РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
2015, том 2, выпуск 3, с. 68–78

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ

УДК 681.3.06

Информационные технологии робастного телеконтроля изделий РКТ: состояние и перспективы

А. В. Лобан[1], Д. А. Ловцов[2]

[1]*к. т. н., АО «Российские космические системы»*
[2]*д. т. н., проф., заслуженный деятель науки РФ,*
Институт точной механики и вычислительной техники имени С. А. Лебедева
Российской академии наук, Москва

e-mail: [1]aloban@mail.ru, [2]dal-1206@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты системного анализа ряда существующих информационных технологий (ИТ) телеконтроля и телеуправления изделиями ракетно-космической техники (РКТ). Обсуждается проблемная ситуация, связанная с тем, что для развития космонавтики в XXI в. необходимо обеспечить устойчивое управление изделиями РКТ в различных условиях обстановки в реальном масштабе времени, повышая уровень автоматизации переработки информации. В большей степени это касается космических систем специального назначения, использующих ИТ и программное обеспечение распределенных информационных систем. Несмотря на достигнутые результаты исследований в этой области, общие научные основы анализа и синтеза робастных (устойчивых) ИТ распределенного телеконтроля изделий РКТ в настоящее время не получили должного развития, что сказывается на эффективности и качестве управления существующей группировкой космических аппаратов, а также запуска новых изделий с помощью разгонных блоков. Предлагается подход к реализации оперативной робастной ИТ телеконтроля изделий РКТ, основанной на разработке методологических основ, моделей и комплекса алгоритмов распределенного классифицирования и робастного оценивания результатов автоматизированного телеконтроля объектов управления.

Ключевые слова: алгоритм, робастные оценки, плотность распределения, телеконтроль, дестабилизирующие факторы

Information Technology Robust Telemetry Control Rockets: Status and Prospects

A. V. Loban[1], D. A. Lovtsov[2]

[1]*candidate of engineering science, Joint Stock Company "Russian Space Systems"*
[2]*doctor of engineering science, prof., honored scientist of the Russian Federation,*
Lebedev Institute of Precise Mechanics and Computer Engineering,
Russian Academy of Sciences, Moscow

e-mail: [1]aloban@mail.ru, [2]dal-1206@mail.ru

Abstract. Results of the system analysis of a number of the existing information technologies (IT) of remote control and telecontrol are considered, by products of the missile and space equipment (MSE). The problem situation connected by that for development of astronautics in the XXI century it is necessary to ensure sustainable management of MSE products in various conditions of a situation in real time is discusses, increasing the level of information processing. More it concerns the space systems of a special purpose using IT and the software of the distributed information systems. Despite the reached results of researches in this area, the general scientific bases of analysis and synthesis of robust (steady) IT of the distributed remote control of MSE products didn't gain now due development that affects the efficiency and quality of management of the existing group of spacecrafts, and also launch of new products by means of accelerating blocks. The approach to realization of operational robust IT of remote control of MSE products based on development of methodological bases, models and a complex algorithms of the distributed classification and robust estimation of results of the automated remote control of objects of management is offered.

Key words: algorithm, robust estimation, frequency distribution, automated remote control, destabilizing factors

Введение

Научная проблема комплексной автоматизации переработки информации в процессе управления изделиями ракетно-космической техники (РКТ) является объектом суждений людей, занятых практической и теоретической деятельностью в космической отрасли. Генетически предшествующей понятию проблемы выступает проблемная ситуация — противоречие между определенной социальной потребностью и наличными средствами ее адекватного удовлетворения. Принято считать, что для развития космонавтики в XXI в. необходимо обеспечить устойчивое управление изделиями РКТ в различных условиях обстановки в реальном масштабе времени, повышая уровень автоматизации управления объектами [4]. Особенно это актуально при воздействии на операции информационной технологии (ИТ) телеконтроля различных дестабилизирующих факторов.

Космические системы специального назначения, использующие информационно-телекоммуникационные технологии, выделены в Указе Президента Российской Федерации № 899 от 7 июля 2011 г. в качестве приоритетного направления развития науки, технологий и техники в России. Кроме того, технологии и программное обеспечение распределенных информационных систем внесены в перечень критических технологий, т. е. наиболее актуальных для развития государства.

В последнее время в нашей стране и за рубежом значительные усилия направляются на разработку методов, моделей и алгоритмов распределенной переработки контрольно-измерительной информации (КИИ), поступающей от удаленных объектов управления. При этом под переработкой КИИ понимается весь спектр манипуляций с данными от телеизмерений (сбор, преобразование, факторизация, классифицирование, оценивание, идентификация) до телеуправления (контроль технического состояния, выработка рекомендаций по управлению, реализация управления).

Практика использования ИТ телеконтроля показывает, что при возникновении неисправностей, отказов или аварий лица, принимающие решения, из-за сложности интерпретации результатов обработки данных не справляются с оперативным оцениванием больших объемов разнородной информации и, как следствие, не своевременно формируют управляющее воздействие [6–9, 12–16]. А это, в свою очередь, зачастую приводит к необратимым последствиям в работе подсистем КА и даже к потере функциональной пригодности объекта управления.

Так, например, корпорация ОАО «Информационные спутниковые системы» (ИСС) им. М. Ф. Решетнева в последнее 15 лет запустила 15 спутников, из которых 9 (60 %) имели отказы бортовых систем и агрегатов, 3 (20 %) КА утрачены на орбите и еще 3 (20 %) работают с весьма существенными ограничениями по целевому применению (по надежности на 7-м месте в списке ведущих производителей спутников связи и вещания). Еще более убедительно подтверждается важность своевременного реагирования на нештатные ситуации в работе изделий РКТ сведениями о надежности с точки зрения заявленных производителем характеристик (табл. 1, обзор Московского космического клуба [2]).

Следует отметить, что при использовании реальных ИТ телеконтроля оперативность решения задач функционального диагностирования остается низкой, что обусловлено большими объемами перерабатываемой контрольно-измерительной информации от КА и частичной автоматизацией процесса диагностирования [5, 12, 15]. В основном автоматизированы операции сбора, первичной и вторичной обработки ТМИ.

Однако проверка правильности отработки временной программы управления КА, оценивание дестабилизирующих факторов и выработка решений по их компенсации зачастую проводятся традиционными способами с привлечением большого числа специалистов. Это обусловливает низкий уровень достоверности и объективности оценки технического состояния и степени надежности изделий РКТ вследствие ограниченного доступа к имеющейся у потребителей информации о причинах неисправностей, отказов и аварий, а также сказывается на оперативности принятия решения на управление объектом [12, 13].

На повестке дня переход к технологиям на основе методов, свободных от распределений случайных величин сбоев в потоке ТМИ. Применение

Таблица 1. Сведения о запуске и функционировании геостационарных спутников основных мировых производителей с 1963 по 2013 гг. включительно

Компания-производитель спутников	Количество спутников			Общее время работы коммерческих КА на ГСО, лет	Запуск первого КА на ГСО
	всего изготовлено	в том числе геостационарных			
		всего/работает	из них коммерческих всего/работает		
ИСС им. М. Ф. Решетнева	более 1200	142/17	15/10	84	1975
Lockheed Martin	более 930	143/70	101/52	1035	1975
Boeing Satellite Systems	273	225/89	188/67	2120	1963
Space Systems/Loral	240	152/81	112/74	1770	1969
Orbital Sciences Corporation	117	34/32	34/32	170	1997
EADS Astrium	115	79/50	56/46	604	1981
Thales Alenia Space	115	76/52	69/43	502	1982

подобных методов предполагает существенное увеличение эффективности ИТ телеконтроля, прежде всего за счет повышения их помехоустойчивости [9, 11, 16], нечувствительности к малым отклонениям от предположений (*робастности*). Кроме того, практика требует, чтобы методы обеспечения робастности телеконтроля сводились к достаточно простым приемам, чтобы они не нуждались в коренной переделке тех алгоритмов и преобразований, которые сейчас используются.

Анализ информационных технологий телеконтроля

Для анализа ИТ телеконтроля изделий РКТ целесообразно (по Дж. Клиру) провести классификацию систем обработки ТМИ по типам задач и по свойствам отношений. Типы задач логично связать с функциями систем обработки, характеризуемыми обобщенными показателями:

- ✓ инвариантностью к типу изделия РКТ;
- ✓ уровнем автоматизации подготовки исходных данных (ИД) для обработки потоков ТМИ;
- ✓ полнотой первичной и вторичной обработки данных;
- ✓ удобством визуализации результатов обработки;
- ✓ многопоточностью обработки данных сеансов;
- ✓ местом в контуре управления объектами (средства: общего назначения, ЦУП, ИВК ГК, испытательных стендов).

Поскольку элементы разных типов требуют разных инструментальных средств для сбора данных, эта классификация по существу имеет практическую (экспериментальную) основу.

Классификация по свойствам отношений дает совершенно другую картину, связанную непосредственно с методами обработки данных, а не с их сбором, преобразованием и визуализацией результатов, и в основе ее лежит преимущественно теоретический компонент. Анализ функциональных задач должен стимулировать стремление к синтезу, к перспективному развитию ИТ телеконтроля изделий РКТ. Какие свойства отношений следует взять, чтобы добиться устойчивости технологий к помехам?

В докладе предлагается подход, основанный на свойствах отношений при реализации функциональных задач обработки, использующих робастные процедуры оценивания технических и функциональных состояний объектов управления.

СПО ОТИ

Обзор состояния ИТ телеконтроля логично начать с технологии, используемой при управлении объектами, создаваемыми ОАО ИСС им. М. Ф. Решетнева (фактически это сейчас 2/3 отечественной орбитальной группировки КА). Корпорация

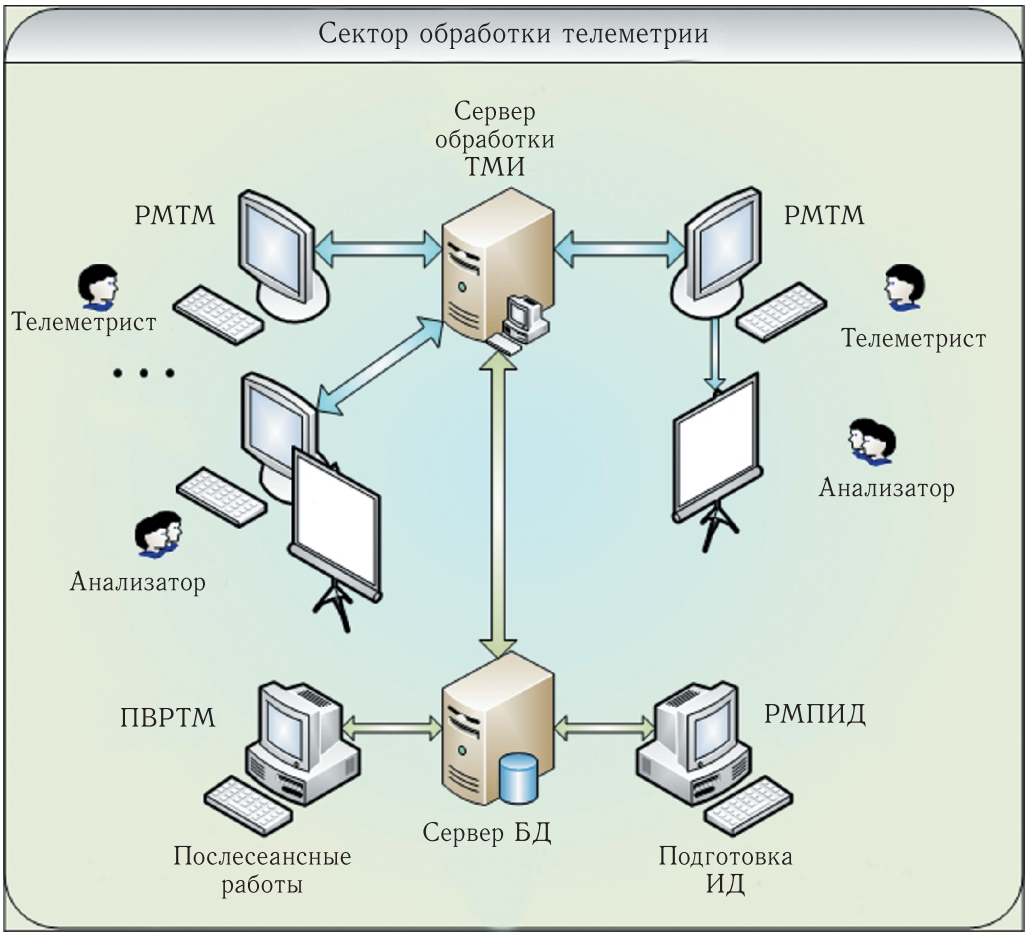

Рис. 1. Структура сектора обработки телеметрии

не только изготавливает спутники, но и предлагает свои ИТ телеконтроля объектов и телеуправления ими. Основные функциональные задачи технологии подробно проанализированы в [14]. Технология используется в ЦУП КА, причем ввиду низкой информативности потоков ТМИ (8000, 32 000 бит/с) вся обработка сосредоточена на средствах ЦУП, а компоненты наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) используются только для сбора потоков ТМИ с НИП и последующей доставки в ЦУП (рис. 1).

Обработка входных потоков телеметрии осуществляется на сервере обработки ТМИ по исходным данным (ИД), хранящимся на сервере базы данных (БД). Рабочие места телеметристов (РМТМ) и анализаторов предназначены для визуализации результатов обработки данных телеконтроля в шаблонном (табличном, текстовом) и мнемоническом видах. Ведется архив результатов обработки сеансов на сервере БД. Предусмотрены рабочие места для внесеансных работ (ПВРТМ) и подготовки ИД (РМПИД).

Специальное программное обеспечения обработки телеметрической информации (СПО ОТИ) включает следующие компоненты:

- ✓ комплекс программ (КП) подготовки исходных данных;
- ✓ КП сервера обработки телеметрической информации (СОТМ);
- ✓ КП рабочего места телеметриста (РМТМ);
- ✓ КП мнемонического представления телеметрической модели (МПТМ);
- ✓ КП проведения внесеансных работ (ПВР);
- ✓ КП обмена файлами телеметрической информации (ОФТМ).

В ИТ СПО ОТИ реализованы традиционные алгоритмы первичной и вторичной обработки параметров, а также элементы многоуровневого иерархического анализа данных телеконтроля. При визуализации результатов обработки формируются мнемосхемы бортовых систем как результата обработки состояний первичных параметров и параметров алгоритмов обобщенного контроля. Реализована задача выбора потока телеметрии с лучшим качеством. Данная ИТ телеконтроля применима только к изделиям изготовленным в ОАО ИСС им. М. Ф. Решетнева.

КОТ (РКС)

ИТ телеконтроля, разработанная в АО РКС, основана на комплексе обработки телеметрии (КОТ) — базовом программном средстве, на котором построены все секторы центра автоматизированной системы информационно-телеметрического обеспечения (АСИТО) управления изделиями РКТ, комплексы обработки информации НИП, комплексы ЕЦУП РБ и комплексы ЦУП отдельных КА, объединенные между собой глобальной сетью обмена данными (рис. 2).

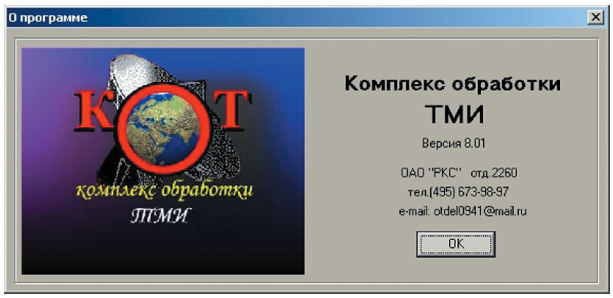

Рис. 2. Комплекс обработки ТМИ

АСИТО управления КА является компонентом общего назначения НАКУ и относится к классу сложных систем, опыт разработки и совершенствования которых длится более 40 лет [7, 8]. Реализованная в системе ИТ телеконтроля, *инвариантная* к типу изделия РКТ, она создавалась в расчете на решение всех классических задач обработки ТМИ (подготовка ИД, первичная и вторичная обработка «приборной» телеметрии, обработка «программной» телеметрии и данных автономных систем навигации и др.). Повторное решение этих задач в ЦУП и ИВК ГК, по мнению авторов, нецелесообразно экономически. Лучше перейти к широко распространяющемуся в современной инфосфере сервис-ориентированному подходу, согласовав лишь интерфейсные протоколы взаимодействия с АСИТО.

ИТ на базе КОТ (РКС) выполняет операции переработки данных телеконтроля в нескольких основных режимах (рис. 3):

– сектор обработки активный (СОА) — реализует управление процессом обработки сеансов телеконтроля одновременно с несколькими КА и несколькими НИП по директивам, формируемым на основе плана работ на сутки;

– комплекс обработки информации (КОИ) — первичная и вторичная обработка ТМИ на НИП;

– рабочее место оператора (РМО) — для визуализации результатов обработки данных телеконтроля на разнородных (на рис. 3 показана реализация для платформы МСВС) абонентах — получателях АСИТО.

Для взаимодействия комплексов (СОА, КОИ, РМО и др. режимы) используется технология «сокетного» обмена данными. Причем в системе циркулируют файлы результатов обработки потоков телеметрии, которые по своим объемным характеристикам значительно меньше исходного полного потока ТМИ. Это положительно сказывается на оперативности доставки результатов потребителям (в ЦУП). Реализована также возможность упаковки–распаковки потока ТМИ для передачи по каналам наземной связи и передачи данных.

ПАО «Фрегат»

ИТ телеконтроля на основе программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) «Фрегат» разработана и используется на средствах ЦУП-Л (ИВК ГК) в НПО им. С. А. Лавочкина при управлении КА «Электро-Л» и при запусках РБ «Фрегат» [1]. ПАО содержит следующие компоненты:

- ✓ средства приема и передачи ТМИ — реализуют взаимодействие с внешним миром (СК, ЕЦУП, МТС), преобразование потока ТМИ в универсальный формат ЦУП-Л (Arnica), ведение архива потоков ТМИ, выбор лучших потоков и отправку в локальную сеть ИВК ГК;

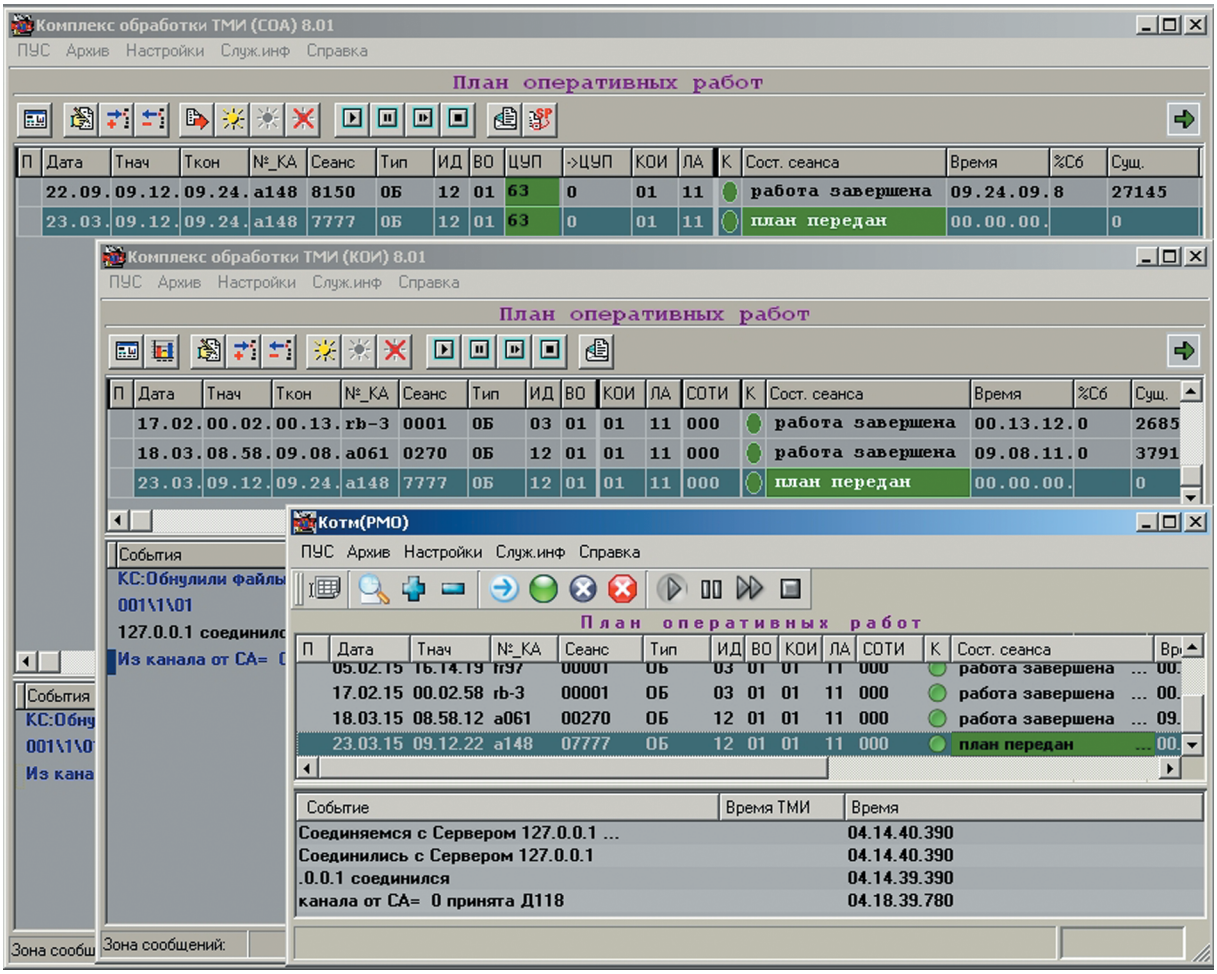

Рис. 3. Режимы работы комплекса обработки ТМИ

- ✓ КП подготовки ИД — формирование на основе текстовой документации двоичных файлов, содержащих сведения об алгоритмах обработки параметров и форматах визуализации результатов обработки;
- ✓ КП обработки ТМИ — для первичной и вторичной обработки потока ТМИ с возможностью работы одновременно с 3 потоками;
- ✓ КП визуализации результатов обработки ТМИ — для формирования телеметрических формуляров по группам анализа (до 100 формуляров), представления значений параметров в шаблонном, табличном, рулонном и графическом видах;
- ✓ КП трехмерного отображения модели полета объекта управления.

Перечисленные компоненты ИТ решают уже обсуждавшиеся выше классические задачи обработки данных телеконтроля. И даже формы визуализации результатов обработки практически совпадают, например, с ИТ КОТ (РКС). На рис. 4 для сравнения представлен шаблонный формуляр результатов обработки контроля работы телеметрической системы (ТМС). Это еще раз подтверждает тезис о целесообразности перехода на сервис-ориентированную технологию интеграции различных комплексов и ИТ телеконтроля объектов.

Разработан также графический формуляр, который облегчает анализ и наглядно демонстрирует фактическое состояние контролируемой бортовой подсистемы. Очевидно, что получить такой формуляр можно было бы и без выполнения задач первичной и вторичной обработки ТМИ на средствах

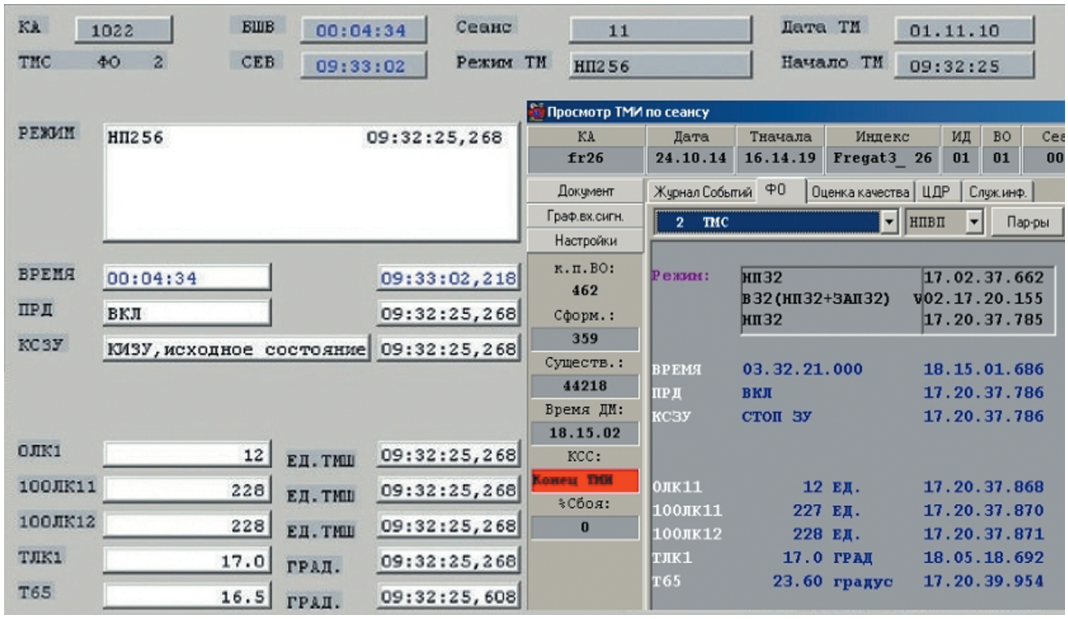

Рис. 4. Пример шаблонного формуляра результатов обработки

ЦУП-Л, воспользовавшись специальным «сервисом» получения результатов обработки с компонента общего назначения — АСИТО.

При запуске РБ «Фрегат» в ЕЦУП поступают полные потоки ТМИ по космическим каналам связи, а также результаты обработки из АСИТО. Суммарное количество потоков данных существенно превышает возможности ИТ телеконтроля, реализованной на средствах ЦУП-Л (до 3 потоков). В таких условиях в ЦУП-Л нет возможности решить нерешенную до сих пор задачу интеграции потоков ТМИ для получения в реальном масштабе времени результатов обработки по «суммарному» потоку. Такой подход к обработке позволил бы компенсировать сбойные участки сеанса обработки от одного НИП, участками сеанса от других комплексов с менее сбойной телеметрией. Особенно это актуально для телеконтроля основных динамических событий, возникающих на этапе выведения и в полете РБ «Фрегат» (сброс головного обтекателя, включение–выключение двигательной установки, отделение КА и др.). Для демонстрации этих событий разработаны специальные обобщенные формуляры (рис. 5).

На формуляре представлены сведения о событиях: название события; расчетное время события (три колонки: от начала отсчета времени, от контакта подъема и по времени СЕВ) и фактически зафиксированное время события (три колонки справа) по результатам телеконтроля полета РБ. Кроме того, выводятся расчетные параметры (время работы двигательной установки, набранная кажущая скорость и др.). Следует заметить, что вид формуляра (см. рис. 5) используется в ЕЦУП РБ, а в ЦУП-Л разработан аналог такого формуляра.

Сравнительная таблица

Полученная в результате анализа сравнительная таблица (табл. 2) отражает данные по показателям функциональных задач и по месту реализации ИТ телеконтроля.

При этом классификация по существу имеет практическую направленность, а теоретические аспекты (по свойствам отношений робастности) затронуты незначительно. Произошло это потому, что на практике перед ИТ телеконтроля до сих пор ставились задачи в расчете на установленную в требованиях к помехам входной телеметрии в пределах от 10^{-4} до 10^{-3} сбой на бит. Как показала практика телеконтроля, для большинства сеансов обработки с таким качеством входной ТМИ результаты обработки параметров

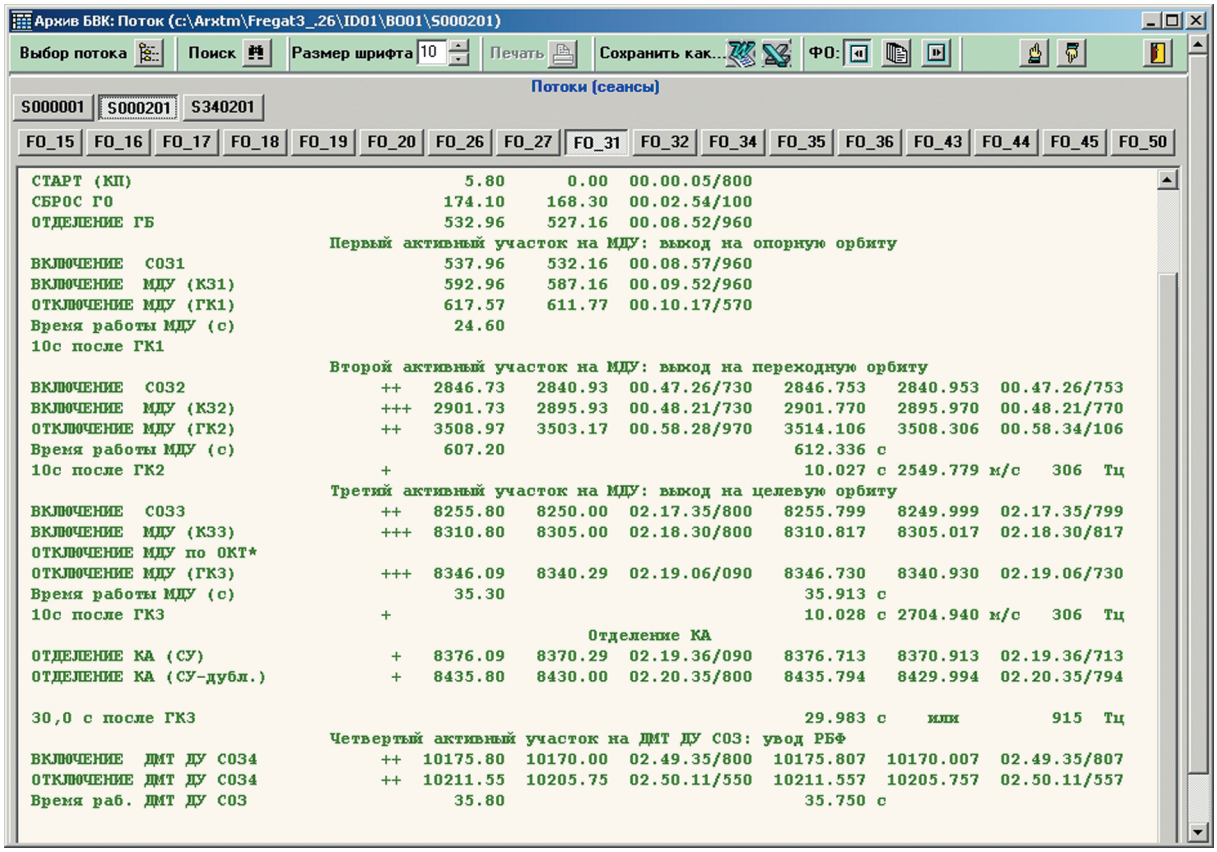

Рис. 5. Обобщенный формуляр динамических операций РБ

получаются достоверными. Однако при ухудшении качества входной ТМИ могут возникать аномальные отсчеты, которые оператор-анализатор может оценить и игнорировать при выработке решения.

Повышение уровня автоматизации обработки ТМИ, разработка алгоритмов диагностирования технических и функциональных состояний объекта управления привели к тому, что аномальные отсчеты начали подаваться на вход алгоритмов диагностирования. Возникла проблемная ситуация, связанная с необходимостью обеспечить достоверность результатов диагностирования. Ведь появление случайных обобщенных событий типа «не норма» вряд ли понравится анализаторам. Поэтому необходимо теоретически и на практике переходить к реализации функциональных задач обработки данных телеконтроля на базе устойчивых к сбоям (робастных) процедур манипулирования данными.

Направления развития ИТ телеконтроля

На теоретико-множественной модели основные функциональные задачи ИТ телеконтроля описываются обобщенной структурой [7]

$$\begin{tikzcd} \boxed{T \times X \times Z} \arrow[r, "L"] & Y \arrow[r, "\eta"] \arrow[dr, "\vartheta"'] & E \arrow[r, "\psi"] \arrow[d, "\chi"'] & S \arrow[dl, "\xi"] \\ & & Y^{\vartheta} & \end{tikzcd} \qquad (1)$$

где T — множество моментов времени, в которые наблюдается КА;

X, Y — множества входных и выходных сигналов КА;

Z — множество состояний КА;

E — множество заданных видов технических состояний КА;

Таблица 2. Классификация ИТ телеконтроля изделий РКТ

Информационные технологии телеконтроля изделий РКТ					
Место / Показатели	Общего назначения	ЦУП			ИВК ГК
	АСИТО: СОА; СОП; КОИ; РМО (РКС)	КА ОАО ИИС им. М. Ф. Решетнева	ЦНИИмаш	КА ЦСКБ «Прогресс»	КА и РБ ФГУП НПО им. С. А. Лавочкина
Инвариантность к типу изделия РКТ	+	+ для своих КА	+ для изделий пилотируемой программы	+ для своих КА	+ для своих КА и РБ
Подготовка ИД для обработки потоков ТМИ	АС ПИД, инвариантная к типу изделия	+ для своих КА	+ для изделий пилотируемой программы	+ для своих КА	+ для своих КА и РБ
Первичная обработка данных	+	+	+	+	+
Визуализация результатов обработки	Шаблонные, табличные, рулонные, графические формуляры	Шаблонные и табличные формуляры, мнемосхемы	Шаблонные и табличные формуляры, мнемосхемы	Шаблонные, табличные, рулонные формуляры, графики	Шаблонные, табличные, рулонные формуляры, мнемосхемы
Вторичная обработка данных	+	+	+	+	+
Многопоточность	До 10–16 потоков одновременно	До 3–5 потоков	По сеансам с МКС	По числу и времени сеансов	От 3 и более источников ТМИ
Робастность процедур обработки данных	+ Отдельные алгоритмы оценивания	Обработка с расчетом на вероятность ошибки входной ТМИ от 10^{-4} до 10^{-3} сбоев на бит данных			

S — множество истинных технических состояний КА;

Y^{ϑ} — фактор-множество непересекающихся классов выходных сигналов объекта, взаимно однозначно соответствующее множеству E;

L, η, ϑ, χ, ψ, ζ — отображения наблюдения, классифицирования, факторизации, импликации, оценивания и идентификации технических состояний КА соответственно.

Сбои воздействуют на множество Y и далее проникают после отображения классифицирования η в результат обработки, принадлежавший множеству E. Определить истинность полученного вида технического состояния предполагается по результату отображения ψ оценивания. Результат оценивания принадлежит множеству S.

Может ли процедура оценивания ψ быть робастной? В принципе, да. Однако надо учитывать два обстоятельства. Во-первых, при реализации алгоритмов анализа данных телеконтроля часто имеют дело с многоуровневой иерархической обработкой параметров. В этом случае аномальный отсчет параметра будет проникать во все последующие уровни обработки.

Второе обстоятельство связано с тем, что по примеру радиотехнических устройств усиления

необходимо бороться с шумами первого каскада. Следовательно, бороться с ошибками следует начинать как можно раньше, например, с множества Y.

В этом случае обобщенная структура телеконтроля имеет вид:

$$\begin{tikzcd}
 & Y_r \arrow[dr, "\eta"] & & \\
T \times X \times Z \arrow[r, "L"] & Y \arrow[u, "\psi_r"] \arrow[dr, "\vartheta"'] & E \arrow[r, "\psi"] \arrow[d, "\chi"] & S \arrow[dl, "\xi"] \\
 & & Y^{\vartheta} &
\end{tikzcd} \qquad (2)$$

где ψ_r — робастное отображение оценивания параметров $y \in Y$;

Y_r — робастное множество выходных сигналов КА.

А соответствующая логическая структура комплекса моделей и алгоритмов ИТ телеконтроля лишь дополняется компонентами, обеспечивающими формирование робастных результатов обработки параметров и видов технических и функциональных состояний бортовых систем.

Перспектива ИТ телеконтроля изделий РКТ связана с переходом от структуры (1) к структуре (2). При этом ИТ телеконтроля должна обеспечить получение устойчивых к сбоям (робастных) результатов обработки телеметрии и тем самым повысить своевременность принятия решения на управление объектами.

Заключение

На основе проблемно-ориентированного варианта системного подхода проведен анализ современного состояния ИТ телеконтроля изделий РКТ. По реализованным на практике задачам ИТ телеконтроля похожи друг на друга и в основном выполняют известные, ставшие классическими алгоритмы обработки телеизмерений.

Для минимизации экономических затрат при разработке новых изделий РКТ целесообразно шире использовать возможности существующей АСИТО управления КА как элемента общего назначения НАКУ, последовательно переходя к технологии «сервисов» при постановке изделий на обслуживание в систему, проведении робастной обработки данных телеконтроля, оценивании технического и функционального состояния бортовых систем и др.

Список литературы

1. *Казакевич Ю. В.*, *Зефиров И. В.* Центр управления полетами НПО им. С. А. Лавочкина при работе с межорбитальным космическим буксиром «Фрегат» // Вестник ФГУП НПО им. С. А. Лавочкина, 2014, № 1, с. 64–70.
2. *Крылов А. М.* Производство и эксплуатация спутников связи и вещания. http://mosspaceclub.ru/3part_krilov_3.pdf
3. *Козлов Д. И.*, *Аншаков Г. П.*, *Агарков В. Ф. и др.* Конструирование автоматических космических аппаратов / Под ред. Д. И. Козлова. М.: Машиностроение, 1996. 448 с.
4. *Черток Б. Е.*, *Арин О. А.*, *Аполлонов В. В. и др.* Космонавтика XXI века / Отв. редактор Б. Е. Черток. Научн. координатор проекта Ю. М. Батурин. М.: РТСофт, 2010. 864 с.
5. *Кравец В. Г.* Автоматизированные системы управления космическими полетами. М.: Машиностроение, 1995. 256 с.
6. *Кузин В. А.*, *Атаманчук Ю. И.*, *Кравчук Н. В. и др.* Автоматизированный комплекс обработки телеметрической информации // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева, 2003, № 1. http://www.science63.ru/nauka/142-kompleks-obrabotki-telemetricheskoj-informaczii-chast-1.html
7. *Лобан А. В.* Информационная технология распределенного диагностирования космических аппаратов. М.: ДПК Пресс, 2015. 144 с. ISBN 978-5-91976-069-6.
8. *Лобан А. В.*, *Ловцов Д. А.* Новая эффективная технология распределенной переработки измерительной информации в АСУ космическими аппаратами // Вестник ФГУП НПО им. С. А. Лавочкина, 2014, № 4, с. 81–88.
9. *Лидов М. Л.* Минимаксные методы оценивания // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2010, № 71, 87 с. http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-71.
10. *Матюшин М. М.* Модели информационной нагрузки на наземный компонент автоматизированной

системы управления полетом космического аппарата // Наука и образование, 2011, № 10. http://technomag.edu.ru/doc/223840.html

11. *Неволин В. И.* Робастные информационные системы. Методы синтеза и анализа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 312 с.

12. *Охтилев М. Ю.*, *Соколов Б. В.*, *Юсупов Р. М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

13. *Охтилев М. Ю.*, *Каргин В. А.*, *Майданович О. В.* Автоматизированная система управления подготовкой и пуском ракет космического назначения как корпоративная информационная система // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2010, № 7, с. 78–83.

14. *Пакман Д. Н., Некрасов М. В., Антамошкин А. Н.* Проблемы обработки телеметрической информации в контуре автоматизированной системы управления космическими аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева, 2009, вып. 1.

15. *Соколов Н. Л.* Основные принципы диагностики работоспособности бортовой аппаратуры автоматических КА и выработки рекомендаций по устранению нештатных ситуаций // Успехи современного естествознания, 2007, № 6, с. 16–20.

16. *Хьюбер П.* Робастность в статистике. М.: Мир, 1984. 304 с.