

Основные направления унификации радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами

Basic directions of spacecraft radioelectronic control systems unification

Евтеев / Evteev A.

Андрей Владимирович
(evteev30@mail.ru)
ФГКВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ (ВКА им. А. Ф. Можайского), адъюнкт кафедры космических радиотехнических систем.
г. Санкт-Петербург

Гарагуля / Gagagulya A.

Александр Степанович
(garagulya.a@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского, доцент кафедры космических радиотехнических систем.
г. Санкт-Петербург

Мальцев / Maltsev G.

Георгий Николаевич
(georgy_maltsev@mail.ru)
доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ.
ВКА им. А. Ф. Можайского, профессор кафедры космических радиотехнических систем.
г. Санкт-Петербург

Харченко / Harchenko A.

Александр Викторович
(shoora1@ya.ru)
доктор технических наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского, начальник кафедры космических радиотехнических систем.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: управление космическими аппаратами – spacecraft control; командно-измерительная система – command-and-measurement system; унификация – unification; информационная технология – information technology.

В статье рассматриваются вопросы унификации радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами. Анализируются зарубежный опыт стандартизации средств управления космическими аппаратами, представленный международными стандартами Комитета CCSDS, и современное состояние унификации отечественных командно-измерительных систем. Обоснована необходимость разработки открытого стандарта передачи командно-программной информации и единых интерфейсных контрольных документов для средств управления и информационного обмена с космическими аппаратами.

The article discusses problems of spacecraft radioelectronic control systems unification. Analysis of foreign experience of spacecraft control facilities standardization which experience is represented by international standards of CCSDS, and current state of domestic command-and-measurement systems unification is performed. The article justifies the necessity to develop open standard for command-and-program data transmission and unified interface control documents for control facilities and data exchange with spacecrafts.

Введение

Использование космического пространства и возможностей космических систем во всем мире оценивается как один из важнейших факторов политической, военной и экономической безопасности государства [1, 2]. Для современного этапа развития космической деятельности характерно расширение областей применения космических средств во всех сферах деятельности и возможность эффективного решения с их помощью различных прикладных задач.

Поддержание в готовности орбитальных группировок космических аппаратов (КА) и эффективное применение по назначению отдельных КА и космических систем в целом обеспечивается организацией управления полетом и информационного обмена с КА [3–5]. Для этого необходимо регулярное проведение сеансов управления КА с помощью наземных радиоэлектронных средств (РЭС) управления КА. Общими тенденциями развития средств управления и информационного обмена с КА в современных условиях являются, с одной стороны, комплексная автоматизация и переход к гибким стратегиям управления КА, унификация технологий управления, наземных и бортовых технических средств управления и алгоритмов управления, с другой стороны, усложнение бортовой аппаратуры КА, расширение номенклатуры решаемых ими задач и возрастание объемов информационных

массивов, циркулирующих между КА и наземными РЭС. При этом, несмотря на тенденцию увеличения автономности КА, наземные РЭС управления остаются основным классом средств управления КА, обеспечивающим их применение по назначению.

В настоящее время вопросы унификации рассматриваются как по отношению к различным аппаратно-программным средствам наземных и бортовых комплексов управления КА, так и по отношению к технологиям управления КА в целом, вплоть до разработки языков управления КА [6, 7], и унификацию РЭС управления КА следует рассматривать как реализацию этого направления в ключевых технологиях радиоуправления и информационного обмена с КА по радиоканалам [8].

Роль унификации радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами

Применение космических средств обеспечивается соответствующей организацией управления полетом и информационным обменом с КА на орбите. Для этого необходимо регулярное проведение сеансов управления КА с помощью наземных РЭС. В качестве таких РЭС в настоящее время используются командно-измерительные системы (КИС), являющиеся основным классом РЭС наземных комплексов управления КА [3, 4]. КИС представляют собой совмещенные (многофункциональные) РЭС, предназначенные для комплексного решения задач, предусмотренных технологическими циклами управления КА. Радиоуправление КА осуществляется КИС в форме передачи командно-программной информации (КПИ), получившей свое название от двух основных форм передачи на КА по радиоканалам управляющих воздействий – команд и программ управления. Кроме передачи сигналов управления КА КИС также выполняют измерение текущих навигационных параметров КА, прием с КА телеметрической информации (ТМИ), сверку и коррекцию бортовой шкалы времени и некоторые другие функции информационного обмена с КА, что делает КИС системообразующим элементом наземных комплексов управления КА.

В той или иной форме КПИ передается КИС на КА в ходе любого сеанса управления, однако кроме передачи команд и программ управления все более широкое распространение получает передача цифровых массивов формализованных сообщений, а сам информационный обмен с КА все в большей степени приобретает поточный характер. Это имеет место при традиционном режиме непосредственного управления КА при их прохождении в зоне радиовидимости РЭС, и этому дополнительно способствует внедрение ретрансляционного режима управления КА, при котором информационный обмен с КА осуществляется с помощью командно-ретрансляционных систем (КРС) через выделенные для этого каналы спутников-ретрансляторов [9, 10].

В современных условиях роль унификации средств управления КА, в том числе КИС, определяется следующими факторами:

- унификация – условие реализации системного подхода к проектированию, производству и эксплуатации средств управления КА, снижения рисков, препятствующих развитию наземных комплексов управления КА;
- унификация средств управления КА позволяет снизить расходы на их разработку и эксплуатацию при обеспечении высоких технических и эксплуатационных характеристик;
- унификация должна охватывать все уровни разработки и применения средств управления КА – от уровня системных и технических решений до уровня информационных технологий;
- унификация и стандартизация на основе идеологии открытых систем – общепризнанное направление развития информационно-телекоммуникационных систем, их элементной базы и информационных технологий.

В общем случае унификация всех уровней применения средств управления КА предусматривает разработку на базе унифицированных аппаратно-программных решений РЭС управления КА (КИС и КРС) (уровень проведения сеансов управления КА), Центров управления полетами (ЦУП) КА (уровень управления орбитальной группировкой КА определенной космической системы), а также переход на унифицированную структуру наземных командно-измерительных пунктов (уровень наземных комплексов управления КА).

Унификация РЭС управления КА позволяет обеспечить:

- комплексное решение задач унификации всех основных операций технологических циклов управления КА;
- требуемые технические характеристики РЭС, как средства управления КА, и надежность управления наземными комплексами управления КА в целом;
- взаимозаменяемость РЭС управления КА и повышение при необходимости пропускной способности наземных комплексов управления за счет перераспределения загрузки РЭС;
- снижение эксплуатационных расходов при применении средств наземных комплексов управления КА и реализацию единой технологии информационной поддержки их жизненного цикла.

Можно выделить три представленных на рис. 1 основных направления унификации РЭС управления КА. Первое направление – разработка на основе базовых вариантов наземной и бортовой аппаратуры унифицированной аппаратуры КИС для реализации управления КА в непосредственном и ретрансляционном режимах. Второе направление – использование в радиоканалах КИС и КРС унифицированных технологий информационного обмена с КА на основе современных

информационных технологий телекоммуникационных систем. Третье направление – унификация элементной базы, аппаратно-программных комплексов и подсистем наземной и бортовой аппаратуры КИС, позволяющая создавать ее по модульному принципу. При совместной реализации всех указанных направлений возможно создание унифицированного ряда аппаратуры РЭС управления КА, реализующих стандартизованные протоколы информационного обмена с КА, построенных на единой аппаратно-программной платформе и обеспечивающих сокращение номенклатуры средств наземных комплексов управления КА при обеспечении их высоких технических и эксплуатационных характеристик.

Следует отметить, что насущная необходимость унификации КИС стала очевидна уже в конце 90-х годов и была закреплена в Концепции создания и развития Единого Государственного Наземного автоматизированного комплекса управления КА и измерений (Единого ГосНАКУ) на период 2000–2010 гг., в которой в качестве одного из основных направлений технической политики в области разработки средств управления КА была определена разработка унифицированной КИС для массового управления КА.

В Концепции развития Единого ГосНАКУ были определены следующие требования к перспективной КИС:

- унификация и сокращение номенклатуры;
- наличие режима управления с ретрансляцией и обеспечение требуемой оперативности управления КА;
- снижение массогабаритных характеристик наземной и бортовой аппаратуры;
- совершенствование эксплуатационных характеристик и обеспечение требуемой устойчивости при управлении КА.

Однако, несмотря на завершение плановых сроков реализации Концепции развития Единого ГосНАКУ, унифицированная КИС для массового управления КА к настоящему времени не разработана. Созданные образцы КИС нового поколения ориентированы на управление определенными классами КА и не могут считаться средствами массового управления КА, а принятые в них технические решения не позволяют в полной мере реализовать рассмотренные основные направления унификации РЭС управления КА в части использования стандартизованных технологий информационного обмена с КА и единой аппаратно-программной платформы.

Если использование в наземных комплексах управления КА нескольких типов унифицированных КИС для управления такими классами КА, как КА научного и социально-экономического назначения и КА военного и двойного назначения, с учетом различных задач и особенностей их применения может быть оправдано, то унификация технологий и протоколов информационного обмена с КА на основе современных информационных технологий телекоммуникационных систем требует своего неотложного внедрения в современных

и перспективных РЭС управления КА. В этой связи практический интерес представляет анализ накопленного зарубежного и отечественного опыта в области унификации средств управления КА и уточнение на основе такого анализа конкретных шагов по унификации технологий информационного обмена с КА в разрабатываемых КИС и КРС.

Анализ зарубежного опыта стандартизации и унификации средств управления КА

Анализ зарубежного опыта показывает серьезное внимание к вопросам стандартизации и унификации технических решений и информационных технологий, используемых при решении задач управления КА, возможность и реализуемость унификации РЭС управления КА. Начиная с 90-х годов работы по стандартизации в области технологий информационного обмена с КА проводится в рамках работ международного Консультативного комитета по системам передачи космических данных (CCSDS), в работе которого участвуют космические агентства многих стран мира (в том числе Роскосмос).

Комитет проводит разработку стандартов и рекомендаций по перспективным системам управления КА с целью продвижения совместимости и унификации таких систем. В качестве стандартизуемых объектов (в оригинальной орфографии) рассматриваются [11]:

- диапазоны частот, функции и структуры сигналов радиолиний «земля–борт», «борт–земля» и «борт–борт»;
- параметры приемных и передающих устройств;
- стандартные блоки форматированных данных;
- процедуры командных радиолиний;
- обработка и сжатие данных;
- интерфейсы и протоколы обмена данными различных уровней;
- логика принятия решений в стандартных ситуациях управления КА.

При этом определяются следующие (также в оригинальной орфографии) две основные цели стандартизации:

1. Уменьшение для различных агентств стоимости общеизвестных процессов обработки данных посредством отказа от неоправданных проекто-зависимых разработок.
2. Продвижение совместимости и общей поддержки среди взаимодействующих агентств для уменьшения расходов на эксплуатацию систем с использованием общих возможностей.

Указанные цели в полной мере отвечают потребностям унификации средств управления КА в отечественной космической деятельности, а применительно к унификации РЭС управления КА следует отметить, что современные тенденции развития технологий управления КА характеризуются увеличением роли КИС в наземных комплексах управления КА. Сохраняется роль КИС как единственного средства, пред-

назначенного для передачи на КА сигналов управления при расширении функциональных возможностей КИС за счет реализации технологии управления КА с ретрансляцией. Одновременно сокращается число специализированных РЭС и вспомогательных средств (автоматизации, предварительной обработки информации), и их функции распределяются между КИС и ЦУП, напрямую взаимодействующим с использованием наземных и спутниковых сетей связи и передачи данных.

Разработанные в последние годы международные стандарты CCSDS определяют требования по планированию и использованию средств управления в Центрах управления полетом, наземных терминалах и на КА для всех стадий жизненного цикла и для различной степени автономности КА. В части описания процессов информационного обмена с КА стандарты CCSDS согласованы с многоуровневой моделью открытых систем ISO/OSI, использование которой было определено Концепцией создания и развития Единого ГосНАКУ, как одно из требований при создании перспективных средств управления КА. Поэтому стандарты CCSDS в сочетании с принципами открытых систем следует рассматривать как прототип при принятии комплексных решений по унификации и стандартизации отечественных средств управления КА, в том числе при разработке унифицированного ряда КИС нового поколения.

Особенностью разработки стандартов и рекомендаций CCSDS является многоуровневая система документооборота [11]. Вопросы построения систем управления КА и передачи информации в различных звеньях контура управления КА рассматриваются в этих рекомендациях как с точки зрения развития существовавших ранее подходов, так и с точки зрения разработки новых подходов. Предусматривается несколько уровней проработки вопросов, и каждому уровню соответствует свой статус разрабатываемых документов, обозначаемых цветовой кодировкой. Характеристика типов разрабатываемых документов представлена в таблице 1. Наивысшим уровнем документов является синий уровень, соответствующий рекомендуемым стандартам.

С точки зрения унификации РЭС управления КА в части разработки унифицированных протоколов информационного обмена с КА наибольший интерес представляет описание в стандартах CCSDS синего уровня структур (форматов) командно-программной (Telecommand – TC) и телеметрической (Telemetry – TM) информации, определяющих протоколы их передачи по радиоканалам информационного обмена с КА на физическом и канальном уровнях. Следует отметить, что определяемые стандартами CCSDS форматы передачи ТМИ получили наибольшую известность, и в некоторых источниках стандарты CCSDS рассма-

Таблица 1

Уровни документов, разрабатываемых Комитетом CCSDS

№ п/п	Цветовая кодировка		Типы документов
	англ.	рус.	
1	Blue	Синий	Рекомендуемые стандарты.
2	Magenta	Пурпурный	Рекомендуемые практические применения.
3	Red	Красный	Предложенные (черновые) стандарты.
4	Pink	Розовый	Перерабатываемые рекомендуемые стандарты и практические применения.
5	Green	Зеленый	Информационные отчеты.
6	Orange	Оранжевый	Экспериментальные документы, описывающие задачи, которые, возможно, будут решаться в будущем. Могут перейти в разряд стандартов при возникновении описываемых ситуаций на практике, повышения технического уровня до описываемого и в других случаях.
7	Yellow	Желтый	Административные документы Комитета (протоколы, планы и другие).
8	Silver	Серебряный	Исторические (устаревшие) документы.
9	White	Белый	Концептуальные документы. Имеют срок жизни 9 месяцев, далее переводятся в разряд предложенных стандартов или удаляются.



Рис. 2. Представление протоколов канального уровня в стандартах CCSDS

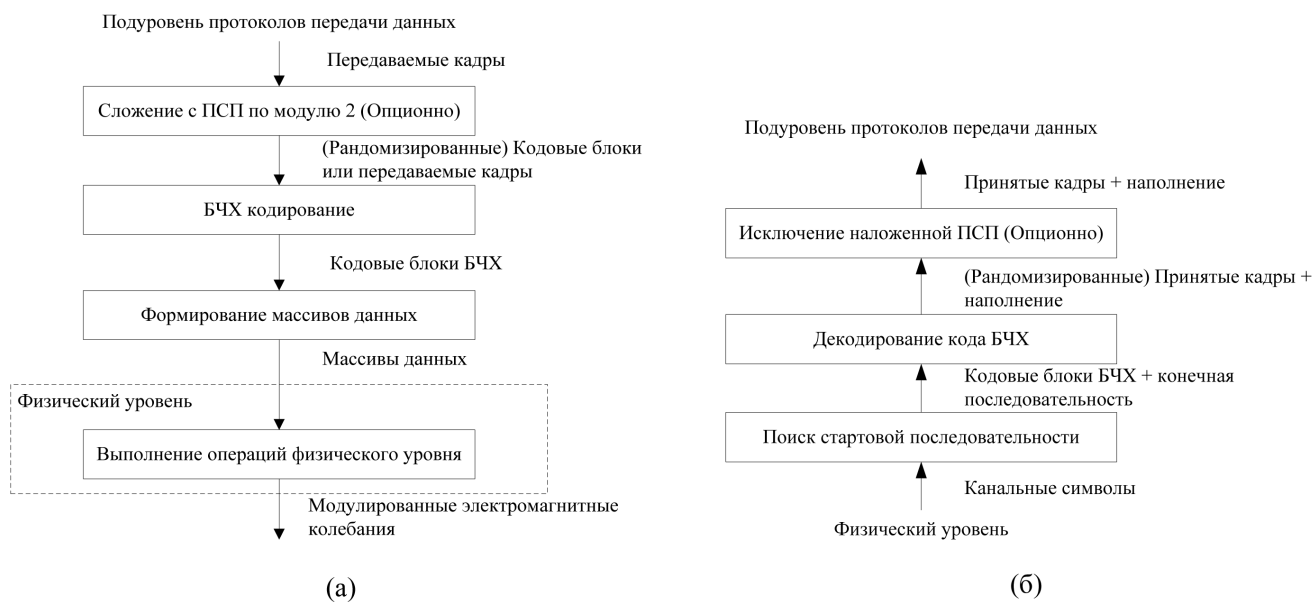


Рис.3. Процессы преобразования КПИ на передающей (а) и приемной (б) сторонах радиоканала информационного обмена с КА

триваются только как стандарты цифровой передачи ТМИ [12].

Наиболее полно в рассматриваемых стандартах CCSDS представлен канальный уровень информационного обмена с КА, на котором вводится ряд подуровней: управления доступом, ввода-вывода, служебной информации, блоков данных, кодирования и синхронизации. На рис. 2 представлено взаимодействие этих подуровней между собой, а также с нижним физическим уровнем и с более высокими уровнями, с которых передаваемая информация поступает и на которые доставляется после передачи по линии связи.

На рис. 3 приведены определяемые стандартом CCSDS 231.0-B-2 [13] процессы преобразования КПИ для подуровня кодирования и синхронизации на передающей (а) и приемной (б) сторонах радиоканала информационного обмена с КА. Для передачи КПИ данным стандартом предусмотрено помехоустойчивое кодирование кодом (64, 56) на основе кода Боуза-Чоудхури-Хоквингема (63, 56), который может быть использован в режиме обнаружения тройных ошибок или в режиме исправления одиночных ошибок. Структура кодового блока при кодировании КПИ приведена на рис. 4. Кодовый блок состоит из 64 бит (символов), из них 56 информационных битов, 7 проверочных битов и 1 бита заполнения «0».

Практический интерес также представляют приведенные на рис. 4 форматы кадров для цифровых массивов информации (пользовательских данных), передаваемых по радиоканалам информационного обмена с КА, определяемые стандартом CCSDS 232.0-B-3 [14] для подуровня блоков данных. Определяемые данным стандартом форматы кадров определяют представление передаваемой информации в виртуальных каналах, формируемых при информационном обмене с КА для источников и получателей передаваемой информации, в качестве которых выступают наземные и бортовые аппаратно-программные комплексы. В общем случае объем пользовательских данных, передаваемых в поле

передачи данных кадра, не фиксирован, но для каждого кадра определены стандартные поля заголовка кадра (а) и контрольных символов. Перечень признаков, передаваемых в заголовке кадра, показывает возможность использования представленных форматов кадров при работе с различными КА, в различных режимах работы и для передачи различных видов информации. Информация может передаваться в открытом (б) и закрытом (в) режимах работы. В последнем случае в поле передачи данных вводятся заголовок и концевик безопасности, необходимые для реализации протокола защиты информации, также определяемого соответствующим стандартом SSCDS.

Рассмотренные примеры показывают возможность приведения всех видов КПИ и других видов цифровой информации к единым форматам представления как непосредственно для передачи по радиоканалу, так и для виртуальных каналов между источниками и получателями передаваемой информации. Аналогичные процессы преобразования на передающей и приемной сторонах радиоканала информационного обмена с КА и форматы кодовых блоков определяются стандартами CCSDS для передачи ТМИ, причем предусматриваются различные методы кодирования для трех категорий качества передачи данных (низкое, среднее и высокое).

Стандарты CCSDS, по сути, выполняют функции единых интерфейсных контрольных документов для средств управления и информационного обмена с КА. При их внедрении обеспечивается совместимость средств и комплексов управления КА, разрабатываемых фирмами различных стран, и можно считать, что уже в настоящее время существует концептуальная основа для организации мировой сети взаимосвязанных средств управления КА, принадлежащих космическим агентствам разных стран.

Однако использование иностранных стандартов при разработке отечественных космических средств и оборудования космических комплексов, как страте-

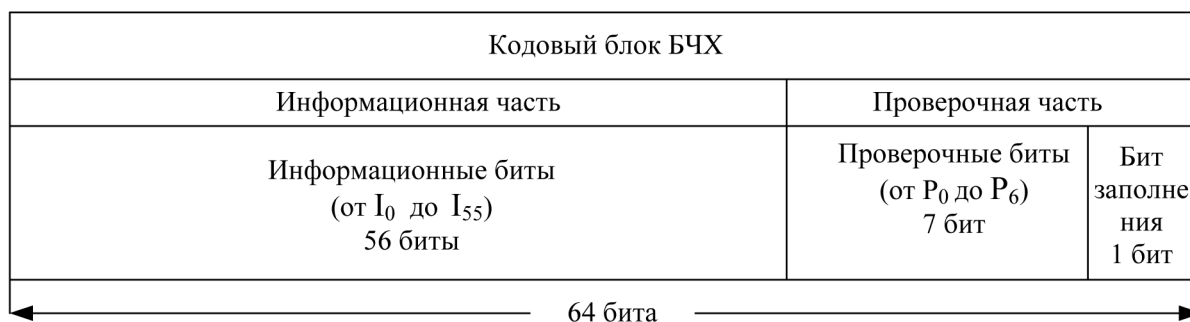


Рис.4. Формат передачи кодового блока КПИ

гических и критически важных объектов, без переработки неадекватно по следующим причинам [6]:

- отсутствие гарантий того, что в иностранных документах нет ошибок или неточностей;
- отсутствие обоснования выбора тех или иных методов и технических решений (есть только итоговые рекомендации);
- наличие взаимосвязанных с открытыми документами закрытых документов, не публикуемых в открытой печати;
- отсутствие полного описания технологий, их возможное моральное устаревание;
- богатый и уникальный опыт собственных проектов;
- необходимость импортозамещения.

Последний фактор в современных условиях приобретает особое значение, поскольку, как показывает опыт развития отрасли телекоммуникаций, вместе с зарубежными стандартами приходит и зарубежное оборудование, а для отечественной космической отрасли

актуальна задача разработки современного конкурентоспособного оборудования.

Отечественный опыт стандартизации и унификации средств управления КА

В настоящее время имеются технические и технологические возможности для создания на основе современных базовых технологий радиоэлектронной техники унифицированных РЭС управления КА нового поколения с учетом уровня предъявляемых к ней системных требований. Однако открытый отечественный стандарт передачи КПИ для РЭС управления КА отсутствует. Поэтому различные разработчики средств управления КА независимо принимают технические решения, зачастую существенно отличающиеся друг от друга. Так, структуры сигналов и протоколы передачи КПИ в КИС, предназначенных для управления низкоорбитальными и высокоорбитальными КА, созданных

← заголовок передаваемого кадра →							
Номер типа передаваемого кадра	Маркер	Контрольный маркер	Резервные разряды	Номер КА	Номер канала связи	Длина кадра	Номер последовательности
2 бита	1 бит	1 бит	2 бита	10 бит	6 бит	10 бит	8 бит

(а)

Поле заголовка кадра	Поле передачи данных						Поле контрольных символов
	Заголовок данных	Пользовательская информация					
← передаваемый кадр →							

(б)

Поле заголовка кадра	Заголовок данных	Заголовок безопасности	Поле передачи данных		Концевик безопасности	Поле контрольных символов
			Пользовательская информация			
← передаваемый кадр →						

(в)

Рис.5. Форматы кадров для цифровых массивов информации, передаваемых по радиоканалам информационного обмена с КА в открытом (б) и закрытом (в) режимах работы

различными разработчиками, принципиально отличаются [3, 5].

Для сравнения – недавно принят открытый отечественный стандарт пакетной передачи ТМИ [15]. Он устанавливает правила построения и организации информационных систем, использующих принципы пакетной передачи данных в измерительных системах на объектах ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры. Данный стандарт согласован с многоуровневой моделью открытых систем ISO/OSI, а по структурам пакетов передачи ТМИ – с рекомендациями стандартов CCSDS.

Что же касается разработок РЭС управления КА, то можно говорить об их преимуществах и, по сути, о формировании некоторых внутренних стандартов предприятий-разработчиков КИС в части методов передачи КПИ. Эти внутренние стандарты, с одной стороны, направлены на обеспечение высокой достоверности передачи КПИ, что является одним из основных технических требований к КИС, с другой стороны, практически не подвергаются независимой экспертизе и не всегда соответствуют уровню современных технологий телекоммуникационных систем.

В качестве положительного опыта разработки таких внутренних стандартов заслуживает внимания режим информационного обмена с КА в форме передачи единого цифрового потока (ЕЦП). Данный режим был разработан для управления и информационного обмена с КА «Буран» и реализован в КИС «Квант-П» и «Квант-Р» (в настоящее время не используется) для непосредственного и ретрансляционного управления КА соответственно [4]. В дальнейшем этот режим использовался при управлении орбитальной станцией «Мир», а в настоящее время используется при управлении российским сегментом МКС.

ЕЦП объединяет несколько потоков цифровой информации от различных источников (частичных информационных потоков), передаваемых с временным уплот-

нением и возможностью перераспределения суммарной скорости передачи информации между источниками. Передача ЕЦП предусматривается как по прямому, так и по обратному радиоканалам информационного обмена с КА. Информация, передаваемая в составе ЕЦП, имеет кадровую структуру, при этом используются 6 видов (форматов) кадров ЕЦП, отличающихся канальной скоростью передачи информации и объединяемыми информационными потоками (функциональными каналами).

Скорости передачи информации и варианты совмещения информационных каналов для ЕЦП прямого канала приведены в таблице 2, для ЕЦП обратного канала – в таблице 3. ЕЦП прямого канала может включать следующие информационные потоки: два телефонных канала – открытый (ТЛФ-1) и закрытый (ТЛФ-2), телеграфный канал (ТЛГ), канал передачи КПИ и канал передачи информации межмашинного обмена (ИМО). ЕЦП обратного канала помимо указанных информационных потоков может включать два канала передачи ТМИ – открытый (ТМИ-1) и закрытый (ТМИ-2). Все значения скоростей передачи информации приведены с учетом кодирования и соответствуют канальным скоростям передачи, определяющим ширину спектра передаваемых информационных потоков. Максимальная скорость передачи информации в ЕЦП прямого канала составляет 128 кбит/с, в ЕЦП обратного канала – 256 кбит/с. Наиболее информативными являются потоки информации ИМО прямого и обратного канала (до 128 кбит/с) и ТМИ-2 обратного канала (до 256 кбит/с).

Форматы ЕЦП учитывают особенности работы с пилотируемыми КА (передача телефонных и телеграфных каналов), а также обеспечивают возможность метода реализации управления КА через полетное задание (передача информации межмашинного обмена). Управление через полетное задание может использоваться при работе с КА, имеющими развитые

Таблица 2

Форматы ЕЦП прямого канала

Номер кадра	Скорость ЕЦП, кбит/с	Скорости и распределение информации, кбит/с				
		ТЛФ-1	ТЛФ-2	ТЛГ	КПИ	ИМО
1	32	16	2,4	2,4	8,0	-
2	128	16	2,4	2,4	8,0	64
3	128	-	-	-	-	128
4	-	-	-	-	-	-
5	64	16	2,4	2,4	8,0	32
6	16	-	2,4	2,4	8,0	-

бортовые комплексы управления на основе бортовых ЭВМ, и происходит путем обновления их программного обеспечения в ходе полета КА. Это может быть перепрограммирование отдельных программ автономного управления бортовой аппаратурой или запись новых программ. Для этого по радиоканалам информационного обмена с КА передается ИМО. Передача этого вида информации может также происходить в так называемых технологических режимах управления для проверки работоспособности бортовой аппаратуры и бортовых ЭВМ.

Приведенные характеристики ЕЦП показывают возможности временного уплотнения различных узкополосных потоков информационного обмена с КА, а также соотношение по типовым скоростям передачи информации КПИ, ТМИ и ИМО. В данном случае ТМИ и ИМО превосходят КПИ по требуемой скорости передачи в 4–32 раза. В то же время при передаче КПИ передаются наиболее жесткие требования по помехоустойчивости. Поэтому КПИ дополнительно кодируется внутренним помехоустойчивым кодом, который может быть использован в режиме обнаружения семикратных ошибок или в режиме исправления тройных ошибок.

Следует отметить, что использование ЕЦП, как унифицированного режима информационного обмена с КА, практически относится к виртуальному каналу между ЦУП и бортовым комплексом управления КА. Это обусловлено тем, что ЕЦП прямого канала формируется в ЦУП в аппаратном комплексе «Квант-П», а не в наземной аппаратуре КИС, а в ЕЦП обратного канала – в БКУ, а не в бортовой аппаратуре КИС. Через КИС «Квант-П» ЕЦП проходит транзитом без обработки и изменения структуры. Таким образом, режим ЕЦП может рассматриваться как пример унифицированного протокола информационного обмена с КА, но реализуется этот протокол в терминах стандартов SSCDS не на подуровне кодирования и синхронизации в РЭС управления КА, а на подуровне формирования блоков данных в ЦУП.

В качестве других примеров унификации отечественных КИС можно привести лишь объединение в составе наземной аппаратуры КИС аппаратных комплексов, позволяющих работать в различных структурах сигналов и форматах передачи КПИ с различными типами бортовой аппаратуры КИС. Так, КИС «Квант-П» кроме режима передачи и приема ЕЦП имеет традиционный режим управления КА типа «Союз» и «Прогресс» с передачей КПИ в виде команд и программ управления, приемом с КА ТМИ, телефонной и телевизионной связью с экипажем, в котором используются свои структуры сигналов, форматы передаваемой информации и частотное разделение функциональных каналов [4]. Такой же принцип заложен и в унифицированные наземные радиотелеметрические системы – унификация заключается в возможности приема телеметрических сигналов различной структуры от нескольких типов бортовых радиотелеметрических систем, устанавливаемых на различных КА и объектах ракетно-космической техники [12]. Полная совместимость средств и комплексов управления КА при этом не обеспечивается.

Независимо от достигнутого уровня унификации и стандартизации отечественных РЭС управления КА модель открытых систем ISO/OSI, определяющая правила организации информационного взаимодействия передающей и приемной сторон с целью обеспечения достоверной передачи информации, является основой реализуемых протоколов информационного обмена с КА. В то же время с точки зрения содержания этих протоколов существующие КИС и КРС является фактически закрытыми системами, поскольку структуры сигналов и форматы сообщений, передаваемых по радиоканалам являются фиксированными для каждой из систем и выбираются в процессе их разработки и создания. В терминах модели ISO/OSI они соответствует протоколам канального уровня с частичным дополнением их элементами протоколов физического уровня. В резуль-

Таблица 3

Форматы ЕЦП обратного канала

Номер кадра	Скорость ЕЦП, кбит/с	Скорости и распределение информации, кбит/с						
		ТЛФ-1	ТЛФ-2	ТЛГ	КПИ	ИМО	ТМИ-1	ТМИ-2
1	64	16	2,4	2,4	8,0	-	32	-
2	256	16	2,4	2,4	8,0	64	32	128
3	128	-	-	-	-	128	-	-
4	256	-	-	-	-	-	-	256
5	128	16	2,4	2,4	8,0	32	64	-
6	16	-	2,4	2,4	8,0	-	-	-

тате средства управления и информационного обмена с КА не образуют унифицированного ряда, и каждое из них, по сути, функционирует в соответствии со своим интерфейсным контрольным документом.

В состав КИС, как образца космической техники, входят: наземная аппаратура КИС, бортовая аппаратура КИС и контрольно-проверочная аппаратура КИС. Наземная аппаратура КИС функционируют в составе наземных комплексов управления КА. Бортовая аппаратура КИС функционирует в составе бортовых комплексов управления КА. Контрольно-проверочная аппаратура КИС обеспечивает проведение комплекса проверок и испытаний бортовой аппаратуры КИС во всех режимах функционирования в ходе подготовки КА к запуску. Предварительные оценки показывают, что унифицированный ряд аппаратуры КИС должен включать 2–3 модификации наземной аппаратуры КИС, отличающиеся функциональными возможностями по реализации непосредственного и ретрансляционного управления и дальностью действия, 2–3 модификации бортовой аппаратуры КИС, отличающиеся функциональными возможностями и блоками сопряжения с бортовыми системами, и полнофункциональную контрольно-проверочную аппаратуру для проведения комплекса проверок и испытаний всех модификаций бортовой аппаратуры КИС.

Заключение

Таким образом, на современном этапе развития отечественных РЭС управления КА уровень их унификации является низким, а отечественные разработки в области стандартизации средств управления КА связаны лишь с работой представителей Роскосмоса в составе Комитета CCSDS. Последствия такой ситуации определены в работе [6] как кризис в производстве отечественных КИС. Отсутствие открытого стандарта передачи КПИ, оперативно обновляемого в соответствии с изменениями отраслевой базы знаний, и единых интерфейсных контрольных документов для средств управления и информационного обмена с КА приводят к их экстенсивному развитию. В то же время переход на зарубежные РЭС, реализующие унифицированные информационные технологии управления КА, является неприемлемым.

Внедрение современных технологий управления КА, разработка и оснащение современными РЭС наземных комплексов управления КА является в настоящее время определяющим направлением их развития. За счет новых информационных технологий решение задач управления КА может быть поднято на более высокий уровень и в конечном итоге обеспечено повышение эффективности применения космических средств. При этом использование унифицированных наземных средств управления КА нового поколения позволит существенно снизить эксплуатационные расходы на управление КА. В соответствии

с оценками, выполненными при обосновании переоснащения Единого ГосНАКУ перспективными унифицированными КИС, при сокращении их общего числа по сравнению с существовавшим составом средств в 2 раза ожидалось уменьшение стоимости типового сеанса управления в 1,5 раза за счет увеличения коэффициента технического использования средств.

Литература

1. Макаренко, Д. М. На орбитальных рубежах / Д.М. Макаренко, А.Ю. Потюпкин. – М.: Академия, 2008. – 280 с.
2. Остапенко, О. Н. Информационно-космическое обеспечение группировок войск (сил) ВС РФ / О.Н. Остапенко, С.В. Баушев, И.В. Морозов. – СПб.: Любавич, 2012. – 368 с.
3. Галантерник, Ю. М. Командно-измерительные системы и наземные комплексы управления космическими аппаратами / Ю.М. Галантерник, А.В. Горищ, А.Ф. Калинин. – М.: МГУЛ, 2003. – 200 с.
4. Молотов, Е. П. Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами / Е.П. Молотов. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
5. Современные технологии навигации геостационарных спутников / Ю.М. Урличич [и др.]. – М.: Физматлит, 2006. – 280 с.
6. Актуальность стандартизации спутниковых командно-измерительных систем / В.А. Углев [и др.] // Исследования Научного центра. – 2012. – № 2. – С. 23–29.
7. Разработка языка управления космическими аппаратами / Н.А. Космынина [и др.] // Информационно-управляющие системы. – 2015. – № 5. – С. 82–90.
8. Мальцев, Г. Н. Перспективы создания комплексов управления космическими аппаратами на базе ключевых технологий / Г.Н. Мальцев, Г.В. Стогов, А.В. Терехов // Информационно-управляющие системы. – 2006. – № 5. – С. 2–5.
9. Щербаков, Н. М. Схемы построения наземных комплексов управления / Н.М. Щербаков, А.Ф. Калинин // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2007. – № 1. – С. 16–20.
10. Макаров, М. И. Наземные комплексы управления космическими аппаратами / М.И. Макаров, А.А. Медведев // Наука и технологии в промышленности. – 2012. – № 1. – С. 81–89.
11. Organization and Processes for the Consultative Committee for Space Data Systems. CCSDS Record CCSDS A02.1-Y-4. Yellow Book. Issue 4. – Washington, DC: CCSDS. 2014.
12. Современная телеметрия в теории и практике. Учебный курс / А.В. Назаров [и др.]. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 672 с.
13. TC Synchronization and Channel Coding. Recommended Standard CCSDS 231.0-B-2. Blue Book. Issue 2. – Washington, DC: CCSDS. 2010.
14. TC Space Data Link Protocol. Recommended Standard CCSDS 232.0-B-3. Blue Book. Issue 3. – Washington, DC: CCSDS. 2015.
15. ГОСТ Р 56096–2014. Система передачи космических данных и информации. Пакетная телеметрия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 26 с.