

Методические основы модели функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения запусков ракет космического назначения

А.В. Куимов¹, А.В. Кононенко²

¹ В/ч 32103

143090, Российская Федерация, Московская обл., г. Краснознаменск
ул. Октябрьская, 3

² АО «РКЦ «Прогресс»

443009, Российская Федерация, г. Самара
ул. Земеца, 18

Определены основные структурно-функциональные элементы системы информационно-телеметрического обеспечения запусков РКН. Определено содержание информационных процессов в элементах системы информационно-телеметрического обеспечения запусков РКН. Выделены факторы, требующие учета в модели функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения. Сформированы функциональные зависимости параметров, характеризующих степень достижения цели функционирования системы, параметров входов и параметров состояния системы.

Ключевые слова: модель, параметры, информационные процессы, функциональные зависимости, неопределенность, ресурсы, пропускная способность.

Введение

Проведение исследований, направленных на обоснование и выбор рациональных характеристик и параметров системы информационно-телеметрического обеспечения (СИТО) запусков РКН связано с применением определенных математических формализмов, с помощью которых в одной схеме можно описать все классы решаемых системой задач. Анализ технических и информационных свойств, структуры и процессов функционирования составных элементов СИТО запусков РКН показывает, что она в полной мере обладает характеристиками сложной динамической системы. СИТО запусков РКН определяется большим количеством параметров, характеризующих составные элементы СИТО и процессы информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) запусков РКН. Множественность параметров СИТО запусков РКН, наличие между ними сложных прямых и обратных связей является следствием большого числа частных элементов различного назначения и сложности, предназначенных для описания функционирования СИТО.

Методический аппарат реализации системного подхода [1–3] к обоснованию и выбору раци-

ональных характеристик и параметров СИТО запусков РКН базируется на модели функционирования СИТО запуска РКН и учитывает качество и объем информации о функционировании РКН, которая может быть получена при проведении ИТО запуска, динамику функционирования РКН на этапах подготовки к пуску, при пуске и в полете, количественный и качественный состав технических средств СИТО, пространственно-временную динамику ИТО запуска, а также прогнозируемые возмущающие воздействия на информационные потоки в основных элементах СИТО запуска РКН.

1. Основы моделирования процессов функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения запусков ракет космического назначения

Под функционированием СИТО запуска РКН понимается совокупность процессов формирования, сбора и использования ТМИ, выполняемых при проведении ИТО подготовки к пуску, пуска и полета РКН.

Проведение ИТО планируется, исходя из типа запускаемой РКН, комплектации ее БИТС и

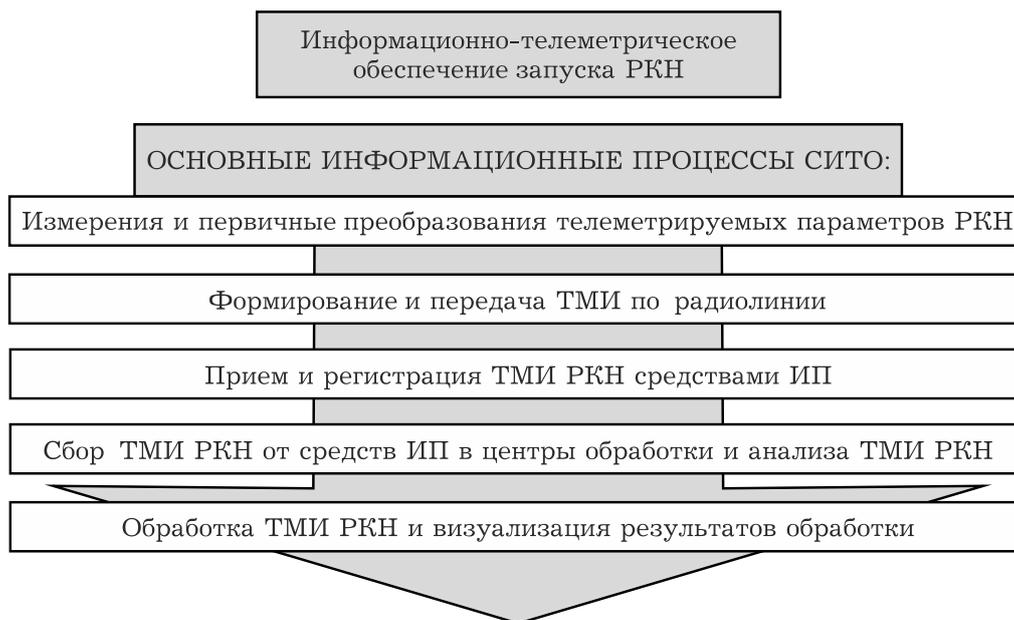


Рис. 1. Основные информационные процессы в элементах СИТО запусков РКН

баллистической схемы выведения полезной нагрузки на орбиту.

Безусловно, реальное проведение ИТО при каждом конкретном запуске будет иметь свои специфические особенности. Однако, как показывают исследования, можно выделить ряд общих элементов в процессе функционирования СИТО запусков РКН.

Содержание процесса функционирования СИТО запусков РКН представляет собой совокупность согласованных информационных процессов выполняемых бортовыми и наземными средствами СИТО, основные из которых представлены на рис. 1:

- измерение и первичное преобразование физических величин контролируемых процессов (телеметрируемых параметров РКН);
- сбор сообщений от первичных преобразователей, формирование группового сигнала ТМИ и его передача по радиолинии;
- прием и регистрация ТМИ РКН наземными приемно-регистрирующими станциями (НПРС) ИП;
- сбор ТМИ РКН от средств ИП в центры обработки и анализа ТМИ РКН;
- обработка ТМИ РКН и визуализация результатов обработки на средствах коллективного и индивидуального отображения.

Основным методом исследований функционирования сложных систем является математическое моделирование [4–7]. Замена реальных процессов, о которых говорилось выше, соответствующими математическими моделями и экс-

периментами с ними посредством использования ЭВМ дает возможность проводить исследования функционирования СИТО запусков РКН.

Принятая методология математического моделирования основана на принципе приближенного подобию, в соответствии с которым отображению (учету) подлежат те объекты, процессы и условия, которые существенны для результата ИТО запуска РКН.

При исследованиях такой сложной системы, как СИТО запусков РКН, описание ее функционирования одной математической моделью представляет собой практически не разрешимую задачу [4]. Поэтому при математическом моделировании процессов функционирования СИТО используется принцип декомпозиции, в соответствии с которым СИТО запусков РКН условно делится на отдельные более простые элементы, допускающие их независимые исследования с учетом взаимного влияния элементов друг на друга. В этом случае математическая модель функционирования СИТО запусков РКН представляет собой иерархию взаимосвязанных между собой элементов. Методология исследований информационных систем [8–11] предполагает наличие источника информации, канала передачи информации и потребителя информации.

Для учета изменения во времени параметров элементов СИТО запуска РКН, в математической модели используется дискретное представление динамики процессов функционирования СИТО, в соответствии с которым значения параметров элементов СИТО изменяются в дис-

кретные моменты времени или при наступлении определенных событий.

В настоящее время существуют модели функционирования отдельных составных элементов СИТО [12–15]. Данные модели включают в себя специальное математическое и программное обеспечение (СМПО) и базу данных (БД). Отдельные блоки этих моделей используются в интересах проведения исследований, направленных на обоснование и выбор рациональных характеристик и параметров СИТО запусков РКН. Главным предназначением указанной модели является получение количественных оценок необходимых для обоснования варьируемых параметров СИТО запусков РКН путем установления зависимостей влияния варьируемых параметров элементов системы на конечный результат ИТО запуска РКН.

2. Структурная схема модели функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения запусков РКН

На основе анализа информационных процессов функционирования СИТО запусков РКН целесообразно соответствующую модель представить в виде структурной схемы, отображенной на рис. 2.

В соответствии с принятой методологией, динамическая модель функционирования СИТО запусков РКН включает:

- модель формирования ТМИ;
- модель сбора ТМИ;
- модель использования ТМИ.

В модели формирования ТМИ, РКН как источник информации рассматривается с двух позиций: как материальный и информационный объект. Как материальный объект, РКН функционирует, изменяя свое состояние, в соответствии с имеющимся полетным заданием не зависимо от того формируются телеметрические сообщения или нет. Как информационный объект, РКН посредством БИТС формирует и передает телеметрические сообщения о своем состоянии.

Модель формирования ТМИ включает в себя два блока:

- блок функционирования РКН;
- блок функционирования БИТС РКН.

Первый блок описывает РКН как материальный объект, который представлен в модели телеметрируемыми параметрами РКН и их характеристиками:

- $\mathbf{r}^{\text{ФП}}$ – состав функциональных параметров РКН;
- $\mathbf{t}^{\text{РФП}}$ – времена характерных участков функциональных параметров РКН;
- $\Delta^{\text{РФП}}(t)$ – динамические характеристики функциональных параметров РКН;
- $\mathbf{r}^{\text{СП}}$ – состав сигнальных параметров РКН;
- $\mathbf{t}^{\text{РСП}}$ – времена участков срабатывания функциональных параметров РКН.

Изменение переменных во времени параметров телеметрируемых параметров РКН происходит при наступлении соответствующих событий циклограммы функционирования РКН.

– Второй блок описывает процессы формирования телеметрических сообщений на борту РКН, которые представлены в модели параметрами БИТС:

- $\mathbf{t}^{\text{прБИТС}}$ – времена действия программ телеметрических измерений БИТС;
- $\mathbf{r}^{\text{БИТС}}(t)$ – состав телеметрируемых параметров РКН;
- $\mathbf{f}^{\text{БИТС}}(t)$ – частоты опроса телеметрируемых параметров РКН;
- δ^{R} – аппаратная погрешность измерений функциональных параметров РКН;
- $\Psi^{\text{РФП}}$ – вектор признаков вида измерений телеметрируемых функциональных параметров (прямые или косвенные);
- $\Theta^{\text{Рбитс}}$ – вектор признаков вида телеметрического сообщения (сообщение первичного преобразователя или сообщение цифровых абонентов согласующих устройств с БЦВМ и НАП);
- $\eta^{\text{Рбитс}}$ – вектор признаков наличия дублирования передачи сообщений телеметрируемых параметров, через линию задержки, и (или) из бортового запоминающегося устройства;
- $\tau^{\text{ЛЗ}}$ – смещение времени выдачи сообщений телеметрируемых параметров через линию задержки.

Изменение переменных во времени параметров БИТС происходит при наступлении событий, связанных с разделением составных частей РКН, а для программируемых БРТС и при смене программы измерений.

Результаты, полученные при моделировании динамических процессов формирования ТМИ, используются в качестве входных данных в моделях сбора и использования ТМИ. При этом, модель позволяет описывать формирование ТМИ, как при моделировании штатного функционирования РКН, так и при моделировании возникновения и развития возможных нештатных ситуаций на борту РКН.

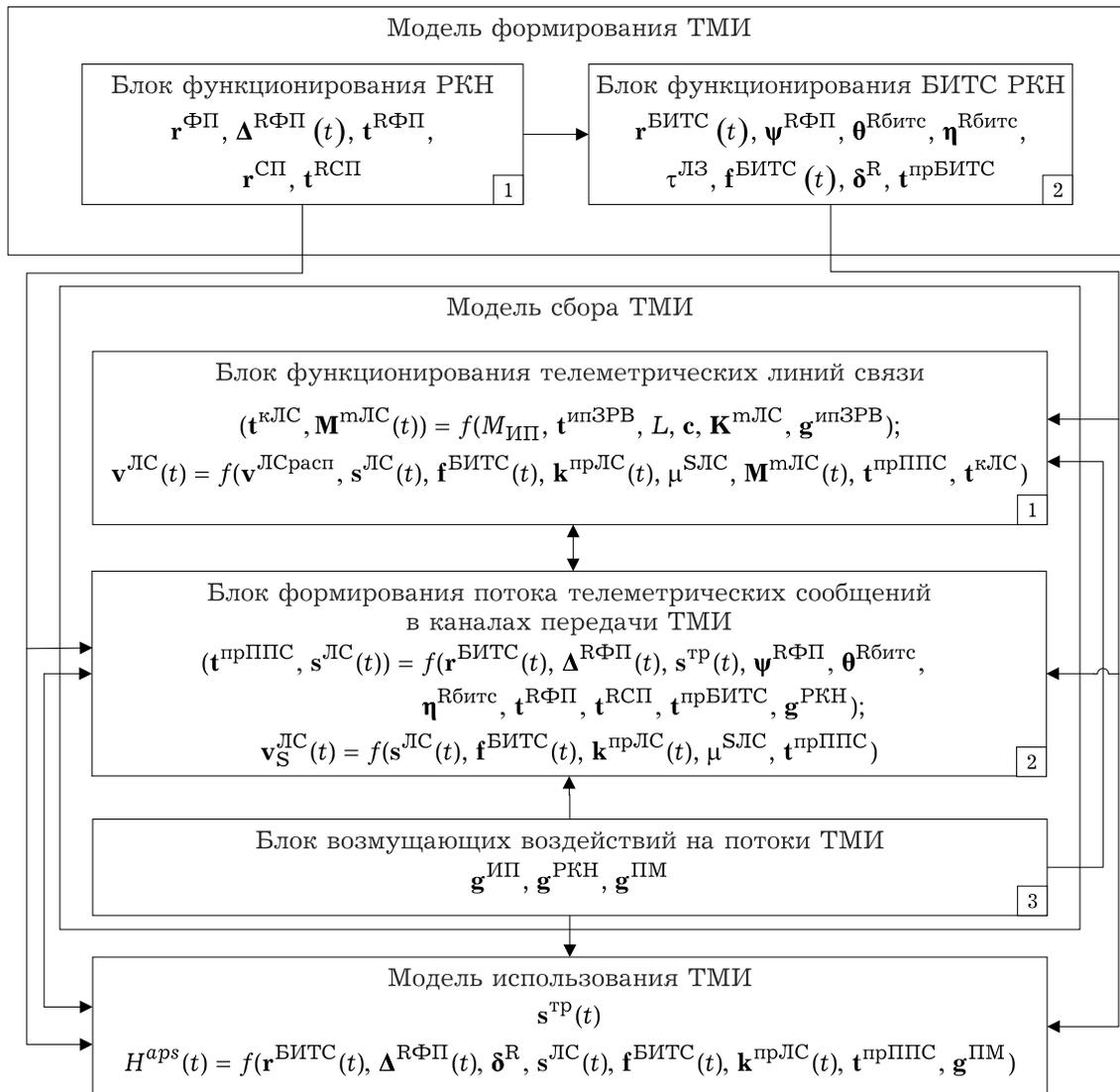


Рис. 2. Структурная схема модели функционирования СИТО запусков РКН

Модель сбора ТМИ описывает информационные процессы сбора ТМИ РКН по телеметрическим линиям связи в центры обработки. В качестве исходных данных в модели используются параметры форматов телеметрических сообщений, постоянные во времени параметры средств НИК РКН, требования по минимальному составу контролируемых параметров РКН и прогнозируемые возмущающие воздействия:

- $\mu^{\text{СЛС}}$ – количество разрядов сообщений телеметрируемых параметров;
- $M_{\text{ИП}}$ – состав ИП;
- $\mathbf{t}^{\text{ипЗРВ}}$ – времена зон радиовидимости ИП;
- L – состав задействованных телеметрических линий связи;
- $\mathbf{v}^{\text{ЛСрасп}}$ – располагаемые пропускные способности телеметрических линий связи;
- \mathbf{c} – количество комплектов каналообразующей аппаратуры в телеметрических линиях связи;

- $\mathbf{K}^{\text{мЛС}}$ – матрица признаков возможности коммутации ИП в телеметрические линии связи;
- $\mathbf{s}^{\text{ТР}}(t)$ – состав телеметрируемых параметров РКН, подлежащих обязательному контролю;
- $\mathbf{g}^{\text{ИП}}$ – вектор интервалов времени прогнозируемых искажений ТМИ, обусловленных плохими условиями приема радиосигнала в зонах радиовидимости ИП;
- $\mathbf{g}^{\text{РКН}}$ – вектор интервалов времени прогнозируемых искажений ТМИ, обусловленных плохими условиями излучения радиосигнала при проведении динамических операций отделения составных частей РКН.

Модель включает следующие блоки:

- блок функционирования телеметрических линий связи;
- блок формирования потока телеметрических сообщений в каналах передачи ТМИ;

– блок возмущающих воздействий на потоки ТМИ.

Первый блок модели описывает процессы распределения пропускной способности телеметрических линий связи между каналами передачи ТМИ с ИП. Функционирование телеметрических линий связи представлено в модели параметрами плана задействования каналов передачи ТМИ:

- $t^{кЛС}$ – времена коммутации ИП в каналы передачи ТМИ;
- $M^{мЛС}(t)$ – признаки коммутации ИП в телеметрические линии связи;
- $v^{ЛС}(t)$ – пропускная способность каналов передачи ТМИ.

Блок содержит две дискретные функциональные зависимости:

- зависимость параметров коммутации ИП в линии связи от параметров средств НИК РКН:

$$\begin{aligned} & (t^{кЛС}, M^{мЛС}(t)) = \\ & = f(M_{ИП}, t^{ипЗРВ}, L, c, K^{мЛС}, g^{ипЗРВ}); \end{aligned} \quad (1)$$

- зависимость пропускной способности каналов передачи ТМИ от параметров входов СИТО, коммутации ИП в линии связи, располагаемой пропускной способности линий связи, параметров потока телеметрических сообщений и форматов их передачи:

$$\begin{aligned} & v^{ЛС}(t) = f(v^{ЛСрасп}, s^{ЛС}(t), f^{БИТС}(t), \\ & k^{прЛС}(t), \mu^{СЛС}, M^{мЛС}(t), t^{прППС}, t^{кЛС}). \end{aligned} \quad (2)$$

Второй блок описывает процессы формирования и передачи потока телеметрических сообщений, представленных в модели параметрами программы формирования и плотности потока телеметрических сообщений:

- $t^{прППС}$ – времена действия программ формирования потока телеметрических сообщений;
- $s^{ЛС}(t)$ – состав потока телеметрических сообщений;
- $k^{прЛС}(t)$ – коэффициенты проживания телеметрических сообщений в потоке;
- $v_S^{ЛС}(t)$ – плотность потока телеметрических сообщений;

Блок содержит две дискретные функциональные зависимости:

- зависимость параметров состава потока телеметрических сообщений от параметров входов, требований к минимальному составу сообщений телеметрируемых параметров в информационном потоке, интервалов ухудшений ус-

ловий передачи радиотелеметрического сигнала с РКН:

$$\begin{aligned} & (t^{прППС}, s^{ЛС}(t)) = f(r^{БИТС}(t), \Delta^{RФП}(t), \\ & s^{ТР}(t), \psi^{RФП}, \theta^{Rбитс}, \eta^{Rбитс}, t^{RФП}, \\ & t^{РСП}, t^{прБИТС}, g^{РКН}); \end{aligned} \quad (3)$$

- зависимость плотности потока телеметрических сообщений от варьируемых параметров программы формирования информационных потоков и форматов передачи телеметрических сообщений:

$$\begin{aligned} & v_S^{ЛС}(t) = f(s^{ЛС}(t), f^{БИТС}(t), \\ & k^{прЛС}(t), \mu^{СЛС}, t^{прППС}). \end{aligned} \quad (4)$$

Третий блок описывает возмущающие воздействия на потоки телеметрических сообщений, которые используются при оценке помехоустойчивости системы.

Модель использования ТМИ описывает влияние параметров входов и варьируемых параметров системы на параметры, определяющие степень достижения цели функционирования СИТО запусков РКН – обеспечение минимума апостериорной неопределенности телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО:

$$\begin{aligned} & H^{aps}(t) = f(r^{БИТС}(t), \Delta^{RФП}(t), \delta^R, \\ & s^{ЛС}(t), f^{БИТС}(t), k^{прЛС}(t), t^{прППС}, g^{ПМ}), \end{aligned} \quad (5)$$

где $H^{aps}(t)$ – апостериорной неопределенности телеметрируемых параметров РКН.

При вычислительных экспериментах конкретизация модели функционирования СИТО запусков РКН осуществляется посредством задания расчетных параметров РКН, бортовых и наземных средств СИТО.

Для обеспечения адекватности модели в соответствующих алгоритмах учтены все значимые факторы, влияющие на результаты проведения ИТО запусков РКН.

Модульное построение модели функционирования СИТО запусков РКН обеспечивает достаточную автономность программных модулей при проведении вычислительных экспериментов, а также необходимую взаимосвязь модулей (по входным и выходным параметрам) при их объединении в последовательные вычислительные схемы моделирования основных процессов и при проведении поисковых процедур параметрического синтеза. Модель разработана в ориентированности на ее использования в оптимизационном и оценочном вариантах.

Заключение

Таким образом, модель функционирования СИТО запусков РКН можно представить в виде иерархической структуры, включающей три модели: модель формирования ТМИ, модель сбора ТМИ и модель использования ТМИ. В основе модели функционирования СИТО запусков РКН лежит математическое описание дискретных динамических процессов формирования, сбора и использования ТМИ РКН.

Предложенная модель является составной частью методического аппарата системных исследований функционирования СИТО запусков РКН и позволяет получать результаты для обоснования и выбора рациональных характеристик и параметров составных элементов СИТО запусков РКН.

Список литературы

1. Перегудов Ф.И. Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989. 360 с.
2. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 510 с.
3. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1982. 200 с.
4. Математическое моделирование в технике: учеб. для вузов. Изд. 2-е, стереотип. / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 496 с.
5. Пытьев Ю.П. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем. Изд. 2-е, перераб. М.: Физматлит, 2004. 400 с.
6. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. Изд. 2-е, испр. М.: Физматлит, 2005. 320 с.
7. Яглом И.М. Математические структуры и математическое моделирование. М.: Сов. радио, 1980. 144 с.
8. Информационные процессы в автоматизированных системах сбора и обработки информации / под общ. ред. Ю.Г. Ростовцева. Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1981. 223 с.
9. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов: учеб. пособ. для вузов по специальности «Автоматизация и механизация процессов обработки и выдачи информации». М.: Высшая школа, 1987. 248 с.
10. Советов Б.Я. Информационные технологии. М.: Высшая школа, 2004. 263 с.
11. Румянцев Е.Л., Слюсарь В.В. Информационные технологии: учеб. пособ. / под ред. Л.Г. Гагариной. М.: ИД «Форум»; Инфра-М, 2007. 256 с.
12. Летные испытания ракет и космических аппаратов / под ред. Е.И. Криницкого. М.: Машиностроение, 1979. 464 с.
13. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс / А.В. Назаров [и др.]. СПб.: Наука и техника, 2007. 672 с.
14. Кошевой А.А. Телеметрические комплексы летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. 312 с.
15. Папенко М.П. Измерительные информационные системы: Структура и алгоритмы, системотехническое проектирование: учеб. пособ. для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1985. 440 с.

Methodical bases of functioning of the system model information and telemetric ensuring starts of rockets of space appointment

A.V. Kuimov, A.V. Kononenko

Defines the basic structural-elements of functioning of a system of information telemetry ensuring starts rockets of space appointment. The contents of information processes in the system of information telemetry ensuring starts rockets of space appointment. Highlighted factors in the model functioning sieve. Formed functional dependence parameters characterizing the degree of attainment of the objectives of the system parameters, inputs and system state settings.

Keywords: model, parameters, information processes, functional dependencies, uncertainty, resources, bandwidth.
