оперативности контроля и управления изделий РКТ	Перспективные МИП и МКИП
Применение навигационных псевдоспутников, расположенных на поверхности Земли, для повышения точности и оперативности контроля КА на ГСО и ВЭО с использованием НАП ГЛОНАСС/GPS	ГЛОНАСС, БКУ перспективных КА
Создание локального радионавигационного поля для навигации КА на высоких орбитах	ГЛОНАСС, БКУ перспективных КА
Использование радиоинтерферометров со сверхдлинными базами для НБО межпланетных КА	НКУ ДКА
Использование сетевых технологий информационного обмена	Мультисервисная система связи и передачи данных, НКУ и БКУ перспективных КА

отличие Bundle-протоколов от TCP/IP заключается в том, что пакеты передаваемой информации не теряются, если они не могут достигнуть пункта назначения, а скапливаются и хранятся в специальных узлах до тех пор, пока не появится возможность возобновить передачу.

Сеть NASA (США) Deep Space Network, посредством которой осуществляется передача данных для космических аппаратов за пределами Земли, уже имеет поддержку Bundle-протоколов. Международная космическая станция тоже имеет несколько узлов с поддержкой таких протоколов и по сути уже является частью межпланетного Интернета.

Два марсианских спутника — Mars Reconnaissance Orbiter и Mars Odyssey — имеют поддержку прототипной версии программного обеспечения, необходимого для построения таких Сетей. Два марсохода — Opportunity и Curiosity — также используют такие протоколы.

Практическая реализация сетевых методов обмена информацией для управления КА становится реальной задачей, особенно для КА, управление которыми будет осуществляться через спутники-ретрансляторы. К решению данной задачи мы предполагаем приступить после 2020 г.

5. Интеграция каналов передачи данных с КА

Перечисленные частные направления обусловливают и необходимость постановки задачи более высокого уровня: если передача данных будет осуществляться по сетевым протоколам в режиме пакетной передачи данных, то что мешает объединению отдельных радиоканалов (КПИ, ТМИ, ИТНП, ЦИ) в единый?

Поэтому одно из перспективных направлений развития НАКУ КА НСЭН и измерений, при необходимости обеспечения управления КА с необходимой оперативностью, заключено в том, чтобы существенно повысить информативность всех каналов связи, включая и каналы КИС. Но повышение объемов передаваемой информации приводит к необходимости расширения полосы пропускания радиоканалов и, как следствие этого, к ухудшению показателей помехоустойчивости передачи данных [1]. Выход видится в реализации пакетной обработки и маршрутизации потоков данных, о которых упоминалось выше.

В табл. 2 приведены обобщенные предложения по направлениям реализации основных и взаимосвязанных перспективных технологий управления КА и информационного обмена с ними.

Заключение

Проведенный анализ развития технологий управления КА показал, что в процессе развития НАКУ КА НСЭН и измерений в 2015–2025 гг. наибольшие усилия необходимо направить на модернизацию существующих средств, внедрение новых технологий управления объектами РКТ, передачи и обработки данных.

В результате реализации перечисленных технологий должен быть создан экономичный НАКУ КА НСЭН и измерений, использующий современные унифицированные средства управления и измерений и отвечающий требованиям мирового уровня.

Список литературы

1. *Кукушкин С. С.*, *Рудаков В. Б.*, *Макаров М. И.* Анализ проблем создания перспективных технологий измерений и управления космическими средствами / Ракетно-космическая техника. Информационные системы и технологии. Научные труды. В 2-х т. Т. 1. М.: НИИ КС им. А. А. Максимова. 2012. С. 86–108.
2. *Лиманская Т. В.*, *Сергеев А. С.* Однопунктное управление группировкой малоразмерных КА // Успехи современной радиоэлектроники. 2013, № 1. С. 78–82.
3. European data relay system (EDRS). http://www.esa.int/spaceinimages/2014/06/european_data_relay_system_EDRS
4. Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных / Под ред. А. И. Галькевича. Тамбов: Юлис, 2011. 169 с.
5. Kosmicheskij mezhplanetnyj internet. http://www.rubroad.ru/magazine/hardware/3389-google-pridumala-kosmicheskij-mezhplanetnyj-internet