



УДК 28.23.29:89.29.65

²В. А. Углев, ¹С. И. Опенько, ¹Ю. М. Князькин,
¹С. Г. Кочура, ²Н. Н. Носков, ¹В. Е. Косенко,
³Ю. П. Саломатов,

¹ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнева»,
г. Железнодорожск, Красноярский край, Россия

²Железнодорожский филиал СФУ, г. Железнодорожск, Красноярский край, Россия

³Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Красноярский край, Россия

АКТУАЛЬНОСТЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассматривается проблема стандартизации командно-измерительных систем спутников связи. Осуществлён аналитический обзор отечественных и зарубежных нормативных документов по стандартизации оборудования для космических аппаратов. Отмечены проблемные моменты применения существующих российских стандартов и поставлена задача разработки стандарта командной радиолинии. Сделана попытка системного анализа структуры стандарта радиолинии, опирающегося на отраслевую базу знаний. Рассмотрена возможность эффективного обновления содержания стандартов через интеллектуальную систему поддержки принятия решений на базе онтологий.

Ключевые слова: спутник, командно-измерительная система, командная радиолиния, стандартизация, стандарт.

²V. A. Uglev, ¹S. I. Openko, ¹Yu. M. Knyazkin, ¹S. G. Kochura,
²N. N. Noskov, ¹V. E. Kosenko, ³Yu. P. Salomatov

¹JSC «Academician M. F. Reshetnev «Information Satellite Systems»,
Zheleznogorsk, Russia

²The Branch of Siberian Federal University in Zheleznogorsk, Russia

³Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

THE ACTUAL OF SATELLITE UPLINK COMMUNICATION SYSTEM STANDARDIZATION

The standardization problem of communications satellites command and measuring systems is presented in this paper. An analytical survey of domestic and foreign regulations for standardization of equipment for space vehicles is carried out. The problematic aspects of the actual Russian standards are noted and task to develop a command radio link standard is set. An attempt to analyze the structure of the radio line standard based on industry knowledge base with system analysis is made. The possibility of efficiently updating the standards content through intelligent decision support system on the basis of ontologies is examined.

Key words: satellite, CCATS, uplink communication system, standardization, standard.

Введение

Спутники связи как сложные высокотехнологичные изделия требуют системного подхода к проектированию и производству. В современных реалиях каждый космический аппарат обладает уникальными эксплуатационными характеристиками, присущими только ему. Теория систем и системная инженерия – базовые подходы, которые должны контролировать весь процесс: от выбора обобщённой модели устройства до вывода машины на финишные испытания и контроль качества. Такие системы являются дорогостоящими, и их серийный выпуск нецелесообразен по финансовым соображениям или узости области применения. Попытки учесть и требования заказчика (должно быть дёшево и современно), и требования регламентирующих документов (должно быть надёжно и безопасно) приводят к противоречиям при выборе конкретных технологий реализации. Поэтому управление требованиями в соответствии с ГОСТами, ТУ, РД и прочими нормативными документами для мелкосерийного или штучного производства современного оборудования – настоящая проблема.

В чём же проблема управления стандартом, если он гарантирует качество? Известно, что любая развивающаяся открытая система, которая требует управления, нуждается в оперативной выработке адекватных по содержанию обратных связей [1]. Так как наука и техника не стоят на месте, то и решения, которые вчера были наилучшими, на следующий день зачастую становятся проигрышными. В условиях рыночной конкуренции это серьёзный фактор, влияющий на потребительские свойства продукции. Поэтому стандарты должны пересматриваться. Но насколько оперативно и часто? Очевидно, что если нормативные документы будут переписываться с появлением каждого нового решения (авторского свидетельства, метода анализа данных, процессора, алгоритма и т. п.), то становится высока вероятность ошибки: недостаточно отработанные технологические процессы не всегда сразу выявляют недостатки новшеств. С другой стороны, пересмотр нормативных документов может длиться годами и десятилетиями, а вновь открывшиеся возможности нельзя применить только в силу действующих ограничений (особенно это заметно в области информационных технологий).

Попытаемся проанализировать эту проблему применительно к созданию стандарта на командную радиолинию для спутников связи и предложить метод её решения, опирающийся на интеллектуальные системы поддержки принятия решений.

КИС в России: текущее состояние и перспективы

Командно-измерительная система (КИС) является одной из важных систем космического аппарата. С её помощью осуществляется контроль за функционированием и управление космическим аппаратом с наземного центра управления полетом, а также измерение его текущих навигационных параметров через обработку сигналов командной радиолинии.

Взаимодействие наземного центра управления с космическим аппаратом может проходить как в открытом режиме (не выполняется никаких проверок подлинности источника командно-программной информации, поступающей на космический аппарат), так и в режиме с аутентификацией (в состав командно-программной информации включаются данные, позволяющие однозначно идентифицировать источник этой информации). Также могут использоваться криптографические методы защиты передаваемой на космический аппарат и принимаемой с него информации, обеспечивающие конфиденциальность принимаемых и передаваемых данных.

В России в настоящее время отсутствует открытый национальный стандарт командной радиолинии для космических аппаратов, по этой причине разработчикам спутниковых систем приходится или самим разрабатывать подобные стандарты и аппаратуру, или использовать разработки немногих отечественных компаний, имеющих опыт в проведении подобных работ. В любом случае в командной радиолинии используются внутренние стандарты фирм изготовителей КИС, которые отсутствуют в свободном доступе и, как следствие, не могут быть проанализированы независимыми экспертами. Действующие внутренние стандарты радиолинии были предложены 30–40 лет назад и являлись актуальными на то время. За период, прошедший с момента их разработки по сей день, технологии передачи и обработки информации шагнули далеко вперед. Всё это приводит к затруднениям при объектив-

ной оценке надежности и качества командной радиоперехватной спутников. Как следствие, у разработчиков космических аппаратов нет возможности создавать свою продукцию на базе этих стандартов кроме как для внутреннего рынка. При изготовлении космических аппаратов для зарубежных заказчиков используются открытые стандарты командной радиоперехватной европейского космического агентства. Некоторые российские заказчики космических аппаратов уже используют или в ближайшее время планируют использовать командную радиоперехватную, построенную на базе зарубежных открытых стандартов.

В последние годы в России предпринята попытка разработать новую командную радиоперехватную для космических аппаратов и оборудование, которое будет эту радиоперехватную реализовывать. Официальное наименование документа – РК-11 дает повод утверждать, что открытого стандарта командной радиоперехватной так и не будет: в лучшем случае он будет применен как внутренний закрытый стандарт, к которому будут возникать те же вопросы по надежности и качеству, что и к его предшественникам. Причина тут кроется в том подходе, который принят при разработке радиоперехватной – разработка собственно стандарта радиоперехватной и аппаратуры, реализующей эту радиоперехватную как на борту космического аппарата, так и в наземном комплексе управления, поручается одной фирме, которая, исходя из очевидных экономических соображений, заинтересована в монополизации данного рынка.

Опыт зарубежных стран по стандартизации разработки аппаратуры для космических аппаратов

В условиях выхода многих российских предприятий на международный рынок возникает проблема соответствия наших стандартов зарубежным. Несмотря на то, что отечественная космическая отрасль имеет более чем полувековую историю и множество успешно реализованных проектов, мы не являемся ведущими законодателями в области международной стандартизации. Наряду со стандартами NASA (США) и ESA (Европа) успешно работают и сравнительно молодые центры ракетно-космических технологий: JAXA в Японии, CNSA в Китае, ISRO в Индии и пр. Наиболее проработанными явля-

ются американский и европейский стандарты. Возникает вопрос: почему они как производители и заказчики диктуют правила игры на международном рынке космических технологий в области стандартизации? Попробуем в этом разобраться.

Проекты NASA, начиная с момента основания этой организации в 1958 г., реализуют не только военные проекты, но и гражданские (включая научные направления). Факторами успеха их разработок являются достаточное финансирование, высокая приоритетность и качественная стандартизация. Открытая часть нормативной документации, регламентирующей построение космических аппаратов NASA, доступна на сайте агентства по ссылке [2]. Анализ представленных документов позволяет сделать несколько выводов. Во-первых, каждый документ был переработан и обновлен за последние десять (а то и пять) лет. Во-вторых, каждый документ имеет дату окончания своего действия, находящуюся в рамках 5–10-летнего периода с момента его принятия. В-третьих, оригинальные тексты основных документов открыты для свободного ознакомления, даже без регистрации на сайте агентства. В-четвертых, набор стандартов NASA представляет из себя систему документов, комплексно описывающих процессы проектирования, разработки и тестирования космических изделий, а так же освещающих вспомогательные вопросы. При их разработке была применена методика системной инженерии [3], положительно зарекомендовавшей себя при реализации многих крупных проектов. В результате был не только обновлен перечень нормативных документов агентства, но и выпущен собственный стандарт по системной инженерии и контролю изменений [4].

Стандарты ESA, как альтернатива американским стандартам, имеют менее эффективный механизм обновления. Во-первых, потому что в Европе накоплен сравнительно меньший опыт работы с космическими аппаратами, чем в СССР/России или США. А во-вторых, потому что ESA имеет значительно меньше ресурсов чем NASA. С одной стороны, большинство европейских проектов имеют формат международного сотрудничества, включая работу как с российскими специалистами, так и со специалистами из Америки. С другой стороны, к первой половине двухтысячных годов Европейской кооперацией по стандартизации в области космической

техники (ECSS) был выпущен ряд обновлённых документов по разработке космических аппаратов [5]. В них чётко прослеживается комплексный подход описания и управления процессами при создании и эксплуатации космической аппаратуры, используя методологию системной инженерии.

Стандарты производства и эксплуатации космических аппаратов других стран (в первую очередь Китая, Японии и Индии) исторически базировались на советских или американских разработках. Но в последнее время они сделали существенный рывок в направлении развития собственных технологий. Успехом в этом вопросе они обязаны как сотрудничеству с иностранными специалистами, так и приоритетностью данного направления в планах национальных правительств.

Выполнение совместных международных проектов и коммерческих заказов с участием Роскосмоса неминуемо влечёт поднятие вопросов о стандартизации. Как при выполнении внешних заказов, так и при заявке на изготовление аппаратуры для отечественных спутниковых систем требуется нормативный документ, регламентирующий работы с обеих сторон. Поэтому интеграция российских предприятий в мировой рынок космических технологий должна опираться на современную нормативную базу. Анализ готовности отечественных стандартов к интеграционным процессам показывает, что факторы дробности, несистемности и закрытости существенно затрудняют процесс взаимодействия сторон (см., например, [6]). В связи с этим возникает задача системного обновления содержимого отечественных стандартов разработки аппаратуры для ракетно-космической отрасли и их гармонизации с зарубежными (преимущественно с европейскими и американскими) стандартами.

Проблемы применимости российских стандартов

Действующая на сегодняшний момент нормативная база, регламентирующая разработку и применение космических аппаратов и их подсистем, базируется на общероссийских, отраслевых и внутренних нормативных документах. Общероссийские документы сведены в единый перечень отраслевых стандартов, а внутренние стандарты разрабатываются на каждом предприятии и устанавливают требования к конкретному виду изготавливаемой

им продукции. Последние должны действовать строго в рамках общероссийских стандартов, дополняя и уточняя их для конкретной деятельности.

Сложности реализации требований указанных стандартов начали активно проявляться за последние 20 лет. В основном они связаны с реструктуризацией российской экономики и попытками выхода на международный рынок спутниковых систем. Оказалось, что возникают проблемы как импорта оборудования (существует ряд запретов на применение зарубежной аппаратуры), так и экспорта (запреты на передачу технологий, неэквивалентность требований и методик зарубежным). Очевидно, что по многим направлениям отечественная промышленность уступает зарубежной, особенно в производстве современной электроники. Но даже инновационные отечественные разработки зачастую не могут применяться при построении космического аппарата, так как эти разработки выполнены в соответствии с отечественными стандартами, которые или закрыты или базируются на других подходах, которые не соответствуют тем стандартам, с которыми работает заказчик. Таким образом, наметился ряд проблем, которые необходимо устранить при пересмотре нормативных документов в области построения спутниковых систем:

- устаревание многих технических и технологических решений;
- отсутствие эффективного механизма обновления содержания регулирующих нормативных документов ракетно-космической отрасли;
- закрытость (секретность) большинства документов;
- различные подходы в реализации поставленных задач и вытекающая из этого несовместимость с международными стандартами;
- отсутствие отечественного стандарта командной радиолинии.

Следует отметить, что версия документа РК от 1998 г. (РК-88) была пересмотрена за 10 лет и проходила в условиях стремительного изменения возможностей микроэлектроники (далеко не во всём эти изменения учитывая). Сейчас аналогичные по масштабам изменения происходят не только в области электроники, но и в материаловедении и информационных технологиях. Разговоры о необходимости учёта этих изменений в РК-11 ведутся давно, но

в силу своей секретности и монополии ряда предприятий ожидать принципиального обновения документа не приходится.

Системный подход к проблеме

Итак, задача разработки современного конкурентоспособного оборудования для космических аппаратов приоритетна для российского ракетно-космического комплекса. Тем более что всё больше стран нуждаются в собственных спутниках связи и в системах глобального позиционирования и при этом не имеют возможности их создания. Использование устаревших нормативных документов затрудняет как решение внутренних стратегических задач, так и выполнение международных контрактов. Поэтому вывод очевиден – документы требуют переработки.

Использование иностранных стандартов при разработке элементов оборудования стратегических объектов без переработки неадекватно по следующим причинам:

- нет гарантии того, что в иностранных документах нет ошибок или неточностей;
- отсутствие обоснования выбора тех или иных методов и решений (есть только итоговые рекомендации);
- присутствие закрытых документов, не публикуемых в открытой печати;
- моральное устаревание технологий;
- богатый и уникальный опыт собственных проектов.

Несмотря на то, что в проектах NASA уже активно создаются унифицированные КИСы третьего поколения, разрабатываемые по обновлённым стандартам, их применение по указанным выше причинам в отечественных спутниках нецелесообразно.

Учитывая все аргументы «за» и «против», можно предложить следующее решение: разработку нового современного стандарта командной радиолинии и построения командно-измерительных систем для спутников различного назначения. С одной стороны, заменить всю нормативную базу в ракетно-космической отрасли будет проблематично: даже NASA и ESA затратили на этот процесс не один год при централизованной поддержке и согласованной работе заинтересованных сторон. С другой стороны, отказываться от успешных наработок зарубежных коллег тоже не стоит. Целесообразно поручить разработку открытого стандарта командной радиолинии институтам, которые бы провели соответствующие на-

учные исследования и разработали открытый стандарт, описывающий методы и способы передачи информации в радиолинии, методы измерения текущих навигационных параметров, способы и методы защиты от несанкционированного доступа к этой информации.

Реализация проекта нового стандарта предполагает применение методов системной инженерии: кроме учёта всего жизненного цикла изделия, требуется учитывать и его многовариантность комплектации, и нормативные тактико-технические характеристики, и целевые запросы заказчика. Следовательно, необходимо описать сложную многоцелевую систему [7] для эффективного синтеза конкретных технических решений.

Спутниковые системы и их оборудование при изготовлении опираются не только на стандарты, но и на определённый пласт знаний, привлекаемый при проектировании и создании соответствующих аппаратов. Комплексное описание основных и вспомогательных процессов изготовления, а также стратегии принятия решений предполагают централизованное хранение и обработку отраслевой базы знаний (ОБЗ).

Отраслевые базы знаний

Технология формирования любых баз знаний, включая отраслевые, рассматривается в таком направлении искусственного интеллекта, как инженерия знаний [8]. Формально это направление фигурирует и в системной инженерии, причисляясь к методам интеграции данных [9]. Поэтому представим основу ОБЗ как набор профильных и лишь частично пересекающихся фрагментов областей знаний.

Системное описание элементов стандарта предполагает, что в него включаются не только знания, описывающие систему стандартизации, но и её окружение. Как было сказано ранее, в нашей стране отсутствует стандарт командной радиолинии. Это говорит о том, что надсистема, в которой находится спутник, описана недостаточно и, следовательно, в стандарт требуется включать дополнительные фрагменты знаний, касающиеся функционирования командной радиолинии и обрабатывающей сигналы из неё КИС. То же относится и к этапам жизненного цикла, а также стратегиям принятия решений при синтезе проекта КИС или всего спутника.

Каждая подсистема КИС, представленная в ОБЗ множеством частных технических решений и методикой их оценки, должна согласоваться не только с требованиями заказчика, но и с ограничениями, накладываемыми надсистемой, т. е. командной радиолинией и средой передачи данных. Поэтому для проектируемой системы должны быть определены и обоснованы многие параметры функционирования. Например, выбраны подходящие методы модуляции, шифрования сигнала, сжатия телеметрической информации и пр. За описание и учёт особенностей подобных параметров КИС будут отвечать соответствующие фрагменты стандарта, отраженные в ОБЗ. Их описание и методики оценки также должны иметь типовую форму для эффективной интеграции в структуру стандарта.

Оперативное обновление содержимого стандарта как процедура, затрагивающая лишь отдельные элементы поля знаний из ОБЗ, предполагает наличие гибкой системы хранения, учёта и обработки соответствующей информации. Для обработки ОБЗ необходима информационная система, позволяющая интеллектуально извлекать информацию из базы и эффективно представлять её проектировщику КИС [10, 11]. К задачам извлечения можно отнести следующие: подбор приемлемых конструктивных решений относительно технического задания (с учётом ограничений по массогабаритным, функциональным, надёжностным и экономическим показателям); выявление наиболее выгодных решений для конкретной задачи; объяснение (обоснование) причин выбора тех или иных решений и пр. К задачам представления отнесём разработку рекомендаций в естественно-языковой форме; эффективное отображение результатов работы с помощью средств когнитивной компьютерной графики (мнемосхем, кубов данных, кластеров и пр.); генерацию сравнительных отчётов и пр. Подобный класс программного обеспечения относится к системам поддержки принятия решений (СППР) и существенно ускоряет работу проектировщика при работе над очередным устройством [11, 12]. Максимальный эффект от автоматизации процессов принятия решений в СППР при разработке полезной нагрузки для спутниковых систем достигается при использовании развитых методов анализа знаний (методы экспертных систем и весовых онтологий [13]).

Вследствие применения стандарта, оперативно обновляемого в соответствии с изменениями отраслевой базы знаний, разработку аппаратуры смогут выполнять различные фирмы, что положительно скажется на качестве и стоимости оборудования как наземного сегмента, так и бортового. Этот подход также позволит предлагать данную радиолинию любым заказчикам космических аппаратов, включая и зарубежных.

В заключение отметим, что отечественное спутникостроение обладает высоким потенциалом как в рамках страны, так и при реализации зарубежных проектов. Поэтому современное конкурентоспособное оборудование – это стратегическое направление, в котором необходимо применять последние достижения науки и техники. Создание системы актуальных стандартов, регулярно обновляемых и обеспеченных соответствующими интеллектуальными средствами автоматизированной обработки – вот та первостепенная задача, на которую следует обратить внимание специалистам ракетно-космической отрасли.

Проявившийся кризис в производстве командно-измерительных систем – это не только следствие реформирования экономики. Зарубежные страны пошли по пути модернизации правовой базы: там уже применяются эффективные и конкурентоспособные устройства как на внутреннем, так и на международном рынках. Авторы призывают провести активную работу по разработке нового комплекса нормативных документов, отвечающих требованиям сегодняшнего дня. Для этого принципы открытости, комплексности и автоматизации должны быть реализованы на надлежащем уровне.

Библиографические ссылки

1. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М. : Советское радио, 1968. – 312 с.
2. Nasa Online Directives Information Library (режим доступа: nodis3.gsfc.nasa.gov).
3. ISO/IEC 15288:2008. Systems and software engineering – System life cycle processes (режим доступа: www.iso.org).
4. Nasa System Engineering Processes and Requirements (NPR 1723.1A, 26.03.2007).
5. European Cooperation for Space Standardization (режим доступа: ecss.nl).
6. Münster S., Gericke G. Comparison of Russian P. A. Standards With Corresponding ESA Requirements //

- Product Assurance Symposium and Software Products Assurance Workshop, ESA, 1996. – P. 31–42.
7. Тарасенко Ф. П. Прикладной системный анализ : учеб. пособие. – М. : КноРус, 2010. – 224 с.
 8. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб. : Питер, 2001. – 384 с.
 9. ISO 15926 Industrial automation systems and integration - Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities (с дополнениями на 2011 г., режим доступа: www.iso.org).
 10. Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта : учеб. пособие. – М. : МГТУ, 2001. – 352 с.
 11. Uglev V. A., Mishkina N. Yu. Manufacturing standards` content quality management on the basis of ontology mechanism // Modern Techniques and Technologies: The XVIII International Scientific and Practical Conference (MTT'2012). – Tomsk : TPU Press, 2012. – P. 122–124.
 12. Конотоп Д. И., Зинченко В. П. Оптимальное проектирование сложных технических объектов с использованием онтологического подхода // Онтология проектирования. – 2011. – №1(2). – С. 44–53.
 13. Углев В. А. Актуализация содержания стандартов проектирования сложных технических объектов: онтологический подход // Онтология проектирования. – 2012. – №1(3). – С. 80–86.