

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.  
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

УДК 621.396 DOI 10.30894/issn2409-0239.2021.8.2.43.50

Регламентирование процесса развития систем  
информационно-телеметрического обеспечения  
отработки средств выведения

**В. Л. Воронцов**, к. т. н., *contact@spacecorp.ru*

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**И. А. Давыдов**, к. т. н., *Davydov\_I@npoit.ru*

*АО «НПО измерительной техники», г. Королев, Московская область, Российская Федерация*

**Аннотация.** Показано, что наиболее зримо недостатки существующей общей отраслевой научно-технической политики развития средств информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) отработки средств выведения проявляются в отсутствии системного и доминировании субъективного и фрагментарного подходов, вследствие чего программно-технические средства (ПТС) телеметрического комплекса космодрома (ТК) избыточны, но не инвариантны к текущим задачам ИТО. При этом потери информации при пусках ракет космического назначения (РКН) и межконтинентальных баллистических ракет (МБР) вследствие влияния вредных факторов разной природы сопоставимы с потерями времен 60–70-х годов 20-го века. В этих условиях актуален системный подход и, соответственно, регламентирование процесса развития отечественных систем информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения (СИТО<sub>СВ</sub>). Основными инструментами регламентирования являются официальная концепция развития СИТО<sub>СВ</sub> и соответствующая ей система стандартов телеметрии. Представлены научно-методические основы их построения, базирующиеся на результатах прошлых исследований. Показаны особенности решения текущих и перспективных организационных вопросов по поддержанию и развитию вышеупомянутых концепции и системы стандартов силами предполагаемой рабочей группы.

**Ключевые слова:** программно-технические средства, система информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения, телеметрическая информация, телеметрический комплекс космодрома

Regulation of the Development Process Systems  
of Information and Telemetry Support  
for the Development of Launch Vehicles

**V. L. Vorontsov**, *Cand. Sci. (Engineering), contact@spacecorp.ru*

*Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation*

**I. A. Davidov**, *Cand. Sci. (Engineering), Davydov\_I@npoit.ru*

*Joint Stock Company «Scientific, Research & Production Corporation of Measuring Equipment», Korolev, Moscow Region, Russian Federation*

**Abstract.** It is shown that the most prominent shortcomings of the existing general sectoral scientific and technical policy for the development of means of information and telemetry support (ITS) of development of launch vehicles are manifested in the absence of a systemic and dominance of subjective and fragmentary approaches, as a result of which the software and hardware (SW&HW) of the telemetric complex (TC) of a space launching site are redundant, but not invariant to the current ITS problems. At the same time, the loss of information during launches of spacecraft (SC) and intercontinental ballistic missiles (ICBMs) due to the influence of harmful factors of a different nature are comparable to the losses experienced during the 60s–70s of the 20th century. Under these conditions, a systematic approach is relevant and, accordingly, the regulation of the development process of domestic systems for information and telemetry support for the development of launch vehicles (ITSD<sub>LV</sub>). The main regulatory tools are the official concept of development of ITSD<sub>LV</sub> and the corresponding system of telemetry standards. The scientific and methodological foundations of their construction, based on the results of past research, are presented. The features of the solution of current and future organizational issues for the maintenance and development of the aforementioned concept and system of standards by the forces of the proposed working group are shown.

**Keywords:** software and hardware, information and telemetry support system for the development of launch vehicles, telemetric information, telemetry complex of a space launching site

В настоящей работе объектом исследования является система информационно-телеметрического обеспечения обработки средств выведения (СИТО<sub>СВ</sub>). СИТО<sub>СВ</sub> — это располагаемые материально-технические, стоимостные, временные, людские и другие ресурсы, которыми может воспользоваться оперирующая сторона (в том числе исследователь операции) для достижения цели операции, относящейся к решению задач ИТО обработки средств выведения [1] (см. «Активные средства» в гл. 4 [2]). К средствам выведения относятся прежде всего ракеты-носители (РН) и разгонные блоки (РБ) ракет космического назначения (РКН), а также маршевые ступени и ступени разведения боевых блоков межконтинентальных баллистических ракет (МБР). Они являются *телеметрируемыми объектами* [3].

Актуальность задачи регламентирования процесса развития отечественных СИТО<sub>СВ</sub> обусловлена наличием следующих проблемных вопросов:

- отсутствует единая научно-техническая политика развития СИТО<sub>СВ</sub>, проявляющаяся в отсутствии системного и доминировании субъективного и фрагментарного подходов, вследствие чего ПТС ТК избыточны, но не инвариантны к текущим за-

дачам ИТО (обычно требуется доработка ПТС ТК при подготовке к очередному пуску РКН/МБР);

- существующий процесс разработки новых структур телеметрической информации (ТМИ) бортовых радиотелеметрических систем (БРТС) и программно-технических средств (ПТС) телеметрического комплекса космодрома (ТК) фактически неуправляемый, что существенно затрудняет развитие СИТО<sub>СВ</sub>;

- потери информации вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений телеметрируемых параметров (ТМП) (прежде всего вибропараметров), а также вследствие влияния помех каналов «борт–Земля» при пусках РКН и МБР, которые сопоставимы с потерями времен 60–70-х годов XX века.

Условия решения задач ИТО обработки средств выведения (далее — ИТО) имеют следующие особенности [1]:

- большая доля виброизмерений даже по окончании летных испытаний и связанное с ними использование аналоговых сигналов для передачи ТМИ по каналам «борт–Земля» или значительное увеличение суммарной скорости передачи данных (в случае цифровых сигналов);

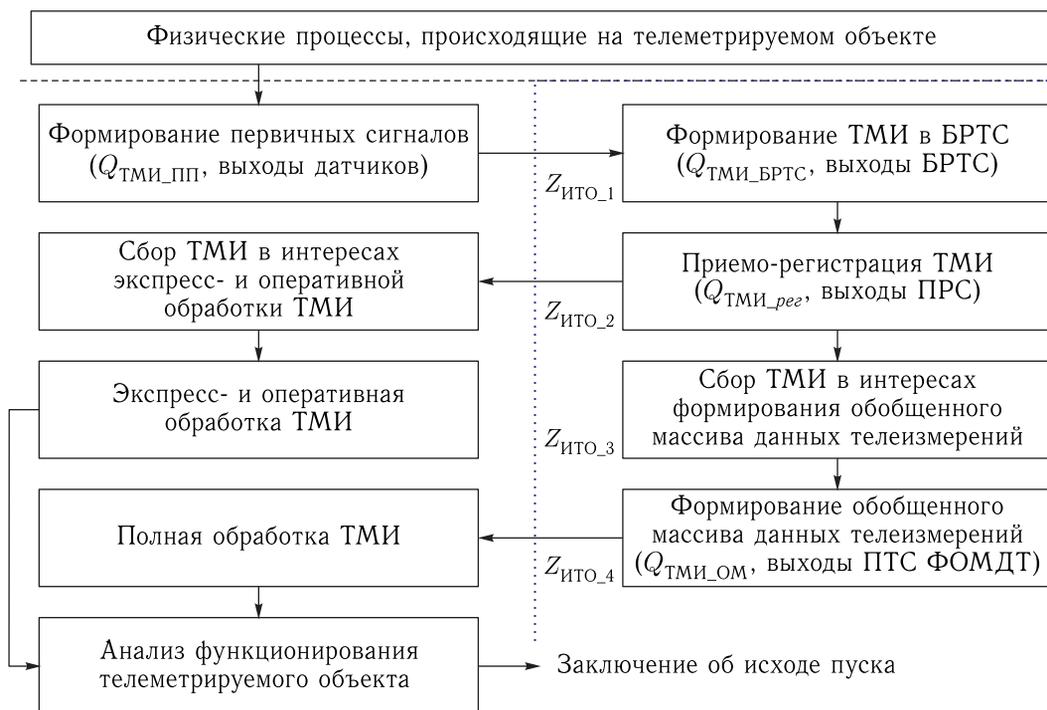


Рис. 1. Задачи ИТО

- относительно большой риск полетной аварии с разрушением конструкции изделия;

- значительные искажения телеметрического радиосигнала, передаваемого по каналам «борт–Земля», из-за влияния факела, плазмы (как следствие — необходимость разнесенного приема ТМИ).

Отсюда [1] — их специфика и, соответственно, сущности СИТО<sub>СВ</sub> (рис. 1).

Актуальность этих задач обусловлена тем, что с ними связаны значительные потери ТМИ вследствие действия неопределенных факторов разной природы [1]. Если выделенные задачи ИТО отнести к СИТО<sub>СВ</sub>, то вход этой системы — первичные сигналы [3] (т. е. выходы датчиков), а ее выход — обобщенные данные телеизмерений. **Обобщенные данные** — это данные, полученные методами разнесенного приема.

Результативное регламентирование процесса развития СИТО<sub>СВ</sub> позволит купировать последствия нерешенных проблемных вопросов путем существенного расширения возможностей целенаправленных действий предприятиями ракетно-космической отрасли по повышению эффективности ИТО (по существенному сокращению потерь ТМИ в условиях жестких ограничений ресурсов, выделяемых для решения задач ИТО).

Инструментами регламентирования являются:

- официальная концепция развития СИТО<sub>СВ</sub> (с указанием направлений развития);

- система стандартов телеметрии, соответствующая вышеупомянутой концепции, обеспечивающая осуществление рациональных стратегий усовершенствования и применения по назначению СИТО<sub>СВ</sub>;

- административные положения по поддержанию и развитию концепции и стандартов телеметрии (аналогичные соответствующим Желтым книгам CCSDS).

Сформулированы [4] следующие цели стандартизации отечественной телеметрии, относящейся к СИТО<sub>СВ</sub>:

- обеспечение технической возможности взаимной поддержки при решении задач построения и развития СИТО<sub>СВ</sub>;

- создание механизма отбора наиболее результативных технических решений для практиче-

ского применения и формулирования соответствующих положений стандартов;

- научно-методическое обеспечение процесса стандартизации совместными усилиями предприятий ракетно-космической отрасли, других заинтересованных лиц, предприятий и организаций.

Основная цель стандартизации — обеспечение требуемой эффективности процесса развития СИТО<sub>СВ</sub> [4].

Для осуществления полноценной стандартизации необходимо решить следующие задачи [4]:

- сформулировать положения стандартов, выполнение которых обеспечивало бы требуемую эффективность процесса развития СИТО<sub>СВ</sub>;

- обеспечить практическое выполнение требований сформулированных положений стандартов;

- определить порядок дальнейшего развития стандартов и выполнить соответствующие организационные мероприятия по его практическому осуществлению.

Для их решения нужен комплекс соответствующих организационно-технических мер.

Основная причина неинвариантности ТК к текущим задачам ИТО заключается в том, что при увеличении количества ТМП пропорционально увеличивается количество комплектов БРТС и лавинообразно (из-за необходимости разнесенного приема ТМИ) — ПТС ТК (прежде всего ПРС). Например, при подготовке космодрома Байконур к летным испытаниям комплекса «Энергия»–«Буран» стоимость дооснащаемых средств ТК составила более 500 млн рублей в ценах 70-х годов XX века [5]. Только для приемо-регистрации ТМИ понадобилось более 100, причем разнотипных приемно-регистрирующих станций (ПРС); при пуске РКН с РН «Союз» обычно задействуют 12–15 ПРС [1].

Необходимое условие построения относительно компактного ТК, инвариантного к изменяющимся задачам ИТО, — существенное замедление роста суммарной скорости передачи данных телеизмерений по каналам «борт–Земля», сокращение количества каналов разнесения при увеличении количества ТМП. Прежде всего необходимо компактное представление ТМИ в месте ее зарождения — в БРТС.

Показана [1] природа избыточности данных телеизмерений и способы ее уменьшения, причем

в условиях влияния различных неопределенных факторов. Чтобы сократить потери ТМИ в условиях влияния этих факторов, приходится делать поправку на неопределенность, создавая избыточность данных телеизмерений. Показано [1], что традиционные способы использования избыточности с целью сокращения потерь ТМИ не работают. Предложены [1] новые стратегии управления избыточностью данных телеизмерений, обеспечивающие существенное сокращение потерь ТМИ в условиях жестких ограничений ресурсов, выделяемых для решения задач ИТО.

Предложенные [1] общие показатели эффективности [2, 6] ИТО связаны с качеством ТМИ и с затрачиваемыми ресурсами и зависят от свойств (характеристик) сигналов/данных отдельных ПТС СИТО<sub>СВ</sub>, для обеспечения которых затрачивают определенные ресурсы. Поэтому ценность той или иной характеристики ТМИ отдельного ПТС определяется ее влиянием на общие показатели ИТО [1]. Причем одинаковые общие показатели ИТО могут быть получены осуществлением разных стратегий. Отсюда — актуальность комплексного подхода к построению стратегий усовершенствования и применения СИТО<sub>СВ</sub>, обеспечивающих требуемые показатели эффективности ИТО [1].

В этой связи отправной точкой создания научно-методического обеспечения построения и развития вышеупомянутых концепции развития СИТО<sub>СВ</sub> и системы стандартов телеметрии являются свойства (характеристики) сигналов/данных СИТО<sub>СВ</sub>, и, соответственно, методы действий над ними.

Аналогичный подход применен в практике построения стандартов (рекомендаций) CCSDS Направления (Area) SLS (см., например, [7–9]; CCSDS — Consultative Committee for Space Data Systems — Консультативный комитет по космическим системам передачи данных, SLS — Space Link Services — Средства космических радиолиний). Его суть заключается в описании *что надо сделать* (т.е. показаны формы и параметры сигналов, структуры и характеристики данных и т.д.) и в отсутствие жесткой регламентации *как это надо сделать*, касающейся схемных решений. Чаще всего схемные решения представлены в упрощенном виде, подобно описываемым в материалах изобретения устройствам, где объек-

том изобретения является лишь способ, чтобы доказать его реализуемость. Преимущества такого подхода заключаются в предоставлении больших возможностей проявления творческой инициативы разработчиками и конструкторами ПТС, а в случае необходимости построения унифицированных ПТС следует рассматривать связанные с унификацией требования как дополнительные ограничения (требования).

Цели  $Cel$  ( $Cel(Cel = \{Pred, Osh, Izb\})$ ) действий над сигналами/данными  $Q^*$  программно-техническими средствами  $R^*$  с использованием методов  $Met^*$ , относящихся к СИТО<sub>СВ</sub>, связаны с решением триединой задачи [1]:

- представление в соответствии с заданной формой (структурой)  $Pred$ ,
- обнаружение и устранение искажений (ошибок)  $Osh$ ,
- создание  $Izb_{\text{соз}}$  и устранение  $Izb_{\text{уст}}$  избыточности  $Izb$  ( $Izb = \{Izb_{\text{соз}}, Izb_{\text{уст}}\}$ ).

Компоненты  $Cel$  взаимосвязаны и противоречивы. Они относятся прежде всего к следующим сигналам/данным, актуальным с точки зрения вышеупомянутых концепции развития СИТО<sub>СВ</sub> и соответствующей ей системы стандартов телеметрии:

- $Q_{\text{ТМИ\_ПП}}$  — первичные сигналы [3] (сигналы на выходе датчиков);
- $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$  — данные кодов параметров, полученные преобразованием первичных сигналов (в частности, квантованием первичных сигналов по уровню);
- $Q_{\text{ТМИ\_КП\_2}}$  — данные  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$ , сжатые обратимыми методами;
- $Q_{\text{ТМИ\_КП\_3}}$  — интегральные характеристики (ИХ), полученные преобразованием данных  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$  (данные, сжатые необратимыми методами);
- $Q_{\text{ТМИ\_КП\_4}}$  — данные  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_3}}$ , сжатые обратимыми методами;
- $Q_{\text{ТМИ\_КП\_5}}$  — данные, выбранные из  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$ ,  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_2}}$ ,  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_3}}$  и  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_4}}$  путем исключения избыточных (с точки зрения анализа) данных;
- $Q_{\text{ТМИ\_ТС}}$  — телеметрические слова для размещения в них данных  $Q_{\text{ТМИ\_КП}}$ ;
- $Q_{\text{ТМИ\_БД}}$  — блоки данных для размещения в них телеметрических слов  $Q_{\text{ТМИ\_ТС}}$ ;

–  $Q_{\text{ТМИ\_ГС\_прд}}$  — групповой сигнал, формируемый на передающей стороне;

–  $Q_{\text{ТМИ\_ер\_прд\_обр}}$  — групповой сигнал обработанный (сверточное кодирование, фильтрация и т. д.), т. е. предварительная обработка модулирующего сигнала;

–  $Q_{\text{ТМИ\_мод}}$  — сигналы на выходе модулятора (методы модуляции, подавленная несущая или остаточная несущая и т. д.);

–  $Q_f$  — сигналы несущих и поднесущих частот;

–  $Q_{\text{ТМИ\_мод\_обр}}$  — обработанные сигналы  $Q_{\text{ТМИ\_мод}}$  (подавление одной из боковых полос, устранение внеполосных излучений и т. д.);

–  $Q_{\text{ТМИ\_рег}}$  — ТМИ на выходе наземной ПРС (структура регистрируемой ТМИ);

–  $Q_{\text{ТМИ\_ом}}$  — ТМИ обобщенного массива данных телеизмерений (ТМИ на выходе ПТС ФОМДТ); желательно, чтобы структуры  $Q_{\text{ТМИ\_рег}}$  и  $Q_{\text{ТМИ\_ом}}$  были одинаковыми.

При формулировании положений отечественных стандартов телеметрии необходимо рассматривать комбинирование компонент целей  $Cel$  и сигналов/данных  $Q_{\text{ТМИ}}$ , направленное на существенное замедление роста суммарной скорости передачи данных телеизмерений по каналам «борт–Земля» и сокращение количества каналов разносения при увеличении количества ТМП, обеспечивающее существенное сокращение потерь ТМИ в условиях жестких ограничений ресурсов, выделяемых для решения задач ИТО (обеспечивающих требуемые показатели эффективности ИТО [1]).

Вышеупомянутое комбинирование необходимо осуществлять с учетом системного подхода к построению СИТО<sub>СВ</sub>, поэтому целесообразен подход [10], аналогичный применяемому при разработке функциональных стандартов, профилей [11]. Профиль — это совокупность базовых стандартов, ориентированная на выполнение определенной прикладной, коммуникационной функции или на построение системы [11, с. 9]. Функциональный стандарт — это стандарт, охватывающий несколько профилей, как правило, одной группы и устанавливающий взаимосвязь между ними путем определения их общих и специфических частей [11, с. 16].

Обращено внимание [10] на то, что относительная многочисленность структур ТМИ в оте-

чественной телеметрии, относящейся к средствам выведения, связана с установившейся практикой их разработки предприятиями ракетно-космической отрасли без использования единых правил разработки, зачастую без учета интересов смежников. При этом международный и зарубежный опыт (в частности, CCSDS, IRIG) свидетельствует о том, что разработанные по единым (и рациональным) правилам структуры ТМИ могут быть (и должны быть) одновременно и более многочисленными, и успешно адаптирующимися к выполняемым задачам ИТО [10].

Актуален также опыт CCSDS, касающийся экспериментальных результатов [12], представленных в Оранжевых книгах CCSDS (см., например, [13, 14]).

Экспериментальная работа CCSDS основана на «предполагаемых» требованиях. В процессе ее выполнения возможно изучение перспективы или демонстрация технической исполнимости в ожидании «жесткого» требования, которое еще не появилось. Аналогичная работа в отечественной практике могла бы выполняться в ходе НИОКР. Обычно Оранжевые книги трансформируют в Синие или Пурпурные книги (рекомендации и лучшие практики CCSDS соответственно), в качестве примера см. LDPC-кодирование [8, 14]. По правилам до публикации Синей книги CCSDS должен существовать по крайней мере один аппаратный или программный прототип (или другое исполнение), который демонстрирует и осуществляет все опции и особенности спецификации в оперативно уместной среде (или реальной, или моделируемой). Другими словами, до формулирования тех или иных положений отечественных стандартов телеметрии необходима более чем однократная реализация соответствующих технических решений, причем независимыми исполнителями, например в ходе выполнения НИОКР.

Следовательно, при формулировании положений отечественных стандартов нужно рассматривать апробированные элементы СИТО<sub>СВ</sub> (т. е. существующие элементы или те, по которым принято решение о внедрении). В частности, элементы, связанные с БРТС типа «Орбита» [15] и БРС-4 [16]. Такой подход позволит добиться следующего:

– получить необходимый опыт разработки отечественных стандартов;

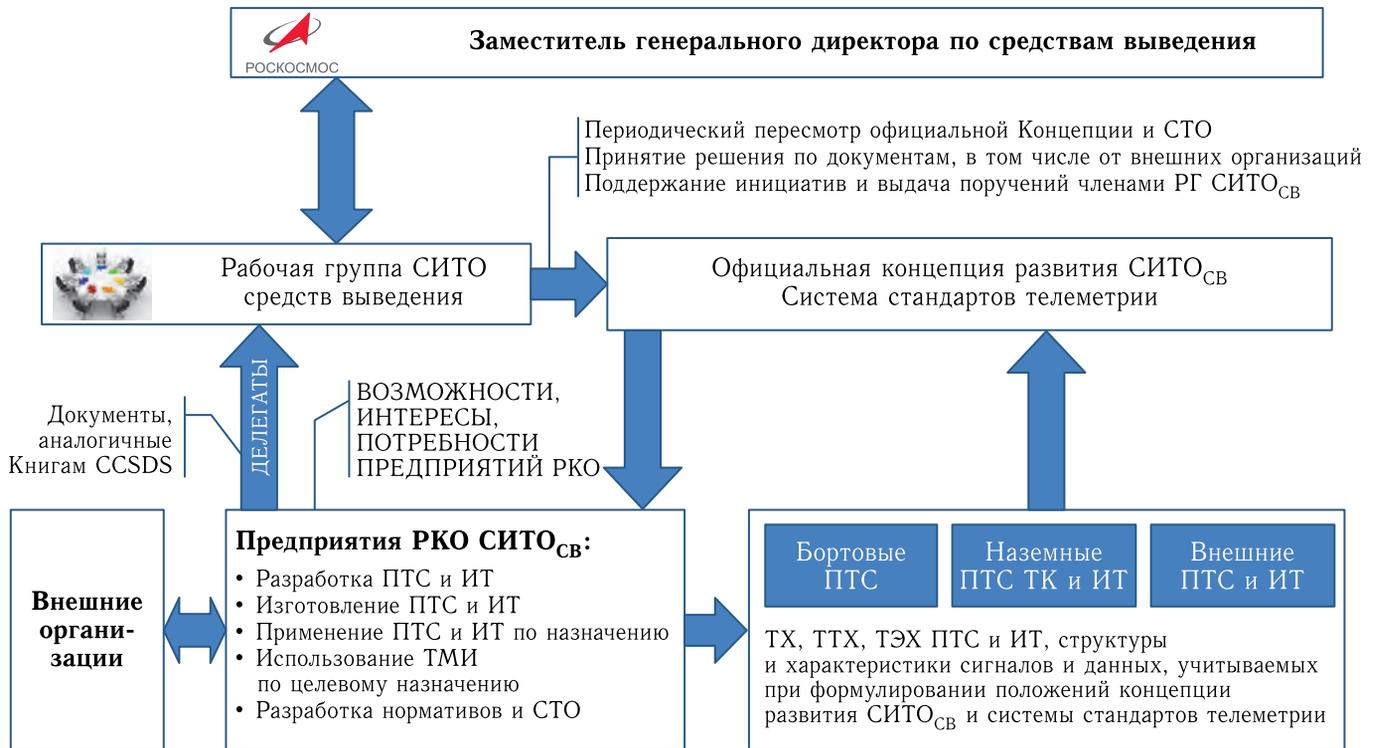


Рис. 2. Организации (предприятия). Рабочая группа «СИТО<sub>СВ</sub>»: отношения и зоны ответственности

– прекратить внедрение первичных преобразователей, БРТС и ПТС ТК нестандартных разработок, значительно ухудшающее эффективность процесса развития СИТО<sub>СВ</sub> (особенно в условиях подготовки к решению новых задач ИТО).

Показано [17], что в существующих условиях отсутствия необходимых отечественных стандартов телеметрии необходимым условием актуальности рекомендаций CCSDS при построении СИТО<sub>СВ</sub> является улучшение их технических характеристик. При обосновании выбора технических решений CCSDS (соответствующих им рекомендаций CCSDS) нужно также учитывать особенности российской практики построения СИТО<sub>СВ</sub> и установленный CCSDS порядок использования рекомендаций CCSDS.

Следует заметить, что обычно стандарты космических агентств не являются копиями рекомендаций (стандартов) CCSDS. Так, стандарт CCSDS 401.0-B [7] использован в качестве нормативного документа, составляющего основу стандарта ECSS-E-50-05 [18] Европейского космического агентства.

Следует также заметить, что рекомендации (стандарты) CCSDS ориентированы на космические аппараты, а стандарты IRIG [19], разработанные рабочей группой под эгидой Совета начальников полигонов Министерства обороны США — на средства выведения (прежде всего на МБР).

Необходимы организационные меры по управлению (менеджменту) процессом развития концепции и стандартов, а также по контролю за практическим выполнением представленных в них требований (рис. 2). Для этого целесообразно создать рабочую группу «СИТО<sub>СВ</sub>» из квалифицированных разносторонних специалистов-экспертов предприятий ракетно-космической отрасли с делегированием функций председателя рабочей группы и секретариата одному из этих предприятий.

В дальнейшем нужно определить порядок формирования рабочей группы, регламент ее работы, финансирование (здесь весьма актуален опыт Рабочих групп CCSDS). Предполагается, что принятые рабочей группой решения утверждает руководитель департамента (подразделения) Госкор-

порации «Роскосмос», в зоне ответственности которого находится информационно-телеметрическое обеспечение отработки средств выведения.

## Выводы

– Необходимо научно-методическое обеспечение процесса развития СИТО<sub>СВ</sub>, ориентированное на построение относительно компактного телеметрического комплекса космодрома, инвариантного к изменяющимся задачам ИТО;

– повышение эффективности решения задач ИТО связано с вышеупомянутой инвариантностью и обеспечивается осуществлением стратегий управления избыточностью данных телеизмерений, реализующих возможности существенного замедления роста суммарной скорости передачи данных телеизмерений по каналам «борт–Земля» и сокращения количества каналов разнесения при увеличении количества телеметрируемых параметров, а также применением унифицированных структур ТМИ и методов действий над ТМИ;

– повышение эффективности решения задач ИТО связано также с существенным уменьшением потерь телеметрической информации и также обеспечивается осуществлением вышеупомянутых стратегий управления избыточностью данных телеизмерений;

– необходимые меры по развитию СИТО<sub>СВ</sub> должны осуществляться через официальную концепцию развития СИТО<sub>СВ</sub> и соответствующую ей систему стандартов телеметрии, отражающих сущности вышеупомянутого научно-методического обеспечения процесса развития СИТО<sub>СВ</sub> и, соответственно, стратегий управления избыточностью данных телеизмерений;

– при разработке концепции развития СИТО<sub>СВ</sub> и соответствующей ей системы стандартов телеметрии целесообразно использовать международный и зарубежный опыт (в частности, CCSDS и IRIG), учитывая при этом специфику отечественной телеметрии, относящейся к средствам выведения;

– для управления (менеджмента) процессом развития концепции развития СИТО<sub>СВ</sub> и соответствующей ей системы стандартов телеметрии, а также для контроля за практическим выполнением

представленных в них требований необходимо создать рабочую группу «СИТО<sub>СВ</sub>» из квалифицированных разносторонних специалистов-экспертов предприятий ракетно-космической отрасли, предварительно определив порядок ее формирования, регламент работы и финансирование.

## Список литературы

1. *Воронцов В. Л.* Система информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения. Стратегии усовершенствования и применения. М.: Горячая линия — Телеком, 2021. 236 с.
2. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский (предс.) и др. М.: Машиностроение. Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
3. ГОСТ 19619-74. Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения. М., 1988. 26 с.
4. *Артемов В. Ю., Воронцов В. Л.* О стандартизации, эффективности, целях и стимулах, касающихся развития отечественной телеметрии, относящейся к ракетно-космической и ракетной технике // *Электронный журнал «Труды МАИ»*. 2011. № 44. С. 1–15.
5. *Порошков В. В.* Создание ПИК для РКК «Энергия»–«Буран». В сб. Измерительный комплекс космодрома «Байконур» / Под общ. ред. К. Х. Осканяна. Байконур: Войсковая часть 68526, 1999. С. 124–181.
6. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский (предс.) и др. М.: Машиностроение. Т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. 328 с.
7. Radio Frequency and Modulation Systems. Part 1: Earth Stations and Spacecraft, Recommendation for Space Data System Standards CCSDS 401.0-B-23, Issue 23, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, December 2013.
8. TM Synchronization and Channel Coding, Recommended Standard CCSDS 131.0-B-2, Issue 2, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, August 2011.
9. Lossless Data Compression, Report Concerning Space Data System Standards CCSDS 120.0-G-1, Issue 1, Green Book, Consultative Committee for Space Data Systems, May 1997.

10. *Артемьев В. Ю., Воронцов В. Л.* О подходах к разработке отечественного стандарта по телеметрии в ракетно-космической и ракетной технике // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 1. С. 32–38.
11. *Шербо В. К.* Стандарты вычислительных сетей. Взаимосвязи сетей. Справочник. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000. 272 с.
12. Restructured Organization and Processes for the Consultative Committee for Space Data Systems CCSDS A02.1-Y-2, Issue 2, Yellow Book, Consultative Committee for Space Data Systems, April 2004.
13. Correlated Data Generation, Research and Development for Space Data System Standards CCSDS 551.1-O-2, Issue 2, Orange Book, Consultative Committee for Space Data Systems, August 2020.
14. Low Density Parity Check codes for Use in Near-Earth and Deep Space Applications, Research and Development for Space Data System Standards CCSDS 131.1-O-1, Issue 1, Orange Book, Consultative Committee for Space Data Systems, August 2006.
15. Аппаратура бортовая «Орбита-ИВМО». Руководство по эксплуатации ЯГАИ.460800. 001 РЭ, Ч. 1 и Ч. 2, 2001 г.
16. *Победоносцев В. А.* Очерки истории развития отечественной ракетной радиотелеметрии (1946–2006 гг.) и место системы БРС-4 в этой истории. М.: Тривант, 2007. 160 с.
17. *Воронцов В. Л.* Анализ возможностей использования рекомендаций CCSDS с целью улучшения технических характеристик отечественных космических радиолиний, предназначенных для передачи телеметрической информации с объектов различного назначения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2016. Т. 3. Вып. 2. С. 66–72.
18. Radio frequency and modulation, ECSS-E-50-05A, European Cooperation for Space Standardization, 24 January 2003.
19. Telemetry Group, Range Commanders Council, Telemetry Standards (Part 1), IRIG Standard 106-07, Range Commanders Council, U.S. Army White Sands Missile Range, New Mexico, September 2007.