

Проблемно-ориентированный метод установления ограничений (требований) к комплексированию средств информационно-телеметрического обеспечения

В. Л. Воронцов, к. т. н., a762642@yandex.ru

Филиал АО «ОРКК»–«НИИ КП», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Разработан проблемно-ориентированный метод установления ограничений (требований) к комплексированию средств информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения (далее — средств ИТО) при осуществлении стратегий усовершенствования и применения средств ИТО (далее — проблемно-ориентированный метод установления ограничений), базирующийся на теоретико-множественном подходе и проблемно-ориентированном морфологическом анализе. Он позволяет создать необходимые условия для реализации системного подхода к построению вышеупомянутых стратегий. Результатом его применения является конечное и относительно малочисленное множество наборов требований, каждый из которых относится к определенным рациональным (на рассматриваемом этапе) стратегиям усовершенствования и применения средств ИТО. При этом границы поиска рациональных стратегий существенно сужаются без ущерба его качеству.

Ключевые слова: неопределенные факторы, средства информационно-телеметрического обеспечения, стратегия, стратифицированные объекты, телеметрируемый объект, телеметрическая информация, телеметрический комплекс

Problem-oriented Method of Establishing Restrictions (Requirements) for the Integration of Information and Telemetry Software

V. L. Vorontsov, *Cand. Sci. (Engineering)*, a762642@yandex.ru

*A branch of JSC “United Rocket and Space Corporation”–“Institute of Space Device Engineering”,
Moscow, Russian Federation*

Abstract. A problem-oriented method of setting restrictions (requirements) on integration of Information and Telemetry Support means (hereinafter referred to as ITS means) for launch vehicle development has been developed when implementing strategies of improvement and application of ITS means (hereinafter referred to as a problem-oriented method of setting restrictions), which is based on a set-theoretic approach and problem-oriented morphological analysis. The method allows establishing the necessary conditions for implementation of a system approach to develop the above strategies. Its application results in a finite and relatively small aggregate of sets of requirements, each of which refers to certain rational (at the stage under consideration) strategies for improving and applying ITS means. Moreover, the search frontiers for rational strategies get substantially narrow without compromising on its quality.

Keywords: uncertain factors, information and telemetry support means, strategy, stratified objects, telemetered object, telemetric information, telemetry complex

В настоящее время необходимая для практики достоверность телеизмерений, получаемых при пусках ракет космического назначения (РКН) и межконтинентальных баллистических ракет (МБР), обеспечивается их чрезмерной избыточностью. Тем не менее имеют место значительные потери информации, особенно в случае нештатных и аварийных ситуаций на телеметрируемом объекте. Приходится констатировать, что существующая отечественная телеметрия является телеметрией нормального пуска, в то время как наиболее острая потребность в телеметрической информации (ТМИ) появляется именно при нештатных и аварийных ситуациях. Для сокращения этих (значительных) потерь ТМИ традиционным путем требуется дальнейшее увеличение избыточности телеизмерений. Однако рост мощности информационных потоков при приеме-регистрации, сборе ТМИ является причиной существенного увеличения количества наземных программно-технических средств (ПТС), при том что потери информации до требуемого уровня не снижаются. Выходом из этой противоречивой ситуации является построение принципиально новых стратегий противодействия воздействию неопределенных факторов различной природы на основе результативного управления избыточностью телеизмерений. Однако их сущности неочевидны, для их построения необходимо соответствующее научно-методическое обеспечение развития *средств ИТО*. Необходимы правила комплексирования *средств ИТО*. Прежде всего для их развития (т. к. они весьма специфичны, что обусловлено в том числе необходимостью противодействия весьма специфичным неопределенным факторам) предпочтителен проблемно-ориентированный метод установления ограничений (требований). Результаты его применения позволяют определить и существенно сузить границы поиска рациональных стратегий развития *средств ИТО*.

Средства ИТО — 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 отработки средств выведения (см. «Активные средства» в гл. 4 [1]). В состав *средств ИТО* входят необ-

ходимые программно-технические средства, которые относятся к ПТС *измерительного комплекса космодрома* и, соответственно, *телеметрического комплекса*.

Средства выведения (см. «Средства выведения орбитальных средств» [2]) в рассматриваемых случаях — в основном ракеты-носители (РН) и разгонные блоки (РБ) ракет космического назначения. Обычная для космодромов (полигонов) практика — осуществление, кроме РКН, пусков межконтинентальных баллистических ракет (МБР). Их соответствующие составляющие (маршевые ступени, ступени разведения боевых блоков и боевые блоки) также отнесем к *средствам выведения*.

Телеметрируемые *средства выведения* являются *телеметрируемыми объектами* [3]. Кроме типичных для космодрома РКН и МБР, *телеметрируемыми объектами* являются стартовые комплексы и шахтно-пусковые установки. К *телеметрируемым объектам* могут быть отнесены приемно-регистрирующие станции (ПРС), параметры функционирования которых (соотношение сигнал/шум, уровень сигнала АРУ и т. д.) телеметрируются. *Телеметрируемыми объектами* могут быть и нетипичные для космодрома объекты. В зависимости от контекста встречающийся в тексте данной работы термин «*телеметрируемые объекты*» может быть синонимом термина «*средства выведения*».

Полагаем, независимо от того, осуществляется ли пуск по программе летных испытаний (ЛИ) или штатной эксплуатации, результаты обработки полученной ТМИ и ее анализа используют для усовершенствования *средств выведения (телеметрируемых объектов)*, т. е. осуществляется их *отработка*.

Измерительный комплекс космодрома (ИКК) — совокупность программно-технических средств и сооружений измерительных пунктов и вычислительного центра, в которых они размещены, предназначенных для получения и обработки информации о функционировании систем *средств выведения* и контроля их движения на участке выведения (см. «Измерительный комплекс космодрома» [2]).

Телеметрический комплекс (ТК) является частью ИКК и предназначен для решения задач

ИТО обработки, прежде всего РКН и МБР. ПТС, входящие в его состав, размещены на измерительных пунктах (ИПах) и в вычислительном центре (ВЦ) космодрома, причем наиболее сложные задачи обработки ТМИ решаются в ВЦ.

При проведении пуска РКН (МБР) определяют комплекс средств измерений, сбора и обработки информации ракетно-космического комплекса (КСИСО) [2], являющихся частью ИКК (и, соответственно, ТК). Определяют также средства ИТО для решения отдельных задач ИТО.

Исходя из существующей [1] терминологии стратегия — это правило, предписывающее определенные действия над рассматриваемыми объектами (над множеством телеметрируемых объектов, множеством задач ИТО и задач, касающихся ИТО; множеством ПТС и т. д.).

Операция — совокупность действий, мероприятий, направленных на достижение некоторой цели, т. е. совокупность целенаправленных действий [1]. Применительно к технике операция — взаимодействие технических средств и людей, направленное на достижение определенной цели [1]. Применительно к рассматриваемым вопросам действия при выполнении операции усовершенствования и/или применения средств ИТО соответствуют определенной стратегии этой операции.

Эффективность операции — степень соответствия реального результата операции желаемому [1].

С целью формализации осуществлено стратифицированное описание объектов [4]. Рассмотрены страты, связанные со следующими стратифицированными объектами:

- телеметрируемые объекты O ;
- задачи $Z_{ИТО}$ ИТО;
- программно-технические средства (ПТС) R ;
- методы $Met_{Q_ТМИ}$ (алгоритмы $Alg_{Q_ТМИ}$) непосредственных действий над ТМИ ($Q_{ТМИ}$);
- сигналы (данные) Q ;
- функции F ПТС R (режимы Reg функционирования ПТС R);
- стратегии $U_{прим}$ применения средств ИТО по целевому назначению;

- стратегии $U_{ус}$ усовершенствования средств ИТО;
- неопределенные факторы $\Lambda_{иссл}$, влияющие на результаты осуществления стратегий $U_{прим}$;
- неопределенные факторы $\Lambda_{разв}$, влияющие на результаты осуществления стратегий $U_{ус}$;
- показатели $W_{эф}$ эффективности (качества) осуществления стратегий $U_{прим}$ и $U_{ус}$;
- предприятия (организации) Org ;
- множество положений стандартов TrS (в том числе стандартов, необходимых для построения рациональных средств ИТО, базирующихся на официальной концепции развития средств ИТО).

Для краткости из множества стратифицированных объектов более детально представлены ниже лишь выявленные неопределенные факторы (из множества Λ), наиболее сильно влияющие на результаты осуществления стратегий $U_{прим}$ и $U_{ус}$, а именно:

Λ_{OT} — неопределенность обрабатываемых телеметрируемых объектов множества O , $\Lambda_{OT} \subset \Lambda$;

$\Lambda_{ФП}$ — неопределенность сущностей физических процессов на телеметрируемых объектах O , создающая необходимость использования разнообразных методов измерений $Met_{Q_ТМИ_измер}$, $\Lambda_{ФП} \subset \Lambda_{OT}$;

$\Lambda_{OT_кол_ТМП}$ — неопределенность, проявляющаяся в большом разбросе количества телеметрируемых параметров (ТМП) в зависимости от сущностей объектов O , $\Lambda_{OT_кол_ТМП} \subset \Lambda_{OT}$;

Λ_{OT_Tr} — неопределенность траекторий полета объектов O , $\Lambda_{OT_Tr} \subset \Lambda_{OT}$;

$\Lambda_{OT_T_пер}$ — неопределенность периодичности пусков объектов O , $\Lambda_{OT_T_пер} \subset \Lambda_{OT}$;

$\Lambda_{ТМП}$ — неопределенность поведения ТМП, являющаяся причиной потерь ТМИ, $\Lambda_{ТМП} \subset \Lambda$;

$\Lambda_{ПТС_OT_аном}$ ($\Lambda_{ПТС_ТК_аном}$, $\Lambda_{ПТС_внеш_аном}$) — неопределенные факторы, являющиеся причиной потерь ТМИ, связанные с отказами и аномальным функционированием ПТС R_{OT} ($R_{ТК}$, $R_{внеш}$), с действием на них дестабилизирующих факторов разной природы;

$\Lambda_{пом}$ — неопределенные факторы, касающиеся помех в каналах «борт–Земля», $\Lambda_{пом} \subset \Lambda$;

$\Lambda_{\text{униф}}$ — неопределенность, связанная с многообразием неунифицированных структур сигналов и данных (в том числе содержащих ТМИ) и средств ИТО;

$\Lambda_{\text{разв}}$ — неопределенные факторы, влияющие на результаты осуществления стратегий $U_{\text{ус}}$.

Для дальнейшего рассмотрения выбраны следующие неопределенные факторы $\Lambda_{\text{иссл}}$, касающиеся стратегий $U_{\text{прим}}$ применения:

$$\Lambda_{\text{иссл}} = \langle \Lambda_{\text{ТМП}}, \Lambda_{\text{пом}}, \Lambda_{\text{ОТ}_{\text{кол}}_{\text{ТМП}}}, \Lambda_{\text{ОТ}_{\text{Тр}}}, \Lambda_{\text{ОТ}_{\text{Т}}_{\text{пер}}}, \Lambda_{\text{униф}} \rangle. \quad (1)$$

Атрибуты объектов O^* (прежде всего, $O_{\text{РКН}}$ и $O_{\text{МБР}}$) представлены следующим образом:

$$O^* = \langle \Omega_{O^*}, Tr_{O^*}, T_{\text{пер}_{O^*}} \rangle, \quad (2)$$

где O^* — множество телеметрируемых объектов;

Ω_{O^*} — множество физических процессов, происходящих на объектах O^* , $\Omega_{O^*} \subset \Omega$;

Tr_{O^*} — множество траекторий полета телеметрируемых объектов O^* ;

$T_{\text{пер}_{O^*}}$ — периодичность пусков (или дата, время пусков) телеметрируемых объектов O^* , причём

$$f_{\text{От}_3}: \Omega_{\text{ТМП}_*} \times Met_{Q_{\text{ТМИ}_{\text{измер}}}} \times R_{\text{ПП}} \rightarrow Q_{\text{ТМИ}_{\text{ПП}_*}}, \quad (3)$$

где $f_{\text{От}_3}$ — функция отображения декартова произведения множеств $\Omega_{\text{ТМП}_*}$, $Met_{Q_{\text{ТМИ}_{\text{измер}}}}$ и $R_{\text{ПП}}$ в множество $Q_{\text{ТМИ}_{\text{ПП}_*}}$, соответствующая определённому научно-методическому обоснованию этого отображения;

$\Omega_{\text{ТМП}_*}$ — множество ТМП, $\Omega_{\text{ТМП}_*} \subset \Omega^*$; сведения о ТМП телеметрируемых объектов представлены в соответствующих им программах телеизмерений [3] (ПТИ);

$Met_{Q_{\text{ТМИ}_{\text{измер}}}}$ — методы измерений;

$R_{\text{ПП}}$ — источники (формирователи) первичных сигналов, $R_{\text{ПП}} \subset R_{\text{ОТ}}$;

$Q_{\text{ТМИ}_{\text{ПП}_*}}$ — первичные сигналы, формируемые ПТС $R_{\text{ПП}}$.

Каждый из первичных сигналов $Q_{\text{ТМИ}_{\text{ПП}_*}$ [3, 5] соответствует определённому ТМП. Первичные сигналы поступают на входы бортовой радиотелеметрической системы (БРТС).

Из (2) следует, что формально сущности телеметрируемых объектов O^* описаны совокупностью физических процессов Ω_{O^*} , траекторий полета Tr_{O^*} и периодичностью пусков $T_{\text{пер}_{O^*}}$ (далее множество Ω_{O^*} физических процессов опосредовано множеством телеметрируемых параметров и — затем — множеством первичных сигналов $Q_{\text{ТМИ}_{\text{ПП}}}$ на входах БРТС $R_{\text{БРТС}}$ (3)).

Атрибуты объектов F (Reg) представлены следующим образом:

$$F_{R^*} = \langle R^*, Met_{R^*}, Q_{R^*}, T_{R^*} \rangle, \quad (4)$$

где F_{R^*} — функции, осуществляемые ПТС множества R^* ;

Met_{R^*} — методы, реализованные ПТС R^* ; обычно методы $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$ действий над ТМИ;

Q_{R^*} — сигналы (данные), которые могут быть приняты, переданы, преобразованы (обработаны), сформированы и т. д. ПТС R^* при осуществлении методов Met_{R^*} ;

T_{R^*} — последовательности текущего времени при осуществлении функций F_{R^*} .

Атрибуты множества стратегий $U_{\text{прим}}$ применения таковы:

$$U_{\text{прим}_{**}} = \langle Z_{\text{ИТО}_{\text{иссл}}}, Reg_{R_{**}}, R_{**}, Met_{R_{**}}, Q_{R_{**}}, T_{R_{**}} \rangle. \quad (5)$$

При осуществлении стратегий $U_{\text{прим}}$ выбор нужных ПТС и режимов их функционирования (F, Reg) (4) регламентируется (ограничивается) сущностями объектов O и $Z_{\text{ИТО}_{\text{иссл}}}$. При этом сущности стратегий $U_{\text{ус}_{U_{\text{прим}_{\text{рац}}}}}$ усовершенствования для построения рациональных стратегий $U_{\text{прим}_{\text{рац}}}$ применения (а также для построения объектов, относящимся к ним) таковы:

$$f_{\text{От}_6}: U_{\text{прим}} \times U_{\text{ус}_{U_{\text{прим}_{\text{рац}}}}} \rightarrow U_{\text{прим}_{\text{рац}}}. \quad (6)$$

Обосновано [6], что наиболее актуальные задачи ИТО $Z_{\text{ИТО}_{\text{иссл}}}$ (рис. 1) связаны с формированием обобщенного массива данных телеизмерений (ФОМДТ):

$$Z_{\text{ИТО}_{\text{иссл}}} = \langle Z_{\text{ИТО}_1}, Z_{\text{ИТО}_2}, Z_{\text{ИТО}_3}, Z_{\text{ИТО}_4} \rangle, \quad (7)$$



Рис. 1. Общая стратегия решения задач ИТО

где $Z_{ИТО_1}$ — формирование ТМИ на телеметрируемом объекте;

$Z_{ИТО_2}$ — приемо-регистрация ТМИ;

$Z_{ИТО_3}$ — сбор ТМИ в интересах ФОМДТ;

$Z_{ИТО_4}$ — ФОМДТ.

Определены сущности ограничений (требований) $L_{U_прим_исх}$ для противодействия неопределенным факторам $\Lambda_{иссл}$ (1) (для краткости представлена лишь часть сформулированных ограничений (требований) $L_{U_прим_исх}$, табл. 1).

Суть разработанного проблемно-ориентированного метода установления ограничений состоит в следующем.

Формулируют отдельные наборы ограничений (требований), касающиеся стратегий, обеспечивающих противодействие отдельным рассматриваемым неопределенным факторам (см. табл. 1), а также формулируют отдельные наборы, связанные со спецификой решения задач ИТО (в частности, с разнесенным приемом ТМИ, с ФОМДТ). В дальнейшем получают кортежи, каждый из которых по сути — список из отдельных непротиворечивых наборов ограничений (требований). В итоге сформи-

ровано 28 таких кортежей. Ограничения (требования), относящиеся к этим кортежам, определяют требуемые свойства стратегий применения.

При осуществлении проблемно-ориентированного метода установления ограничений выполняют следующие действия.

1. Устанавливают ограничения (требования) $L_{U_прим_исх_i}$ ($L_{U_прим_исх} = \{L_{U_прим_исх_i}\}$, $i = 1, 2, \dots, N_1$), регламентирующие осуществление исходных стратегий $U_{прим_исх}$ применения и касающиеся противодействия неопределенным факторам $\Lambda_{иссл}$.

2. Парно сопоставляют отдельные ограничения (требования) $L_{U_прим_исх_i}$ и $L_{U_прим_исх_j}$ ($L_{U_прим_исх_i}, L_{U_прим_исх_j} \in L_{U_прим_исх}; i, j = 1, 2, \dots, N_1; i \neq j$):

$$f_{Ot_8}: L_{U_прим_исх}^2 \rightarrow Y_{L_{U_прим_исх}} \quad (8)$$

Возможные результаты сопоставления таковы:

- совместимые (взаимодополняемые), $Y_{L_{U_прим_исх_i-j}} = 0$;
- взаимоисключающие (альтернативные, несовместимые), $Y_{L_{U_прим_исх_i-j}} = 1$.

Таблица 1. Ограничения (требования) $L_{U_прим_исх}$

$\Lambda_{иссл}$	Суть ограничений (требований) $L_{U_прим_исх}$	Ожидаемый полезный эффект от мер противодействия неопределенным факторам $\Lambda_{иссл}$
$\Lambda_{ФП}$	$L_{U_прим_исх_1}$ — получение дополнительных сведений о физических процессах, происходящих на телеметрируемом объекте, путем использования новых методов измерений множества $Met_{Q_ТМИ_измер}$	Получение новыми методами измерений дополнительных сведений (информации) о телеметрируемом объекте, позволяющих улучшить качество решений, направленных на достижение цели его отработки
$\Lambda_{ФП}$	$L_{U_прим_исх_2}$ — улучшение характеристик $W_{Q_ТМИ}$ ТМИ и $W_{ТЭХ}$ средств ИТО путем выбора методов измерений из множества $Met_{Q_ТМИ_измер}$, реализуемых ПТС множества $R_{ПП}$; причем природа соответствующих ТМП (ТМП из множества $\Omega_{ТМП}$) такова, что существуют благоприятные условия для компактного представления данных $Q_{ТМИ_кп}$ и для восстановления данных $Q_{ТМИ_кп}$ наземными ПТС $R_{обrab_ВЦ}$ в случае искажений ТМИ $Q_{ТМИ_ом}$ помехами, действующими в канале «борт–Земля»	Компактное представление данных телеизмерений и повышение помехоустойчивости использованием семантических свойств этих данных, зависящих от выбранных методов измерений, осуществляемых на телеметрируемом объекте
$\Lambda_{От_кол_ТМП}$	$L_{U_прим_исх_3}$ — априорное сокращение численности избыточных ТМП и обеспечение их рационального состава по методам (по методикам), базирующимся на сведениях о результатах наземных испытаний, моделировании и учете ценности ТМП по статистическим данным, полученным в ходе ЛИ [7]. $L_{U_прим_исх_4}$ — уменьшение объема данных $Q_{ТМИ_кп}$ кодов параметров путем оперативного изменения состава ТМП в полетное время и результативного использования освободившихся телеметрических каналов (см., например, [8])	Уменьшение суммарной скорости поступления ТМИ с выходов БРТС при допустимых потерях информации о состояниях телеметрируемого объекта на этом объекте
$\Lambda_{ТМП}$	$L_{U_прим_исх_5}$ — существенное уменьшение потерь информации из-за ошибок в выборе диапазона измерения ТМП и частоты опроса датчика (улучшение качества семантической составляющей данных $Q_{ТМИ_кп}$) при преобразовании первичных сигналов $Q_{ТМИ_пп}$ в данные $Q_{ТМИ_кп}$ [6] и компактное представление данных $Q_{ТМИ_кп}$ [9]	Существенное улучшение качества семантической составляющей ТМИ, формируемой на телеметрируемом объекте, и уменьшение суммарной скорости поступления ТМИ с выходов БРТС, актуальное в условиях жестких ограничений пропускной способности каналов «борт–Земля» и космических радиолиний для непосредственной ретрансляции и сбора ТМИ
...

3. Формируют из отдельных совместимых (взаимодополняемых, см. п. 2) элементов $L_{U_прим_исх_i}$ ($i = 1, 2, \dots, N_1$) множество кортежей ограничений (требований) $L_{Kort_U_прим_исх}$ ($L_{Kort_U_прим_исх} = \{L_{Kort_U_прим_исх_k}\}$, $k = 1, 2, \dots, N_3$), каждый из которых содержит максимально возможное количество элементов.

Пояснение п. 3. В принципе, возможны различные по количеству вышеупомянутых элементов комбинации (различные кортежи). Например, $L_{Kort_U_прим_исх_*} = \langle L_{U_прим_исх_3}, L_{U_прим_исх_4} \rangle$, $L_{Kort_U_прим_исх_**} = \langle L_{U_прим_исх_3}, L_{U_прим_исх_4}, L_{U_прим_исх_5} \rangle$ и т. д. (см. табл. 1). Исходим из того, что выполнение каждого отдельного набора

ограничений (требований) $L_{U_прим_исх_i}$ ($i = 1, 2, \dots, \dots, N_1$) существенно улучшит качество ИТО, а его игнорирование не влечет невыполнение оставшихся ограничений (требований).

4. Устанавливают ограничения (требования) $L_{Z_ИТО_иссл}$, касающиеся оперативности решения задач $Z_{ИТО_иссл}$ и объемов (скорости передачи) ТМИ, над которой осуществляют действия при решении этих задач.

5. Формируют множество кортежей ограничений (требований) $L_{Kort_Z_ИТО_иссл}$ группированием установленных по п. 4 ограничений (требований) $L_{Z_ИТО_иссл}$ ($L_{Kort_Z_ИТО_иссл} = \{L_{Kort_Z_ИТО_иссл_i}\}, i = 1, 2, \dots, N_5$).

6. Парно сопоставляют отдельные ограничения (требования) множеств $L_{Z_ИТО_иссл}$ (см. п. 4) и $L_{U_прим_исх}$ (см. п. 1), результаты сопоставления аналогичны п. 2.

7. Формируют из отдельных совместимых (взаимодополняемых, см. п. 6) элементов множеств $L_{U_прим_исх}$ и $L_{Z_ИТО_иссл}$, входящих, соответственно, в состав отдельных кортежей множеств $L_{Kort_U_прим_исх}$ (см. п. 3) и $L_{Kort_Z_ИТО_иссл}$ (см. п. 5), множество кортежей $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб}$ ($L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб} = \{L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб_i}\}, i = 1, 2, \dots, N_7$).

8. Выбирают из множества кортежей $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб}$ (см. п. 7) наиболее актуальные кортежи $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_рац}$ (кортежи, обладающие по результатам экспертных оценок показателей эффективности *средств ИТО* признаками рациональных стратегий $U_{прим_рац}$), $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_рац} \subset L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб}$.

9. Конкретизируют выбранные по п. 8 ограничения (требования) $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб_j}$, $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб_j} \in L_{Kort_Z_ИТО_иссл_рац}$ (т.е. формулируют рекомендации по построению новых методов, методик, моделей, касающихся объектов множества $U_{прим_**}$ (5) и/или F_{R_*} (4)).

Установлены следующие ограничения (требования) $L_{Z_ИТО_иссл}$, связанные с ФОМДТ, касающиеся оперативности решения задач $Z_{ИТО_иссл}$ (7) и объемов (скорости передачи) ТМИ, над которой осуществляют действия при решении этих задач:

– $L_{Z_ИТО_12_T_1}$ — формирование ТМИ в БРТС ($Z_{ИТО_1}$) и приемо-регистрация ($Z_{ИТО_2}$) осуществляются лишь в полетное время;

– $L_{Z_ИТО_12_T_2}$ — формирование ТМИ в БРТС ($Z_{ИТО_1}$) и приемо-регистрация ($Z_{ИТО_2}$) осуществляются не только в полетное, но и в послеполетное время (аналог такой технологии — DTN [10], Delay Tolerant Networking (англ.), устойчивые к задержкам сети);

– $L_{Z_ИТО_3_T_1}$ — сбор ТМИ ($Z_{ИТО_3}$) преимущественно в темпе формирования ТМИ в БРТС в полетное время;

– $L_{Z_ИТО_3_T_2}$ — сбор ТМИ ($Z_{ИТО_3}$) преимущественно в послеполетное время;

– $L_{Z_ИТО_4_T_1}$ — ФОМДТ ($Z_{ИТО_4}$) преимущественно в темпе формирования ТМИ в БРТС в полетное время;

– $L_{Z_ИТО_4_T_2}$ — ФОМДТ ($Z_{ИТО_4}$) в послеполетное время;

– $L_{Z_ИТО_2_V_1}$ — объем ТМИ $Q_{ТМИ_рег}$, зарегистрированной ПРС, обычный для существующих *средств ИТО* ($V_{Q_ТМИ_рег} \sim n_{КР} V_{Q_ТМИ_ОМ}$, $n_{КР} = n_{КР_сущ}$);

– $L_{Z_ИТО_2_V_2}$ — объем ТМИ $Q_{ТМИ_рег}$ существенно уменьшен по сравнению с обычным для существующих *средств ИТО* объемом ($V_{Q_ТМИ_рег} \sim n_{КР} V_{Q_ТМИ_ОМ}$, $n_{КР} = n_{КР_ум}$, $n_{КР_ум} < n_{КР_сущ}$, где $n_{КР_сущ}$ — количество обычно используемых каналов разнесения или количество обычно задействуемых ПРС; $n_{КР_ум}$ — уменьшенное по сравнению с $n_{КР_сущ}$ количество каналов разнесения, или количество ПРС) путем сокращения числа каналов разнесения по сравнению с существующим количеством;

– $L_{Z_ИТО_3_V_1}$ — объем ТМИ $Q_{ТМИ_ФОМДТ}$, поступившей (выбранной) для ФОМДТ, примерно равен объему всей ТМИ $Q_{ТМИ_рег}$, зарегистрированной ПРС ($V_{Q_ТМИ_ФОМДТ} \sim V_{Q_ТМИ_рег}$);

– $L_{Z_ИТО_3_V_2}$ — объем ТМИ $Q_{ТМИ_ФОМДТ}$ значительно меньше объема ТМИ $Q_{ТМИ_рег}$ ($V_{Q_ТМИ_ФОМДТ} \ll V_{Q_ТМИ_рег}$).

Сформировано (табл. 2) множество кортежей ограничений (требований) $L_{Kort_Z_ИТО_иссл}$ группированием установленных по п. 4 ограничений

Таблица 2. Кортежи множества $L_{Kort_Z_ИТО_иссл}$ ($L_{Kort_Z_ИТО_иссл} = \{L_{Kort_Z_ИТО_иссл_i}\}, i = 1, 2, \dots, 16$)

$L_{Kort_Z_ИТО_иссл_i}, i =$	$L_{Z_ИТО_12_T_j}, j =$	$L_{Z_ИТО_3_T_j}, j =$	$L_{Z_ИТО_4_T_j}, j =$	$L_{Z_ИТО_2_V_j}, j =$	$L_{Z_ИТО_3_V_j}, j =$
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	1	1
3	1	2	2	1	1
4	2	2	2	1	1
5	1	1	1	2	1
6	1	1	2	2	1
7	1	2	2	2	1
8	2	2	2	2	1
9	1	1	1	1	2
10	1	1	2	1	2
11	1	2	2	1	2
12	2	2	2	1	2
13	1	1	1	2	2
14	1	1	2	2	2
15	1	2	2	2	2
16	2	2	2	2	2

(требований) $L_{Z_ИТО_иссл}$ ($L_{Kort_Z_ИТО_иссл} = \{L_{Kort_Z_ИТО_иссл_i}\}, i = 1, 2, \dots, 16$).

Из множества кортежей $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_выб}$ (см. п. 7) выбрано множество наиболее актуальных кортежей $L_{Kort_Z_ИТО_иссл_рац}$ (см. п. 8). Определены объекты (см. п. 9), необходимые для осуществления рациональных (на рассматриваемом этапе) стратегий множества $U_{прим_рац}$. Таковыми, в частности, являются следующие объекты [6]:

- метод $Met_{Q_ТМИ_преоб_Л_ТМП}$ преобразования первичных сигналов, уменьшающий потери ТМИ из-за неопределенности ТМП;

- рекомендации $L_{Met_Q_ТМИ_накопл_БИТС}$ по накоплению ТМИ в БИТС, применяемых в условиях риска полетных аварий РКН и МБР;

- рекомендации $L_{Met_Q_ТМИ_обмен_РП}$ по осуществлению новых методов $Met_{Q_ТМИ_обмен_РП}$ управляемого обмена данными в интересах ФОМДТ и сбора ТМИ;

- рациональные алгоритмы $A_{рац}$ получения обобщенных данных, основанные на подборе весовых характеристик достоверности, полученные по методу $Met_{A_рац}$ (детализация разработанной проблемно-ориентированной концептуальной модели $Mod_{ФОМДТ}$ технологии ФОМДТ);

- метод $Met_{восст_синхр_Q_ТМИ_БД}$ улучшения качества синхронизации принятых блоков данных;

- рекомендации $L_{U_прим_контр_деф_Q_ТМИ}$ по разработке технологии выявления причин (источников) дефектов ТМИ при осуществлении ФОМДТ (детализация модели $Mod_{ФОМДТ}$).

Требуемый состав ПТС ТК ($R_{ТК}$) зависит от отдельных ПТС, образующих текущие наборы КСИСО:

$$R_{ТК} = \bigcup_{j=1}^J \bigcup_k R_{k_j}, \quad (9)$$

где $j = 1, 2, \dots, J$ — условное обозначение типа телеметрируемого объекта (различных ПТИ [3]), а обозначения « k », ..., « K » соответствуют наименованиям отдельных ПТС.

Для наиболее рационального состава ТК (для ТК, обладающего свойством инвариантности по отношению к изменяющимся задачам ИТО или по отношению к обрабатываемым телеметрируемым объектам) характерно

$$R_{k_j} = R_k, \quad N_{k_j} = N_{k_{\min}}, \quad (10)$$

а для наименее рационального —

$$\bigcap_{j=1}^J R_{k_j} = \emptyset, \quad N_{k_i} \gg N_{k_j}, \quad i \neq j \quad (11)$$

хотя бы для одного (i -го) типа РКН или МБР (N_{k_j} — количество ПТС R_{k_j} , \emptyset — пустое множество, индекс « \min » означает «минимальное количество»).

Следует заметить, что условие (10) — необходимый, но недостаточный признак рационального ТК. Должны соблюдаться требования по материальным затратам на применение *средств ИТО*, по оперативности решения задач ИТО, по качеству ТМИ. В случае разнотипных ПТС и альтернативных стратегий применения связь между количеством ПТС и эффективностью стратегий — весьма условная.

В этой ситуации целесообразно четырехуровневое оценивание эффективности (качества) рассматриваемых стратегий $U_{\text{прим}}$ и $U_{\text{ус}}$

$$W_{\text{эф}} = \langle W_{Q_{\text{ТМИ}}}, W_{\text{ТЭХ}}, W_{\text{прим}}, W_{\text{ус}} \rangle, \quad (12)$$

где $W_{\text{эф}}$ — множество характеристик и показателей эффективности (качества);

$W_{\text{ус}}$ — множество показателей эффективности выполнения операций усовершенствования в соответствии со стратегиями $U_{\text{ус}}$ [6], $W_{\text{ус}} \subset W_{\text{эф}}$;

$W_{\text{прим}}$ — множество показателей эффективности выполнения операций применения в соответствии со стратегиями $U_{\text{прим}}$ [6], $W_{\text{прим}} \subset W_{\text{эф}}$;

$W_{\text{ТЭХ}}$ — множество технико-экономических характеристик *средств ИТО*;

$W_{Q_{\text{ТМИ}}}$ — множество характеристик ТМИ ($Q_{\text{ТМИ}}$).

Такое оценивание позволяет наиболее полно учитывать влияние изменяющихся свойств отдельных объектов, относящихся к стратегиям $U_{\text{прим}}$ и $U_{\text{ус}}$, а также сущностей отношений этих объектов на общие показатели эффективности (качества) $W_{\text{прим}}$ и $W_{\text{ус}}$:

$$f_{Met_W_{\text{прим_рац}}} : (f_{Met_W_{\text{ТЭХ_тр}}} : (f_{Met_W_{Q_{\text{ТМИ_об_тр}}} : U_{\text{прим_рац}} \times \Lambda_{\text{иссл}} \rightarrow \rightarrow W_{Q_{\text{ТМИ_ом_тр}}}) \rightarrow W_{\text{ТЭХ_тр}}) \rightarrow W_{\text{прим_рац}}, \quad (13)$$

где f^* — функция отображения одного множества в другое, соответствующая определенному научно-методическому обоснованию этого отображения;

$W_{Q_{\text{ТМИ_ом_тр}}}$ — необходимые для осуществления рациональных стратегий $U_{\text{прим_рац}}$ характеристики данных телеизмерений обобщенного массива;

$W_{\text{ТЭХ_тр}}$ — необходимые для осуществления рациональных стратегий $U_{\text{прим_рац}}$ технико-экономические характеристики применяемых ПТС;

$W_{\text{прим_рац}}$ — показатели эффективности множества $W_{\text{прим}}$ ($W_{\text{прим_рац}} \subset W_{\text{прим}}$), относящиеся к рациональным стратегиям $U_{\text{прим_рац}}$.

При этом характеристики $W_{Q_{\text{ТМИ}}}$ ТМИ условно разделены на три следующие группы (что соответствует сущностям $Q_{\text{ТМИ}}$ ТМИ):

$$W_{Q_{\text{ТМИ}}} = \{W_{Q_{\text{ТМИ_сем}}}, W_{Q_{\text{ТМИ_VT}}}, W_{Q_{\text{ТМИ_ун}}}\}, \quad (14)$$

где $W_{Q_{\text{ТМИ_сем}}}$ — характеристики семантической составляющей ТМИ, связанные с уменьшением потерь информации;

$W_{Q_{\text{ТМИ_VT}}}$ — объемно-временные характеристики ТМИ;

$W_{Q_{\text{ТМИ_ун}}}$ — характеристики свойств (качества) ТМИ, связанные с унификацией структур сигналов и данных.

Из представленной схемы (рис. 2) следует, что для обеспечения требуемых свойств ТМИ отдельным предполагаемым ПТС R_i нужно осуществить в нем подходящий метод (или совокупность методов) множества $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$ (положим, осуществить метод $Met_{Q_{\text{ТМИ}_i}}$, $Met_{Q_{\text{ТМИ}_i}} \in Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$), причем с учетом свойств ТМИ на входе этого ПТС.

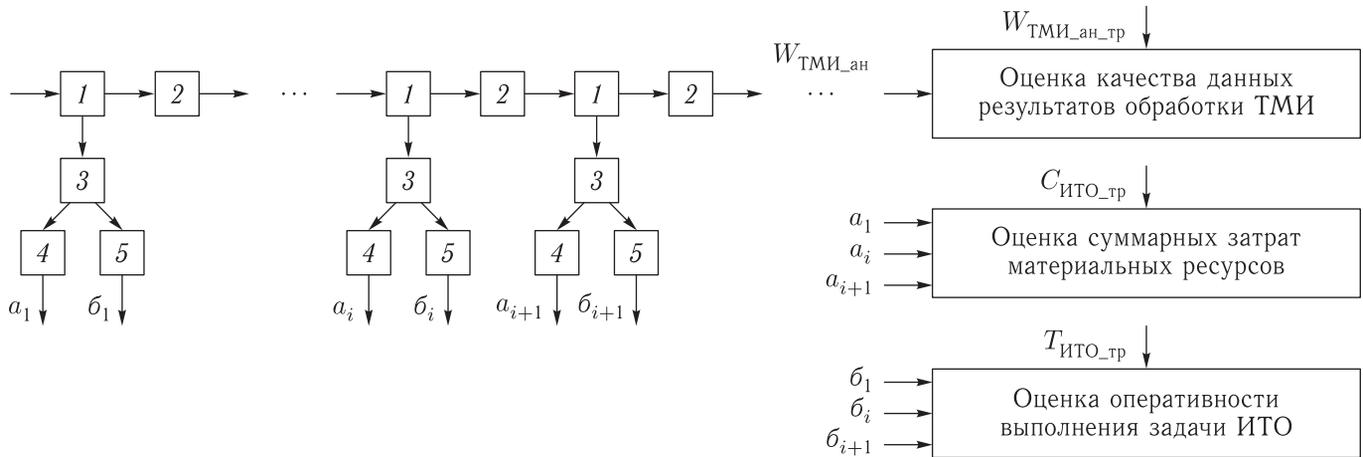


Рис. 2. Схема усовершенствования ПТС КСИСО

В свою очередь, ПТС R_i для осуществления метода $Met_{Q_ТМИ_i}$ обеспечивает определенную производительность (быстродействие), а его эксплуатация требует определенных материальных затрат. Если после включения ПТС R_i в состав *средств ИТО* общие показатели качества данных, оперативности и материальных затрат, связанных с решением задач ИТО, не хуже требуемых (не хуже $W_{ТМИ_ан_тр}$, $T_{ИТО_тр}$ и $C_{ИТО_тр}$ соответственно, см. рис. 2), то необходимое условие целесообразности включения ПТС R_i в состав *средств ИТО* выполнено. Другое условие, касающееся решения о целесообразности включении ПТС R_i в состав *средств ИТО*, связано со сроками получения ПТС R_i и с материальными затратами на его получение, при которых $T_{ус}(u_{ус}) \leq T_{ус_тр}$, $C_{ус}(u_{ус}) \leq C_{ус_тр}$.

Осуществляемые действия:

- 1 — выбор метода из множества $Met_{Q_ТМИ}$;
- 2 — оценивание свойств ТМИ на выходе отдельного ПТС, или на входе следующего ПТС ($W_{Q_ТМИ}$);
- 3 — реализация необходимого ПТС;
- 4 — оценивание затрат материальных ресурсов на эксплуатацию ПТС ($W_{ТЭХ}$);
- 5 — оценивание производительности ПТС ($W_{ТЭХ}$).

Кроме рассмотренных технических, необходимы организационные меры (менеджмент). Они касаются возможностей (интересов и полномо-

чий) отечественных предприятий (организаций) ракетно-космической отрасли Org , имеющих отношение к осуществлению стратегий $U_{ус}$ и $U_{прим}$, соответствующих уровню производственных отношений. Эти отношения должны регламентироваться официальной концепцией $TrC_{ИТО}$ развития *средств ИТО* и построенной на ее основе системой стандартов $TrS_{ИТО_рац}$. Предполагаемые концепция $TrC_{ИТО}$ и стандарты $TrS_{ИТО_рац}$ должны обеспечивать результативное противодействие неопределенным факторам $\Lambda_{униф}$ и $\Lambda_{разв}$. Причем при разработке мер противодействия неопределенным факторам $\Lambda_{разв}$ должное внимание необходимо уделить поведенческой неопределенности [6].

Таким образом, разработанный проблемно-ориентированный метод установления ограничений (требований) к комплексированию *средств ИТО* позволяет целенаправленно конкретизировать сущности ПТС, методов (прежде всего методов действий над ТМИ), структур ТМИ и других стратифицированных объектов, касающихся стратегий усовершенствования и применения *средств ИТО*. При этом построение неограниченного множества стратегий (исходя из непрерывности процесса развития *средств ИТО*) регламентируют конечным множеством ограничений (требований). Такой подход позволяет на ранних этапах построения исключать явно ущербные стратегии. Полученные с использованием метода результаты (определен состав необходимых и конкретных стратифицированных объектов для осуществления рациональных

стратегий) актуальны как для решения текущих задач ИТО, так и с точки зрения обоснования перспектив дальнейшего развития *средств ИТО*.

Список литературы

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский (предс.) и др. Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
2. ОСТ 134-1020-2008. Нормативный документ по стандартизации РКТ. Системы и комплексы космические. Термины и определения. М.: Федеральное космическое агентство, 2008. 56 с.
3. ГОСТ 19619-74. Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2005.
4. *Васильев В. В., Потюпкин А. Ю.* Особенности оценивания состояния сложных систем. Учеб. пособие. М.: ВА РВСН, 2004. 219 с.
5. *Мановцев А. П.* Основы теории радиотелеметрии. М.: Энергия, 1973. 592 с.
6. *Воронцов В. Л.* Методы разнесенного приема телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома. 2-е изд., перераб. и доп. Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. акад., 2009. 284 с.
7. *Козырев Г. И.* Методы идентификации средств телеизмерений в условиях воздействия неопределенных дестабилизирующих факторов. СПб.: ВИККА имени А. Ф. Можайского, 1996. 90 с.
8. *Капинос Е. Ф., Грек О. И., Гуменный Ю. В., Гужевников Н. Н.* Устройство для передачи и приема телеметрической информации. А.с. № 1681319, БИ № 36 от 30.09.1991.
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. Rationale, Scenarios, and Requirements for DTN in Space, Informational Report CCSDS 734.0-G-1, Issue 1, August 2010.