

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

УДК 621.396 DOI 10.30894/issn2409-0239.2022.9.1.42.54

Подходы к регламентированию процесса развития средств
информационно-телеметрического обеспечения
отработки объектов ракетно-космической техники

В. Л. Воронцов, к. т. н., vorontsov_vl@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

Е. В. Медведев, medvedev_ev@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Показано, что необходимым условием результативного управления процессом развития средств информационно-телеметрического обеспечения отработки различных объектов ракетно-космической техники (*средств ИТО*) является его регламентирование. Сущности регламентирования неочевидны вследствие многообразия объектов, *средств ИТО*, задач ИТО, условий решения этих задач, поэтому для его осуществления целесообразно структурирование *средств ИТО*, т. е. группирование отдельных средств по системам информационно-телеметрического обеспечения отработки определенных объектов (СИТО). Предложенный подход к структурированию *средств ИТО* позволяет определить направления развития отдельных элементов (отдельных *средств ИТО*) в составе СИТО, причем исходя из множества анализируемых альтернативных стратегий совершенствования и применения этих СИТО, оценивая эти стратегии с использованием разработанного комплекса универсальных общих (обобщенных) показателей, базирующихся на теории оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем. Для отдельной СИТО актуальны ее официальная концепция развития (с указанием перспективных направлений развития) и базирующаяся на ее положениях система стандартов телеметрии. Наиболее благоприятные условия для решения задачи регламентирования связаны с системой информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения (СИТО_{СВ}).

Ключевые слова: информационно-телеметрическое обеспечение, программно-технические средства, система, структурирование, телеметрируемый объект, телеметрическая информация, телеметрический комплекс космодрома

Approaches to Regulating the Evolution of Information
and Telemetric Support for the Development of Objects
of Rocket and Space Technology

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

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

I. A. Davydov, Cand. Sci. (Engineering), Davydov_I@npoit.ru

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

E. V. Medvedev, medvedev_ev@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Abstract. It is shown that a necessary condition for effective management of the process of evolution of information and telemetric support (ITS) for the development of various objects of rocket and space technology is its regulation. The essence of regulation is not obvious due to the variety of objects, ITS tools, ITS tasks, conditions for solving these problems. Therefore, for its implementation, it is advisable to structure ITS means, i.e. grouping of individual means according to systems of information-telemetric support for the development of certain objects (SITS). The proposed approach to the structuring of ITS tools makes it possible to determine the directions of development of individual elements (individual ITS tools) as part of the ITS, moreover, proceeding from the set of analyzed alternative strategies for the improvement and application of these ITS, evaluating these strategies using the developed complex of universal (generalized) indicators based on the theory of evaluating the efficiency of operations using technical systems. For a separate SITS, its official development concept (indicating promising development directions) and the telemetry standards system based on its provisions are relevant. The most favorable conditions for solving the regulation problem are associated with the system of information-telemetric support for the development of launch vehicles (SITS_{LV}).

Keywords: information and telemetry support, software and hardware, system, structuring, telemetry object, telemetry information, telemetry complex of cosmodrome

Отдельные средства информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) обработки различных объектов ракетно-космической техники (РКТ) (далее — *средства ИТО*) группируют для решения определенного набора взаимосвязанных задач ИТО. Каждая такая группа является по сути системой ИТО (СИТО).

По аналогии с системой информационно-телеметрического обеспечения обработки средств выведения (СИТО_{СВ}) [1,2] отдельная СИТО — 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 информационно-телеметрического обеспечения обработки определенных объектов ракетно-космической техники (см. «Активные средства» в гл. 4 [3]). К *средствам ИТО* относятся соответствующие программно-технические средства (ПТС), сигналы и данные, методы/алгоритмы действий над сигналами/данными и т.д. Полагаем, что результаты обработки телеметрической информации (ТМИ) системой ИТО используются для усовершенствования РКТ, т.е. осуществляется *обработка* РКТ. При этом рассматриваемые объекты РКТ являются *телеметрируемыми объектами* [4].

Как правило, наблюдаются большие отличия наборов требований, предъявляемых к разным СИТО. При этом (см. ниже) требования к СИТО могут изменяться даже после испытания, после пуска (в зависимости от их исхода). Актуальность структурирования *средств ИТО* обусловлена влиянием следующих факторов:

- многообразие *средств ИТО*, задач ИТО, условий решения этих задач делает неочевидными требования к отдельным *средствам ИТО*;

- однотипные отдельные *средства ИТО* могут быть использованы при решении разнообразных задач ИТО, что осложняет формулирование вышеупомянутых требований;

- важны не свойства (характеристики) отдельных *средств ИТО*, а их влияние на результаты решения текущих задач ИТО; до сих пор отсутствует необходимый научно-методический аппарат для оценивания этого влияния.

В этой связи необходим системный подход к структурированию *средств ИТО* в зависимости от *телеметрируемых объектов* [4], от специфики решаемых задач ИТО, от условий решения этих задач. То есть актуально группирование отдельных *средств ИТО* по определенным системам ИТО обработки разных телеметрируемых объектов ракетно-космической техники.

Один из примеров такого группирования (частный случай) — система информационно-телеметрического обеспечения обработки средств выведения (СИТО_{СВ}) [1]. Она предназначена для решения следующих задач ИТО (рис. 1):

- формирование телеметрической информации (ТМИ) [4] в бортовой радиотелеметрической системе (БРТС) [4];

- приемо-регистрация ТМИ;

- сбор ТМИ в интересах формирования обобщенного массива данных телеизмерений;

- формирование обобщенного массива данных телеизмерений.

Актуальность этих задач обусловлена тем, что с ними связаны значительные потери ТМИ из-за действия неопределенных факторов разной природы [1]. Если эти выделенные задачи ИТО отнести к системе (СИТО_{СВ} [1]), то вход этой системы — первичные сигналы (т.е. выходы датчиков), а ее выход — обобщенные данные телеизмерений (см. рис. 1). Обобщенные данные — это данные, полученные методами разнесенного приема.

Цель настоящей работы — основы научно-методического обеспечения регламентирования процесса развития средств информационно-телеметрического обеспечения обработки объектов ракетно-космической техники путем деления (структурирования) этих средств по их назначению на отдельные системы и формулирования требований (определения направлений развития) для каждой из них.

Предлагаемое регламентирование процесса развития *средств ИТО* осуществляется решением следующих задач:

- деление рассматриваемых *средств ИТО* на отдельные СИТО (структурирование *средств ИТО*);

- обоснование выбора общих (обобщенных) показателей эффективности стратегий усовершен-

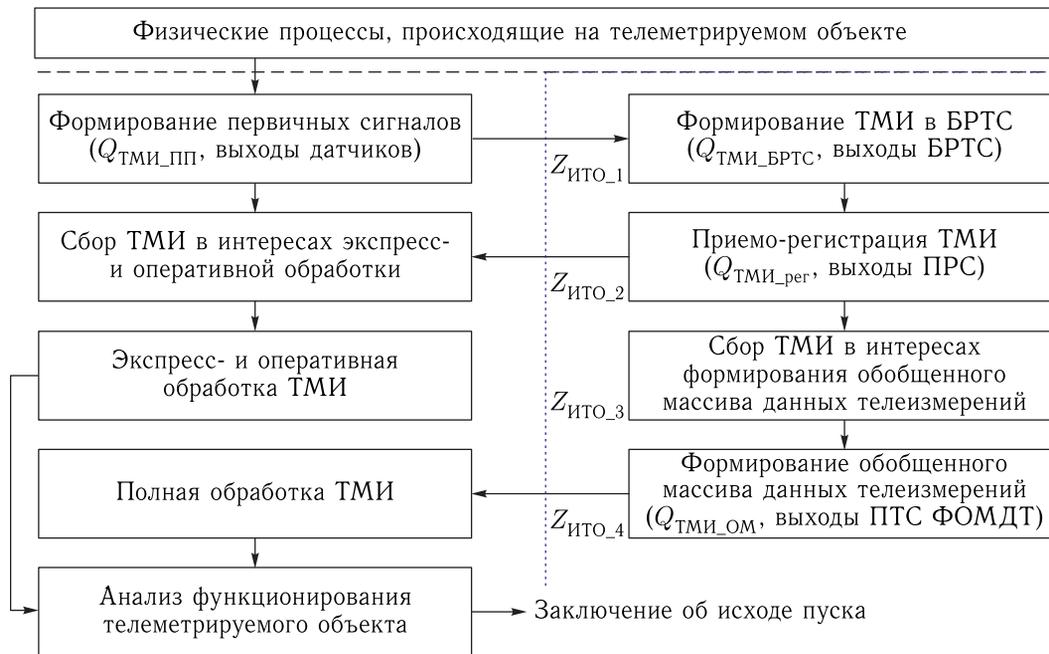


Рис. 1. Задачи информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения

ствования и применения по назначению отдельной СИТО;

- построение стратегий усовершенствования и применения СИТО для последующего их оценивания (с требуемой степенью детализации описания стратегий);

- выбор на основе принятых показателей эффективности рациональных стратегий (обоснование направлений развития отдельных СИТО).

Общие подходы к структурированию *средств ИТО* (деления их на отдельные СИТО) таковы.

С точки зрения решаемой задачи *телеметрируемыми объектами* [4] являются прежде всего ракеты космического назначения (РКН) и межконтинентальные баллистические ракеты (МБР). Актуальность совмещения задач ИТО отработки РКН и МБР связана, в частности, с существующей в настоящее время практикой использования снимаемых с боевого дежурства МБР для запуска малых КА различного назначения, что позволяет не только компенсировать затраты на их утилизацию, но и получить значительные экономические выгоды [5].

Обычный состав РКН — ступени ракеты-носителя (РН), разгонный блок (РБ) и космический аппарат (КА), а МБР — маршевые ступени, ступень разведения и боевые блоки.

В качестве *телеметрируемых объектов* могут быть представлены отдельные части РКН и/или МБР, например двигательные установки (ДУ) в контексте их стендовых испытаний [6], а применяемые при этом *средства ИТО* могут рассматриваться как соответствующая отдельная СИТО_{ДУ}.

Актуальны (с точки зрения настоящей работы) в качестве *телеметрируемых объектов* объекты РКТ, не входящие в состав РКН/МБР, но связанные с ними. Например, стартовые комплексы (СК), шахтно-пусковые установки (ШПУ), элементы самой СИТО_{СВ} [1] («телеметрия телеметрии» [7]). В случае СИТО_{СВ}, в частности, телеметрируется состояние датчиков и элементов БРТС (контроль обрыва или короткого замыкания датчика, коэффициент бегущей волны и т. д.), состояние ПТС телеметрического комплекса космодрома (ТК) (например, уровень сигнала АРУ приемника приемно-регистрирующей станции (ПРС), соотношение сигнал/шум и т. д.).

Специфику задач ИТО (специфику требований к конкретным СИТО) следует увязывать с фазами отработки РКН/МБР, а именно:

- стендовые испытания РКН/МБР и их элементов;

– подготовка РКН к пуску на технической позиции (в монтажно-испытательном корпусе (МИК)) и после размещения на стартовом комплексе (СК);

– летный эксперимент (по программе летного испытания (ЛИ) или штатной эксплуатации (ШЭ)).

При этом облик отдельной СИТО должен определяться из имеющихся возможностей построения этой СИТО и из возможностей повышения качества ИТО использованием данных результатов обработки ТМИ разных СИТО. Так, альтернативой традиционному оборудованию для проведения стендовых испытаний (в части информационно-измерительных средств для получения информации о параметрах и характеристиках систем испытательного стенда и объекта испытания [6]) могут стать ПТС типа АСУ ТП, SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition — система сбора данных и оперативного диспетчерского управления [8]). SCADA-системы — это комплексы ПТС, построенные с учетом требований международного стандарта OPC (OLE for Process Control, Object Linking and Embedding — стандартный интерфейс связывания и внедрения объектов для систем сбора данных и управления) [8]. Результаты стендовых испытаний (например, ДУ РН) могут быть использованы при разработке программы телеметрических измерений (ПТИ) [4] для ЛИ РКН с целью существенного сокращения количества телеметрируемых параметров (ТМП) ДУ во время летного эксперимента без ущерба качеству обработки РКН [9].

При формулировании требований к СИТО_{СВ} [1] нужно также учесть следующее:

– цели и задачи пуска (программа ЛИ или ШЭ);

– исход пуска (штатно, наличие нештатных ситуаций, полетная авария на борту).

Отдельная СИТО, ориентированная на выполнение определенного набора взаимосвязанных задач, может включать в себя более мелкие или быть в составе более крупной СИТО, а отдельные элементы могут быть в составе нескольких СИТО. Такой подход к структурированию *средств ИТО* (с обоснованным включением нужных отдельных средств или элементов в состав соответствующих СИТО) позволяет существенно расширить функциональные возможности СИТО при приемлемом

увеличении затрат материальных ресурсов. Один из примеров — СИТО_{СВ} [1], применяемая как для отработки РКН, так и (обычная для космодромов практика совмещения) для отработки МБР.

Для отдельного типа СИТО (например, СИТО_{СВ} [2]) актуальны ее официальная концепция развития (с указанием перспективных направлений развития) и базирующаяся на ее положениях система стандартов телеметрии, отражающие необходимые требования к СИТО.

Разработанный [1] комплекс показателей СИТО_{СВ} базируется на теории оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем [10], важным достоинством которой является ее практическая направленность.

Его суть состоит в следующем.

Для оценивания результата операции Y , выполненной в соответствии со стратегией u , используют [10] три группы параметров, характеризующих полезный эффект q , материальные затраты C и оперативность T :

$$Y(u) = Y(q(u), C(u), T(u)). \quad (1)$$

Соответственно [10] результат усовершенствования СИТО зависит от выбранной стратегии u_{yc} усовершенствования и заключается в полезном эффекте от усовершенствования (им является улучшение $\Delta Y_{\text{прим}}$ результата от применения усовершенствованной СИТО), в материальных затратах C_{yc} на усовершенствование и в оперативности T_{yc} процесса усовершенствования (при решении практических задач C_{yc} и T_{yc} могут являться затратами и сроками выполнения НИОКР в соответствии с Техническим заданием, или стратегией u_{yc}) [1]:

$$Y_{yc}(u_{yc}) = \langle \Delta Y_{\text{прим}}(u_{yc}), C_{yc}(u_{yc}), T_{yc}(u_{yc}) \rangle, \quad (2)$$

$$u_{yc} \in U_{yc}.$$

Формульное выражение (2) преобразуется в

$$W_{\text{эф}_Y_{yc}} = \langle W_{\text{эф}_\Delta Y_{\text{прим}}}, W_{\text{эф}_C_{yc}}, W_{\text{эф}_T_{yc}} \rangle, \quad (3)$$

где $W_{\text{эф}_Y_{yc}}$ — общий показатель эффективности усовершенствования СИТО,

$W_{\text{эф}_\Delta Y_{\text{прим}}}$, $W_{\text{эф}_C_{yc}}$, $W_{\text{эф}_T_{yc}}$ — частные показатели, соответствующие $\Delta Y_{\text{прим}}$, C_{yc} и T_{yc} , причем

$$W_{\text{эф}_\Delta Y_{\text{прим}}} = \langle \Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}, \Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}, \Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}} \rangle, \quad (4)$$

где $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}$ — показатель улучшения качества данных для решения задач анализа,

$\Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}$, $\Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}}$ — показатели сокращения материальных затрат при решении задач ИТО и повышения оперативности решения задач ИТО (при осуществлении стратегий $U_{\text{прим}}$ применения СИТО) соответственно.

Подставив (4) в (3), получим

$$W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}} = \langle \Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}, \Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}, \Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}}, W_{\text{эф}_C_{\text{ус}}}, W_{\text{эф}_T_{\text{ус}}} \rangle. \quad (5)$$

Установлены [1] следующие правила вычисления общего показателя $W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}}$ (5), базирующиеся на балльных оценках:

- если хотя бы один из показателей $W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}}$ равен «-1», то $W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}} = -1$, или
- если $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}} = \Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}} = \Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}} = 0$, то $W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}} = -1$;
- если иначе, то $W_{U_{\text{ус}}} = 1$.

Стратегии множества $U_{\text{ус}}$ в случае $W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}} = -1$ отбраковываются, а $W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}} = 1$ является необходимым условием их принадлежности к множеству $U_{\text{ус}_\text{рац}}$ рациональных стратегий.

Наиболее важным компонентом при вычислении показателя $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}$ (5) являются характеристики потерь информации или получения дополнительной информации в результате осуществления стратегий усовершенствования $U_{\text{ус}}$ и применения $U_{\text{прим}}$ СИТО_{СВ}.

В частности, вычисление показателей $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}$ для СИТО_{СВ} [1] осуществляют, используя последовательно следующие характеристики:

– $N_i(s)$, $N_j(s)$ — количество ошибок в типовом обобщенном блоке данных, получаемых применением испытуемого алгоритма A_i и базового алгоритма A_j (A_j заменяют алгоритмом A_i при усовершенствовании СИТО_{СВ}); s — состояние помеховой обстановки;

– $\gamma(s)$ — сравнительная характеристика количества ошибок в обобщенном блоке данных;

– $E(s)$ — балльные оценки.

Смысл балльных оценок E ($E = \{-1, 0, 1\}$) состоит в следующем: достоверность, обеспечиваемая испытуемым алгоритмом, существенно лучше обеспечиваемой базовыми алгоритмами ($E = 1$),

существенно хуже ($E = -1$), примерно такая же ($E = 0$). Связь балльных оценок E и показателей $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}$ для СИТО_{СВ} продемонстрирована через соответствующие критерии, модели и методики [1]. Необходимым условием $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma} = 1$ является $E = 1$; $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma} = -1$ при $E = -1$ (соответственно $W_{\text{эф}_Y_{\text{ус}}} = -1$, см. выше).

Предложенный подход к выбору (к разработке) общих показателей СИТО_{СВ} [1] весьма универсален, его целесообразно распространить и на другие типы СИТО. Действительно, любая из них обеспечивает выдачу данных результатов обработки ТМИ *телеметрируемого объекта* для последующего анализа и принятия решений, связанных с обработкой соответствующих объектов РКТ.

Как и в случае СИТО_{СВ} [1], необходимым условием (признаком) рациональной стратегии усовершенствования $U_{\text{ус}}$ (применения $U_{\text{прим}}$) СИТО является *существенное* уменьшение потерь ТМИ (*существенное* увеличение дополнительной ТМИ). Для оценивания потерь ТМИ (получения дополнительной ТМИ) могут быть разработаны соответствующие методики, также оценивание может осуществляться экспертным путем. Например, для СИТО_{СВ} разработана модель источника помех в каналах разнесения, установлены критерии оценок, введены балльные оценки достоверности данных телеизмерений [1]. При этом (как и в случае СИТО_{СВ} [1]) важен выбор свойств (характеристик) сигналов/данных и методов действий над ними, влияющий на общие (обобщенные) показатели СИТО.

При оценивании сопоставляют базовую (базовые) СИТО и испытуемую. В качестве базовой может рассматриваться существующая СИТО, а также варианты модификации СИТО.

Предложенный (см. выше) подход к выбору (к разработке) общих показателей СИТО (аналогично СИТО_{СВ} [1]) позволяет получить следующие преимущества:

– оценить влияние отдельных (усовершенствованных) ПТС на общие показатели СИТО (оценить целесообразность осуществления анализируемой стратегии $u_{\text{ус}}$);

– сформулировать требования к однотипным ПТС в составе разных СИТО (улучшить качество решения задач стандартизации и унификации,

расширив области применения рассматриваемых *средств ИТО*);

– согласовать требования к взаимосвязанным СИТО (использовать возможности взаимовлияния СИТО для улучшения качества каждой СИТО в отдельности, использовать возможности комплексирования СИТО).

Предложенный [1, 11] подход к построению стратегий усовершенствования $U_{\text{ус}}$ и применения $U_{\text{прим}}$ СИТО_{СВ} [1] актуален также для СИТО обработки других объектов ракетно-космической техники.

Разработанный [11] проблемно-ориентированный метод установления ограничений (требований) к комплексированию отдельных *средств ИТО* базируется на системном анализе с использованием проблемно-ориентированных методов морфологического анализа и позволяет целенаправленно конкретизировать сущности ПТС, методов (прежде всего методов действий над ТМИ), структур ТМИ и других элементов (аспектов) стратегий усовершенствования и применения СИТО_{СВ} [1]. При этом реализованы возможности получения конечного (и относительно малочисленного) множества наборов требований (ограничений) к стратегиям применения СИТО_{СВ} [1], имеющим необходимые признаки рациональных стратегий, что существенно сужает границы поиска рациональных стратегий усовершенствования СИТО_{СВ} без ущерба его качеству. Такой подход целесообразно распространить и на другие СИТО, описав с необходимой детализацией сущности стратегий $U_{\text{ус}}$ и $U_{\text{прим}}$ этих СИТО, обратив особое внимание на обоснование выбора свойств (характеристик) сигналов/данных СИТО и методов действий над ними, в результате которого *существенно* уменьшаются потери ТМИ или обеспечивается получение дополнительной (с точки зрения задач анализа) ТМИ и, соответственно, улучшаются общие (обобщенные) показатели (5).

Как и для СИТО_{СВ} [1], для других типов СИТО актуальны официальная концепция развития (с указанием перспективных направлений развития) и соответствующая ей система стандартов телеметрии.

Рассмотрены особенности взаимовлияния систем ИТО с целью более полного использования

функциональных возможностей отдельных СИТО (прежде всего СИТО_{СВ} [1]) регламентированием их развития (аналогично регламентированию процесса развития СИТО_{СВ} [2]), а в итоге — улучшения обобщенных (общих) показателей СИТО (5). Вышеупомянутое регламентирование заключается в целенаправленном использовании знаний, полученных от СИТО_{*i*} для последующего улучшения качества СИТО_{*j*}, и знаний, связанных с СИТО_{*j*}, — для улучшения качества СИТО_{*i*}. Чтобы результативно использовать эти знания, необходимы соответствующие инструменты доступа к ним (базы данных или массивы данных, ПТС обмена данными и т. д.) специалистов, решающих задачи усовершенствования СИТО_{*i*} и СИТО_{*j*}.

1. СИТО_{СВ} и СИТО_{КА}.

Следует обратить внимание на разнообразие сущностей элементов РКН и МБР, рассматриваемых как *телеметрируемые объекты* [4], порождающее соответствующую специфику решения задач ИТО. При этом (осложняющий решение задач ИТО фактор) РН, РБ и КА входят в состав РКН, а КА не относится к средствам выведения и, следовательно, не является (если подходить строго) *телеметрируемым объектом* для СИТО_{СВ} [1]. В то же время практикуется подключение некоторых датчиков последней ступени РН к БРТС КА. Приходится решать задачи ИТО (приемо-регистрация, сбор ТМИ и т. д.) с применением ПТС ТК, осуществляя действия над ТМИ, поступающей с КА. Также задача более полного интегрирования средств ИКК и НАКУ КА с целью экономии ресурсов остается актуальной (ИКК — измерительный комплекс космодрома, НАКУ КА — наземный автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами). При этом в состав ПТС СИТО_{КА} обязательно входят БРТС КА и ПТС НАКУ КА, связанные с ТМИ.

Основные особенности условий, осложняющих развитие СИТО_{КА}, состоят в следующем:

– многотипность КА (КА существенно отличаются по целевому назначению, по массе и габаритам, по орбитам и т. д.);

– непрерывный и трудоемкий процесс управления многоспутниковыми орбитальными группировками КА (например, для управления относительно малочисленной группировкой в количестве

~150 отечественных КА, НАКУ КА выполняет до 2 тысяч сеансов в сутки [12]);

- каждый ЦУП КА имеет свою специфику решения задач (в том числе задач ИТО);

- рост численности КА, находящихся на орбите (в частности, в рамках проекта Starlink компания SpaceX планирует запустить почти ~ 12 тысяч спутников на околоземную орбиту к середине 2020-х гг., в настоящее время на орбите находится более 1600 КА; в рамках программы «Сфера» до 2030 г. планируется иметь группировку численностью более 600 КА);

- построение орбитальных группировок в виде кластеров КА (под кластером понимается совокупность КА различного целевого назначения, применяемых для выполнения общей задачи, управляемых как единый космический объект и воспринимаемых потребителем как единое целое [13]).

В настоящее время имеют место тенденции, усугубляющие показанные выше условия развития СИТО_{КА}. Особенно ярко они проявляются в процессе развития орбитальных группировок в виде кластеров КА. Обращено внимание [13] на эффект эмерджентности (на системный эффект), приводящий к повышению эффективности группировки КА. При этом существенно усложняются задачи ИТО (соответственно изменяются требования к СИТО_{КА}), а именно: необходим не только контроль состояния и функционирования каждого КА, но и контроль состояния линий связи, оценка состояния кластера в целом, оценка выполнения целевой задачи [13].

Мировая тенденция развития орбитальных группировок в виде кластеров КА охватывает и отечественное спутникостроение. Осуществление проекта создания космической инфраструктуры «Сфера», включающей ряд отдельных космических систем ДЗЗ, связи и навигации, позволит получить качественно новые для отечественной космической отрасли продукты и услуги, если удастся построить не набор разрозненных средств, обеспечивающих получение частных результатов и развитие известных сервисов, а единую систему, обладающую свойством целостности (свойством эмерджентности) [14]. Специалисты считают, что от реализации проекта «Сфера» во многом зависит, по какому пути пойдет не только российская космонавтика, но и вся

экономика [14]. Отсюда актуальность отражения технической идеологии создания орбитальных группировок в виде кластеров КА в стратегиях построения перспективных СИТО_{КА}.

Как и в случае с СИТО_{СВ} [2], при построении СИТО_{КА} важен адекватный выбор свойств (характеристик) сигналов/данных и, соответственно, методов действий над ними, улучшающий общие (обобщенные) показатели эффективности СИТО_{КА} (5).

Существующие условия и тенденции, влияющие на процесс развития СИТО_{КА} (см. выше), обостряют проблему необходимости применения многочисленных структур ТМИ. Показан [15] выход из этой ситуации, заключающийся в установлении четких (недвусмысленных) правил формирования структур ТМИ с использованием в их составе справочных данных, содержащих сведения о структуре ТМИ. При этом относительно небольшой объем справочных данных позволяет отвлекать вполне приемлемые ресурсы для обеспечения необходимой оперативности их формирования, а также для осуществления с их использованием контроля и управления наземными средствами. Разработанные по единым (и рациональным) правилам структуры ТМИ могут быть одновременно и более многочисленными, и успешно адаптирующимися к выполняемым задачам ИТО. Такие правила применяют, в частности, при осуществлении технологии пакетной телеметрии CCSDS [16].

Определение возможностей использования известных и успешно применяемых в определенных областях технологий (типа вышеупомянутой технологии пакетной телеметрии CCSDS [16]) для установления свойств (характеристик) сигналов/данных, содержащих ТМИ, и методов действий над ними нужно осуществлять с учетом структурирования множества СИТО_{КА} (скорее всего, понадобится деление всего рассматриваемого множества систем на отдельные системы СИТО_{КА}, сущности этого деления неочевидны). При этом задача взаимодополнения СИТО_{СВ} и СИТО_{КА} (задача более полного интегрирования средств ИКК и НАКУ КА) является актуальной, но осложняющей процесс развития СИТО_{КА} и СИТО_{СВ}.

2. СИТО_{СВ} и СИТО_{СИОРКТ} (СИТО_{СИОРКТ} — системы ИТО стендовых испытаний объектов РКТ).

потерь ТМИ в процессе летного эксперимента (см. $\Delta W_{эф.W_{ан.Σ}}$ (5)) из-за их отказов или аномального функционирования.

В состав типичного ПТС СИТО_{МИК} (см. рис. 2) [17] входят ПРС, устройство связи с испытуемым объектом (УСО) и автоматизированная система контроля системы измерений ракеты-носителя (АСК СИ РН). ПРС предназначены для приема-регистрации ТМИ, поступающей от бортовой информационно-телеметрической системы (БИТС) [4] или от БРТС при размещении испытуемой РН (испытуемого объекта) в МИКе и от БРТС — при размещении на СК. УСО формирует в заданные моменты времени команды управления, инициируемые АСК СИ РН, имитирующие команды бортового программно-временного устройства, обеспечивающие установление режимов работы бортовой системы измерений (включая БРТС), соответствующих программе испытаний. В АСК СИ РН осуществляется также обработка ТМИ, поступающей с выходов ПРС.

По сути, СИТО_{МИК} (см. рис. 2) является типичной АСУ ТП. Соответственно применение элементов современных АСУ ТП (типа интерфейса ОРС, SCADA-систем [8]) при построении систем СИТО_{МИК} позволит типизировать СИТО_{МИК} и их элементы, а применение унифицированных структур ТМИ (прежде всего формируемых БРТС и ПРС) для разнотипных РКН существенно расширит возможности уменьшения разнотипности СИТО_{МИК}.

С точки зрения выгод от использования взаимовлияния СИТО_{СВ} и СИТО_{МИК} проанализировано [18] включение дополнительных ПРС (из состава ПТС СИТО_{МИК}) в состав ТК на время летного эксперимента. Оно нецелесообразно по следующим причинам [18]:

- имеет место большая вероятность накладок из-за совпадения по времени задач ИТО, решаемых СИТО_{МИК} и СИТО_{СВ};

- СИТО_{МИК} и СИТО_{СВ} экономически целесообразно комплектовать программно-техническими средствами с учетом специфики решаемых задач (как это и делается в настоящее время), в частности в составе СИТО_{МИК} используют менее дорогие, но и менее эффективные антенные системы, не применяют устройства автовыбора в ПРС — и т. д.;

- принадлежность СИТО_{МИК} и СИТО_{СВ} разным предприятиям существенно усложнит организацию управления технологическими процессами, осуществляемых с их применением;

- технологии применения СИТО_{МИК} и СИТО_{СВ} существенно отличаются; потребуются дополнительные знания и навыки обслуживающего персонала СИТО_{МИК} (это усложнит его задачи, создаст предпосылки к ошибочным действиям).

При решении задач ИТО после установки РКН на СК система СИТО_{МИК} применяется для контроля готовности ДПА, БРТС, а СИТО_{СВ} — для проверки готовности ПТС ТК к работе по пуску.

По необходимости применяют технологии контроля функционирования бортовых систем (в том числе бортовой системы измерений) в полетное время специалистами, отвечающими за подготовку этих систем на технической позиции (в МИКе), с использованием возможностей ТК. В этом случае СИТО_{МИК} заменяют (дополняют) средствами СИТО_{СВ}. Вышеупомянутые специалисты получают в виде формуляров данные результатов обработки ТМИ в ВЦ космодрома, передаваемые по каналам связи.

Обеспечен доступ специалистов-анализаторов [1], решающих задачи анализа функционирования бортовых систем РН в полетное время, к ТМИ, зарегистрированной ПРС из состава СИТО_{МИК}, и к данным результатов обработки ТМИ, полученных от системы АСК СИ РН, при подготовке РН к пуску в МИКе и на СК. Таким образом, в частности, в случае полетной аварии РКН расширяются возможности понимания ее предыстории.

Из представленного выше краткого анализа следует, что с точки зрения уменьшения разнотипности СИТО_{МИК} и расширения возможностей использования взаимовлияния СИТО_{СВ} и СИТО_{МИК} актуально применение унифицированных структур ТМИ (прежде всего формируемых БРТС и ПРС) для разнотипных РКН. Также при построении СИТО_{МИК} актуальны элементы современных АСУ ТП.

4. СИТО_{СВ} и СИТО_{МКСР}.

Средства многофункциональной космической системы ретрансляции (МКСР) типа TDRSS или «Луч» (отечественный аналог) могут быть включены в состав СИТО_{СВ} в качестве ее внешних

ПТС [1]. Их уместно рассматривать как ПТС СИТО_{МКСР}. В этой связи обращено внимание [1] на следующие два аспекта:

- использование спутников-ретрансляторов (СР) для непосредственной ретрансляции ТМИ РКН (МБР) рассматривается как альтернативные варианты другим стратегиям сбора, основным, в частности, на применении временных измерительных пунктов и подвижных измерительных комплексов (автомобильных, авиационных, корабельных); обоснования целесообразности применения МКСР в основном сводятся к сокращению ПТС ТК и, соответственно, к уменьшению материальных затрат на его содержание;

- использование МКСР типа TDRSS или «Луч» лишь для сбора ТМИ РКН/МБР (лишь в качестве СИТО_{МКСР}) экономически нецелесообразно; поэтому при построении МКСР актуальна задача, касающаяся сбора как ТМИ обычно обрабатываемых РКН (МБР), так и информации объектов, иных по сути (в частности, рассматриваемых при интегрировании средств ИКК и НАКУ КА).

Для подключения ПТС СИТО_{МКСР} к выходу БИТС в качестве средства согласования используют абонентскую аппаратуру ретрансляции (ААР) (рис. 3), которая необходима вследствие существенных различий радиоканалов «борт–Земля» (при непосредственной передаче ТМИ от БРТС к наземным ПРС телеметрического комплекса космодрома) и «борт–СР–Земля» (при задействовании СИТО_{МКСР}). Для приемо-регистрации ТМИ, осуществляемой ПТС СИТО_{МКСР}, применяют ПТС, отличающиеся от ПРС из штатного состава ТК (назовем их ПРС_{МКСР}). При этом актуально взаимодополнение ТМИ, принятой ПРС и ПРС_{МКСР} в полетное время, без дополнительного кодо-

преобразования ТМИ ПРС_{МКСР} (т.е. ТМИ ПРС и ПРС_{МКСР} по своей структуре и содержанию должна быть одинаковой). Необходимым условием такой одинаковости является передача в полном объеме данных телеизмерений с выхода БИТС через ААР на СР (см. рис. 3). Однако в настоящее время возможности обеспечения относительно высокой скорости передачи данных телеизмерений по каналам «борт–Земля» существенно выше, чем по каналам «борт–СР–Земля». Так, скорость передачи данных с выхода БИТС «Орбита IV» [19] равна ~3,14 Мбит/с, для передачи ТМИ с РН «Ангара-А5П» через ААР потребовалось ее уменьшить в 8 раз (3,14 Мбит/с : 8 ≈ 393 кбит/с). Существующая тенденция роста скорости передачи данных телеизмерений по каналам «борт–Земля» осложняет ситуацию [1]. Предложенные [1] способы ее улучшения связаны с применением управляемого фактора сдерживания вышеупомянутой тенденции роста — с осуществлением стратегий управления избыточностью данных телеизмерений.

Таким образом, наиболее действенные меры по расширению возможностей использования взаимовлияния СИТО_{СВ} и СИТО_{МКСР} связаны с применением унифицированных структур ТМИ, формируемых БИТС, ПРС_{МКСР} и ПРС, а также с осуществлением стратегий управления избыточностью данных телеизмерений [1], создающих благоприятные условия для взаимодополнения ТМИ, принятой в полетное время ПРС и ПРС_{МКСР}.

5. СИТО_{СВ} и СИТО_{МСЭ} (СИТО_{МСЭ} — системы ИТО мониторинга состояния элементов ПТС СИТО_{СВ}).

В рассматриваемом случае *телеметрируемые объектами* [4] системы СИТО_{МСЭ} [7] являются отдельные ПТС из состава СИТО_{СВ}. Результаты

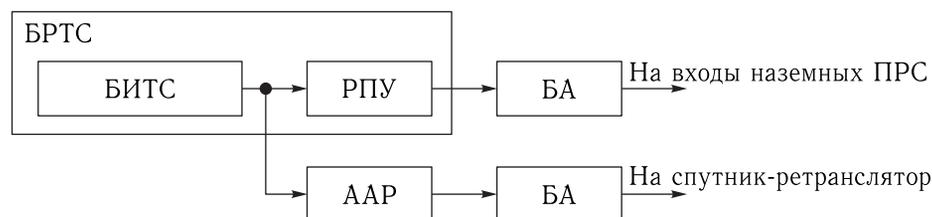


Рис. 3. Схема, поясняющая подключение ПТС СИТО_{МКСР} к выходу БИТС (РПУ — радиопередающее устройство, БА — бортовая антенна)

телеметрирования самой СИТО_{СВ} («телеметрия телеметрии» [7], см. выше) могут быть использованы следующим образом:

- для оперативного управления работой СИТО_{СВ} в полетное время [1] (для оперативного конфигурирования СИТО_{СВ} с учетом исправности ее отдельных ПТС);

- для оценивания влияния искажений, приносимых СИТО_{СВ}, на достоверность данных результатов обработки ТМИ (на результаты анализа, см. $\Delta W_{эф_W_ан_Σ}$ (5));

- для сбора статистических сведений с целью выработки мер по развитию [1] СИТО_{СВ}.

Так как данные, относящиеся к СИТО_{МСЭ}, циркулируют в СИТО_{СВ}, то логично включить СИТО_{МСЭ} в состав СИТО_{СВ} в качестве подсистемы, возможно, выделив в ней три подсистемы (в соответствии с показанным выше использованием результатов телеметрирования элементов СИТО_{СВ}). Тогда стратегии усовершенствования СИТО_{СВ} путем совершенствования ее подсистемы СИТО_{МСЭ} связаны с определением состава контролируемых (телеметрируемых) параметров системы СИТО_{СВ}, форматов формируемых данных, соответствующих этим контролируемым параметрам (назовем их «данные СИТО_{МСЭ}»), и скорости формирования данных СИТО_{МСЭ} с обеспечением формирования и передачи (и при этом совмещении и разделении) потоков данных СИТО_{МСЭ} и ТМИ РКН/МБР. Для результативного осуществления вышеупомянутых стратегий усовершенствования СИТО_{СВ} (см. показатели (5)) необходимо научно-методическое обеспечение процесса развития СИТО_{СВ} с учетом функций (задач), относящихся к СИТО_{МСЭ}, с учетом действий над выходными данными СИТО_{МСЭ}.

6. СИТО_{СВ} и СИТО_{СК} (СИТО_{ШПУ}).

Телеметрируемыми объектами [4] для систем СИТО_{СК} и СИТО_{ШПУ} являются СК РКН и ШПУ МБР соответственно. Количество ТМП при применении СИТО_{СК} значительно больше, чем при применении СИТО_{ШПУ}.

Обычно в состав СИТО_{ШПУ} входят БРТС, размещаемая в безопасном месте, и ПРС ТК (т. е. технология формирования, сбора и обработки ТМИ с ШПУ такая же, как и ТМИ с РКН/МБР).

При этом контроль ШПУ осуществляется на относительно коротком временном интервале (~200 с).

Контроль состояний систем СК в процессе решения задач на СК (в том числе при подготовке РКН к пуску) относительно продолжителен и длится часами. При этом актуальны отображение состояний систем СК с использованием мнемосхем, выдача необходимых управляющих воздействий или предупреждающих об опасности сигналах и т. д. (т. е. актуальны атрибуты и технологии АСУ ТП, SCADA-систем, аналогичные рассмотренным случаям их применения, см. выше). При разработке стратегий усовершенствования СИТО_{СК} целесообразно проанализировать возможности использования в ее составе традиционных ПТС СИТО_{СВ} (в частности, БРТС, ПРС, как в случае СИТО_{ШПУ}). Так как условия применения БРТС из состава предполагаемой СИТО_{СК} и из состава СИТО_{СВ} существенно отличаются, то и требования к ним должны совпадать лишь в части структуры формируемой ими ТМИ, причем целесообразно применение унифицированных структур.

Показатели эффективности стратегий усовершенствования СИТО_{СК} (СИТО_{ШПУ}) и описанных выше других СИТО аналогичны (5). Ценность стратегий определяется прежде всего информацией для анализаторов (для принятия решения), содержащейся в выходных данных СИТО_{СК} (СИТО_{ШПУ}) (см. $\Delta W_{эф_W_ан_Σ}$ (5)).

Отмечается [2] важность адекватного выбора свойств (характеристик) сигналов/данных СИТО_{СВ} и, соответственно, методов действий над ними, улучшающего общие (обобщенные) показатели эффективности СИТО_{СВ} [1], что (как видим) важно и для любой другой СИТО.

Показано [1], что задачи ИТО и способы их решения, связанные с применением СИТО_{СВ}, весьма уникальны, поэтому целесообразно наделять ее элементы соответствующими специфическими свойствами, базирующимися на проблемно ориентированных методах. В то же время в современной практике решения задач ИТО широко применяются универсальные ПТС и ИТ (в частности, ПЭВМ, общее ПО, стандартные протоколы обмена данными). Применяют также внешние [1] ПТС (типа МКСП, см. выше). Преимущества уникальных элементов СИТО_{СВ}, связанных с проблемно

ориентированными методами, заключаются в более полном учете сущностей решения задач ИТО, а их обычный недостаток — высокая стоимость из-за производства малыми партиями или штучного производства.

Следовательно, при разработке концепции развития СИТО_{СВ} и соответствующей ей системы стандартов телеметрии целесообразно не только использование стандартов, относящихся к смежной по отношению к СИТО_{СВ} области (типа АСУ ТП и др.), но и стремление распространить влияние положений предполагаемых стандартов телеметрии, относящихся к СИТО_{СВ}, на другие области, по принципу «от уникального — к универсальному».

Выводы

– Необходимым условием результативного управления процессом развития средств информационно-телеметрического обеспечения отработки различных объектов ракетно-космической техники (*средств ИТО*) является его регламентирование, сущности которого неочевидны вследствие многообразия *телеметрируемых объектов, средств ИТО, задач ИТО, условий решения этих задач*;

– для осуществления вышеупомянутого регламентирования целесообразно структурирование *средств ИТО*, т.е. группирование отдельных средств по системам информационно-телеметрического обеспечения отработки определенных объектов (*телеметрируемых объектов*) ракетно-космической техники (СИТО), причем множество этих СИТО должно быть по возможности малочисленным, а совокупное количество входящих в них элементов (отдельных *средств ИТО*) — как можно больше;

– для каждого типа СИТО актуальны концепция ее развития (с указанием направлений развития) и соответствующая концепции система стандартов, причем ценность стратегии усовершенствования и применения СИТО определяется по оценкам общих (обобщенных) показателей СИТО (представленные показатели весьма универсальны); признаком рациональных стратегий является *существенное* (с точки зрения целевого использования выходных данных СИТО, т.е. использования

выходных данных для решения задач анализа состояний *телеметрируемого объекта*) сокращение потерь информации или получение дополнительной информации;

– наиболее важные аспекты стратегий усовершенствования и применения СИТО связаны со структурами ТМИ (со структурами сигналов/данных СИТО) и методами действий над ТМИ, обеспечивающими *существенное* уменьшение потерь информации или получение дополнительной информации и, соответственно, улучшение общих (обобщенных) показателей СИТО;

– при построении концепции развития отдельной СИТО (стратегий ее усовершенствования и применения) необходимо учитывать возможности взаимовлияния и взаимодополнения анализируемых СИТО с целью определения рационального состава функций, осуществляемого этой СИТО, обеспечивающих улучшение общих (обобщенных) показателей СИТО;

– при построении концепции развития отдельной СИТО и соответствующей ей системы стандартов целесообразно использование стандартов, относящихся к смежным по отношению к этой СИТО областям, а также внедрять разработанные для нее стандарты в другие области;

– созданы благоприятные условия для решения задачи регламентирования (разработка концепции развития и соответствующей концепции системы стандартов телеметрии) процесса развития системы информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения (СИТО_{СВ}), так как имеются основы необходимого научно-методического обеспечения развития СИТО_{СВ}, а также вследствие положения СИТО_{СВ} среди рассмотренных СИТО (СИТО_{СВ} является центральным звеном с точки зрения вышеупомянутых взаимовлияния и взаимодополнения).

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. Воронцов В. Л., Давыдов И. А. Регламентирование процесса развития систем информационно-телемет-

- рического обеспечения отработки средств выведения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2021. Т. 8, вып. 2. С. 43–50.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдуевский (пред.) и др. М.: Машиностроение. Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
 4. ГОСТ 19619-74. Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения. М., 1988. 26 с.
 5. *Уманский С. П.* Ракеты-носители. Космодромы / Под ред. Ю. Н. Коптева. М.: Рестарт+, 2001. 216 с.
 6. *Галеев А. Г.* Основы устройства испытательных стендов для отработки жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок. Руководство для инженеров-испытателей. Пересвет: Изд-во ФКП «НИЦ РКП», 2010. 178 с.
 7. *Шестопалова О. Л.* Основы построения систем сбора и обработки информации о техническом состоянии космических средств. Набережные Челны: Изд-во Камской госуд. инж.-экон. акад., 2007. 92 с.
 8. *Теркель Д.* OLE for Process Control — свобода выбора // СТА. 1999. № 3. С. 28–32.
 9. *Кринецкий Е. И., Александровская Л. Н., Мельников В. С., Максимов Н. А.* Основы испытаний летательных аппаратов: Учеб. для втузов / Под общ. ред. Е. И. Кринецкого. М.: Машиностроение, 1989. 312 с.
 10. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдуевский (пред.) и др. М.: Машиностроение. Т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. 328 с.
 11. *Воронцов В. Л.* Проблемно-ориентированный метод установления ограничений (требований) к комплексованию средств информационно-телеметрического обеспечения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2019. Т. 6, вып. 1. С. 83–93.
 12. *Потюпкин А. Ю., Пантелеймонов И. Н., Тимофеев Ю. А., Волков С. А.* Управление многоспутниковыми орбитальными группировками // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2020. Т. 7, вып. 3. С. 61–70.
 13. *Потюпкин А. Ю., Данилин Н. С., Селиванов А. С.* Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2017. Т. 4, вып. 4. С. 45–56.
 14. *Потюпкин А. Ю., Волков С. А., Тимофеев Ю. А.* Перспективные сервисы многоспутниковых космических систем // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2021. Т. 8, вып. 1. С. 59–68.
 15. *Артемов 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.
 16. ГОСТ Р 56096-2014. Система передачи космических данных и информации. Пакетная телеметрия. М.: Стандартинформ, 2015. 20 с.
 17. Система АСКСИ М-01. Техническое описание КТМЯ.461271.028 ТО, 1997 г.
 18. *Воронцов В. Л., Самойлов П. А.* Основы концепции построения и развития бортовых радиотелеметрических систем и программно-технических средств телеметрического комплекса космодрома // Измерительная техника. 2012. № 4. С. 9–13.
 19. Аппаратура бортовая «Орбита-IVМО». Руководство по эксплуатации. ЯГАИ.460800. 001 РЭ. Ч. 1 и 2, 2001 г.