



Куимов Андрей Владимирович

**Комплексная методика параметрического синтеза адаптивной системы
информационно-телеметрического обеспечения запусков
перспективных ракет космического назначения**

Специальность 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: **Матюшин Максим Михайлович**, доктор технических наук, первый заместитель генерального директора акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» – начальник Центра управления полетами, профессор кафедры «Системный анализ и управление» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты: **Вокин Григорий Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института космических систем имени А.А. Максимова – филиала Акционерного общества «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», заведующий базовой кафедрой управления и информационных технологий в космических системах государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова».

Ватугин Сергей Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник акционерного общества «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем».

Ведущая организация: Акционерное общество «СКБ Орион» (АО «СКБ Орион»), 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Тобольская, дом 12.

Защита состоится «20» октября 2022 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.327.03 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МАИ по ссылке: https://mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=165721

Автореферат разослан «_____» _____ 2022 г.

Отзывы, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, Отдел Ученого и диссертационных советов МАИ.

Ученый секретарь диссертационного совета
24.2.327.03, д.т.н., доцент



А.В. Старков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Отечественный и зарубежный опыт создания и эксплуатации ракет космического назначения (РКН) показывает, что на уровень их качества влияют работы на всех этапах жизненного цикла, его основы закладываются в ходе опытно-конструкторских работ, а поддержание и повышение осуществляется при эксплуатации. Ключевое место в данном процессе отводится летным испытаниям (ЛИ) и летной эксплуатации (ЛЭ), в ходе которых проводится отработка РКН в реальных условиях.

В процессе ЛИ и ЛЭ проводится набор и оценка опытных данных по условиям и режимам функционирования РКН при старте и в полете. Высокая сложность современных РКН, экстремальные режимы и условия функционирования приводят к необходимости измерений, сбора, обработки и оценки большого числа параметров, характеризующих состояние и режимы работы бортовых систем РКН. Однако существующие материально-техническая и научно-методическая базы системы информационно-телеметрического обеспечения (СИТО) не в полной мере обеспечивают выполнение современных требований к количеству и качеству измерительной информации, доставляемой в центры контроля полета (ЦКП) РКН. Существующая СИТО запусков РКН характеризуется высокой информационной избыточностью, перегрузкой всех ее элементов, не содержащими полезной информации данными, вызванными организацией сбора телеметрической информации (ТМИ) без учёта изменений режимов функционирования бортовых систем ракет носителей (РН) и разгонных блоков (РБ) и изменяющихся потребностей в ТМИ на различных этапах пуска и полета.

Проведенный анализ существующей научно-методической и материально-технической базы ИТО выявил следующие **противоречия**, требующие разрешения:

– в практической области – между высокой информационной производительностью бортовых радиотелеметрических систем (БРТС), устанавливаемых на РКН, и ограниченным ресурсом пропускной способности телеметрических линий связи (ТЛС);

– в теоретической области – между необходимостью использования системного подхода к организации сбора ТМИ и отсутствием методического аппарата определения рациональной программы сбора ТМИ, учитывающего характеристики ТЛС и изменяющиеся на различных этапах пуска и полета РКН потребности в ТМИ.

Все вышеописанное определяет важность и **актуальность решаемой в диссертации научной задачи** – разработка методического аппарата параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН, обеспечивающего согласование изменяющихся на различных этапах пуска и полета РКН потребностей в ТМИ с располагаемыми ресурсами ТЛС.

Степень разработанности темы исследования. Вопросам разработки научно-методических подходов создания и совершенствования систем информационного обеспечения испытаний и применения космических средств (КСр) посвящены труды Валова Н.Н., Вершинина А.Б., Некрасова М.В., Матюшина М.М., Пакмана Д.Н., Титова А.М., (АО «ЦНИИМаш»), Макарова М.И., Чаплинского В.С. (АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»), Ватутина В.М., Круглова А.В. (АО «РКС»), Охтилева М.Ю., Чуприкова А.Ю., Каргина В.А. (АО «СКБ Орион»), Малышева В.В., Моисеева Д.В. (МАИ) Сидякина И.М., Свалова Ю.Л., Павлова Ю.Н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Авдеева Б.Я, Алексеева В.В., Цветкова Э.И. (СпбГЭТУ «ЛЭТИ»), Прошина Е.М. (РГРТУ), Антамошкина А.Н. (СибГУ), Бондаревой М.К. (ГИКЦ МО РФ),

Кукушкина С.С. (4 ЦНИИ МО РФ), Козырева Г.И., Копкина Е.В., Мануйлова Ю.С. (ВКА им. А.Ф. Можайского).

Вопросы совершенствования научно-методической базы СИТО испытаний и применения КСр, обоснования путей развития испытательного комплекса рассматриваются в научно-исследовательских работах, выполняемых АО «ЦНИИмаш», 46 ЦНИИ МО РФ, ЦНИИ ВКС МО РФ.

Кроме того, имеется ряд диссертационных работ, связанных с исследованиями в области информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) испытаний и применения КСр, а также технических систем народнохозяйственного назначения.

Однако до настоящего времени недостаточно полно исследованы вопросы, связанные с информационным обменом между составными элементами СИТО при проведении запусков РКН, в том числе со сбором информации от пространственно-разнесенных средств приема и регистрации ТМИ в ЦКП РКН. Поэтому разработка методического аппарата параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН остается актуальной.

Цель исследования состоит в повышении качества информационного обеспечения ЛИ и ЛЭ современных и перспективных РКН при выведении КА на орбиту.

Объектом исследования является адаптивная СИТО запусков РКН.

Предметом исследования является совокупность методик параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков РКН, обеспечивающих определение рациональной программы сбора ТМИ при проведении информационного обеспечения запуска РКН.

Область исследования: тема и содержание диссертации соответствует специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (отрасль: технические науки)»

Для достижения поставленной цели в работе решаются **частные научно-технические задачи**, определяющие ее содержание и этапы:

1. Системный анализ основных процессов и условий функционирования СИТО запусков РКН, обоснование методического подхода к формированию адаптивных процедур.

2. Формализация задачи параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков РКН, разработка структурной схемы решения.

3. Анализ и выбор методов, обеспечивающих параметрический синтез адаптивной СИТО, разработка методической схемы решения поставленной задачи.

4. Разработка методик, обеспечивающих определение рациональной программы сбора ТМИ при проведении информационного обеспечения запуска РКН.

5. Проведение практических расчетов по определению рациональной программы сбора ТМИ при обеспечении запусков РКН.

6. Оценка полученных результатов и работоспособности разработанного методического аппарата, обоснование рекомендаций по созданию адаптивной СИТО запусков перспективных РКН.

Научная новизна работы:

1. Предложен новый подход к решению задачи параметрического синтеза СИТО запусков РКН, отличающийся от традиционных комплексным учетом параметров информационных процессов, реализуемых элементами СИТО, что позволяет согласовать изменяющиеся на различных этапах пуска и полета РКН потребности в ТМИ с возможностями средств передачи информации.

2. Разработаны методики определения рациональных значений варьируемых параметров СИТО запусков РКН, отличающиеся от существующих двух этапным

проведением поисковых процедур и расчетов с использованием математического аппарата последовательной оптимизации, что позволяет отыскать рациональные взаимно адаптированные значения параметров плана задействования каналов передачи ТМИ и параметров плана формирования потока телеметрических сообщений.

3. Впервые поиск рациональных значений параметров плана формирования потока телеметрических сообщений проведен с использованием комплекса показателей и критериев количества информации, что в отличие от существующих подходов позволяет сформировать нормированное метрическое пространство поиска значений параметров потока сообщений разнородных телеметрируемых параметров РКН.

4. Введен новый частный показатель качества СИТО – коэффициент потери информации, позволяющий проводить оценку сообщений разнородных телеметрируемых параметров РКН в единой относительной шкале и свести многомерный поиск значений параметров потока сообщений телеметрируемых параметров РКН к одномерному.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии прикладных элементов системного анализа, теории информации и методов оптимизации в приложении их к организации ИТО запусков современных и перспективных РКН.

Практическая значимость полученных результатов состоит в:

- существенном снижении неопределенности телеметрических данных о состоянии РН и РБ, доставляемых потребителям при информационном обеспечении пуска и полета РКН;
- их применимости для решения практических задач сбора ТМИ современных и перспективных РКН, оснащенных высокоинформативными БРТС, на существующей материально-технической базе ИТО;
- обосновании рекомендаций по созданию адаптивной СИТО запусков перспективных РКН.

При этом достигнуты следующие показатели:

- снижение апостериорной энтропии сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО от 17,9 % до 25,9 %;
- повышение информативности сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО от 16,5 % до 24,2 %.

Также обеспечивается устойчивость функционирования СИТО запусков РКН к нерасчетным изменениям динамики телеметрируемых параметров РН, связанных с возникновением и развитием нештатных (аварийных) ситуаций на борту РКН – потери информации не превысили 12,3 %.

Для решения указанных в диссертации задач использованы следующие **методология и методы исследования**: общие методы системного анализа и исследования операций, методы оптимизации, теории информации, теории вероятностей и обработки экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие научные результаты диссертации, полученные автором лично, обладающие научной новизной, практической значимостью и отличные от результатов, полученных другими авторами:

1. Методика определения количества информации о состоянии РКН в потоке телеметрических сообщений, отличающаяся от существующих использованием нового частного показателя количества информации «коэффициент потери информации».

2. Методика рационального распределения ресурса каналов передачи ТМИ между наземными измерительными пунктами (НИП), отличающаяся от существующих двухэтапным проведением поисковых процедур и расчетов.

3. Методика формирования рационального потока телеметрических сообщений РКН в каналах передачи ТМИ, отличающаяся от существующих двухэтапным проведением поисковых процедур и расчетов с комплексным использованием существующих и нового показателей количества информации.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается результатами практических исследований. Расхождение расчетных данных относительно расчетно-экспериментальных не превысило по показателям:

- апостериорная энтропия потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО – 6,09 %;
- информативность потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО – 5,1 %;
- коэффициент потери информации – 4,8 %.

Обоснованность разработанного методического аппарата обеспечивается корректной постановкой решаемой научной задачи, использованием методов исследований, не противоречащих основным положениям системного анализа и исследования операций, корректным использованием методов теории информации.

Основные результаты диссертации прошли апробацию на семинаре кафедры «Системный анализ и управления» МАИ, в рамках докладов на научно-технических советах АО «ЦНИИмаш», а также на российских конференциях: XXI Межведомственная научно-практическая конференция «Научно-практические аспекты совершенствования управления космическими аппаратами и информационного обеспечения запусков космических аппаратов» (2017 г.), «Девятые научные чтения по военной космонавтике памяти М.К. Тихонравова «Космос и обеспечение безопасности России» (2017 г.), III и VI Всероссийская научно-практическая конференция «Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления» (2017 г., 2020 г.), IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» (2018 г.), XXII Всероссийский семинар по управлению движением и навигации летательных аппаратов (2019 г.).

Полученные в диссертации результаты внедрены в АО «ЦНИИмаш» (акт № 08/АК-01 от 15.03.2022), ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева» (акт № 11Ц-6/318 от 10.03.2022).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 217 листов машинописного текста и содержит: рисунков 53, таблиц 30, список литературы включает 122 наименований на 13 листах, приложение (акты внедрения) на 3 листах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены объект, предмет исследований, сформулированы цель работы и научная задача исследования, основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна; перечислены основные результаты работы, теоретическая и практическая значимость; дана краткая аннотация работы; отражена апробация и внедрение результатов диссертации.

В первой главе проведен системный анализ существующей СИТО запусков РКН. Выявлено существующее противоречие между высокой информационной производительностью БРТС, установленных на РКН, избыточностью формируемой ими

ТМИ с одной стороны и ограниченной пропускной способностью ТЛС, несовершенством реализованных в СИТО методов передачи ТМИ – с другой, что не позволяет осуществить доставку в ЦКП всей ТМИ, необходимой для контроля и оценивания функционирования РКН в полете. Данное противоречие обосновывает потребность в использовании адаптивного сбора ТМИ в ЦКП.

Анализ методических подходов к формированию адаптивных процедур показал преимущества метода «программной кусочно-равномерной дискретизации» для формирования потока телеметрических сообщений в каналах передачи ТМИ в соответствии с изменяющимися режимами функционирования бортовых систем РКН.

На основе формализованного описания структуры и процессов функционирования показано, что СИТО запусков РКН, как информационная система, является взаимосвязанной совокупностью информационных процессов и потоков, обеспечивающих потребителей данными, необходимыми для контроля и оценивания функционирования РКН в полете.

Цель функционирования СИТО запусков РКН достигается минимизацией апостериорной энтропии сообщений телеметрируемых параметров на выходе СИТО ($H^{aps} \rightarrow \min$) при ограничении на информационную производительность по пропускной способности ТЛС ($V_S^{LS} \leq V_{расп}^{LS}$), и реализуется через определение программы сбора ТМИ, обеспечивающей рациональное распределение ресурса пропускной способности каналов передачи ТМИ между НИП, и формирование рационального потока телеметрических сообщений в каналах передачи ТМИ.

Рациональное распределение ресурса каналов передачи ТМИ заключается в определении значений варьируемых параметров СИТО (t^{kLS}, M^{mLS}, v^{LS}), обеспечивающих непрерывную доставку ТМИ РКН в ЦКП в пределах зон радиовидимости (ЗРВ) НИП и распределение ресурса каналов передачи ТМИ между НИП пропорционально плотности потоков ТМИ, где t^{kLS} – интервалы времен коммутации НИП в ТЛС, M^{mLS} – матрица коммутации НИП в ТЛС, v^{LS} – пропускная способность каналов передачи ТМИ от НИП.

Формирование рационального потока телеметрических сообщений в каналах передачи ТМИ заключается в определении значений варьируемых параметров СИТО ($t^{prPPS}, s^{LS}, k^{prLS}$), обеспечивающих максимальную полноты охвата контролем телеметрируемых параметров и максимальные частоты выдачи сообщений при ограничении на пропускную способность каналов передачи ТМИ, где t^{prPPS} – интервалы времен участков плана формирования потока телеметрических сообщений, s^{LS} – состав потока телеметрических сообщений, k^{prLS} – коэффициенты прореживания сообщений телеметрируемых параметров в потоке сообщений.

Таким образом, задачей исследования является параметрический синтез адаптивной СИТО запусков перспективных РКН. Математическая постановка которой выглядит следующим образом.

Даны:

1. Параметры наземного измерительного комплекса (НИК) РКН:
 - состав НИП в НИК (M_{IP});
 - интервалы времен ЗРВ НИП (t^{ipZRV});
 - состав ТЛС в НИК (L);
 - ресурс пропускной способности ТЛС ($v^{LSрасп}$);
 - количество комплектов каналовобразующей аппаратуры в ТЛС (c);
 - размер сообщений телеметрируемых параметров в ТМИ (μ^{SLS}).

2. Параметры бортовой информационно-телеметрической системы (БИТС) РКН:
 - интервалы времен действия программ измерений БИТС ($\mathbf{t}^{\text{prBITS}}$);
 - состав телеметрируемых параметров РКН (\mathbf{r}^{BITS});
 - частоты опроса телеметрируемых параметров РКН (\mathbf{f}^{BITS});
 - аппаратные погрешности измерений функциональных параметров (δ^{R}).
3. Состав и характеристики телеметрируемых параметров РКН:
 - расчетные интервалы времен характерных участков изменения телеметрируемых функциональных параметров РКН (\mathbf{t}^{RFP});
 - расчетные диапазоны изменения функциональных параметров (Δ^{RFP});
 - расчетные интервалы времен срабатывания сигнальных параметров (\mathbf{t}^{RSP}).
4. Параметры прогнозируемых возмущающих воздействий (\mathbf{g}).
5. Требуемый минимальный состав телеметрируемых параметров, необходимых для оценивания бортовых систем РКН (\mathbf{s}^{tr}).

Требуется определить значения варьируемых параметров СИТО, описываемых векторными функциональными зависимостями:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{t}^{\text{kLS}} &= f(\mathbf{t}^{\text{ipZRV}}, \mathbf{g}); \\
 \mathbf{M}^{\text{kLS}} &= f(\mathbf{t}^{\text{ipZRV}}, \mathbf{t}^{\text{kLS}}); \\
 \mathbf{v}^{\text{LS}} &= f(\mathbf{v}^{\text{LSrasp}}, \mathbf{s}^{\text{LS}}, \mathbf{f}^{\text{BITS}}, \mathbf{k}^{\text{prLS}}, \mathbf{t}^{\text{prBITS}}, \mathbf{t}^{\text{kLS}}, \mathbf{M}^{\text{kLS}}); \\
 \mathbf{t}^{\text{prPPS}} &= f(\mathbf{t}^{\text{RSP}}, \mathbf{t}^{\text{RFP}}, \mathbf{t}^{\text{prBITS}}, \mathbf{g}); \\
 \mathbf{s}^{\text{LS}} &= f(\mathbf{r}^{\text{BITS}}, \mathbf{t}^{\text{RSP}}, \mathbf{t}^{\text{RFP}}, \Delta^{\text{RFP}}, \mathbf{t}^{\text{prPPS}}, \mathbf{s}^{\text{tr}}); \\
 \mathbf{k}^{\text{prLS}} &= f(\mathbf{s}^{\text{LS}}, \mathbf{t}^{\text{RSP}}, \mathbf{t}^{\text{RFP}}, \Delta^{\text{RFP}}, \mathbf{f}^{\text{BITS}}, \mathbf{t}^{\text{prPPS}}),
 \end{aligned} \tag{1}$$

минимизирующих апостериорную энтропию сообщений телеметрических параметров РКН на выходе СИТО

$$H^{\text{aps}} = f(\mathbf{r}^{\text{BITS}}, \mathbf{t}^{\text{RSP}}, \mathbf{t}^{\text{RFP}}, \Delta^{\text{RFP}}, \delta^{\text{R}}, \mathbf{s}^{\text{LS}}, \mathbf{f}^{\text{BITS}}, \mathbf{k}^{\text{prLS}}, \mathbf{g}) \rightarrow \min, \tag{2}$$

при ограничениях на:

1. информационную производительность по пропускной способности каналов передачи ТМИ $v_s^{\text{LS}}(t) \leq \min_{m \in M^{\text{kLS}}} \sum_{l \in L} v_{m,l}^{\text{LS}}(t)$;

2. состав сообщений телеметрических параметров РКН в каналах передачи ТМИ по минимальной требуемой полноте охвата контролем $S^{\text{LS}}(t) \geq S^{\text{tr}}(t)$;

3. количество одновременно коммутированных НИП в ТЛС по располагаемому составу каналообразующей аппаратуры $M_i^{\text{kLS}}(t) \leq C_i$;

где $v_s^{\text{LS}} = \sum_{s \in S^{\text{LS}}} \frac{f_s^{\text{BITS}}}{k_s^{\text{prLS}}} \cdot \mu^{\text{SLS}}$ – плотность потока телеметрических сообщений в каналах передачи ТМИ.

Во второй главе разработана структурно-логическая схема методического аппарата параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН.

Анализ математических методов условной оптимизации, а также технических и информационных свойств, структуры и процессов функционирования СИТО привел к целесообразности использования математического аппарата последовательной оптимизации для решения поставленной задачи.

В основу структурно-логической схемы методического аппарата положена модель функционирования СИТО запусков РКН, которая представляет собой иерархическую структуру, включающую три взаимосвязанные модели: формирования, сбора и использования ТМИ РКН. Для учета изменения во времени параметров элементов СИТО в математической модели используется дискретное представление

динамики процессов функционирования, в соответствии с которым значения параметров элементов СИТО изменяются в определенные моменты времени при наступлении событий циклограммы полета РКН и ЗРВ НИП.

Методическая схема решения задачи параметрического синтеза приведена на рисунке 1.

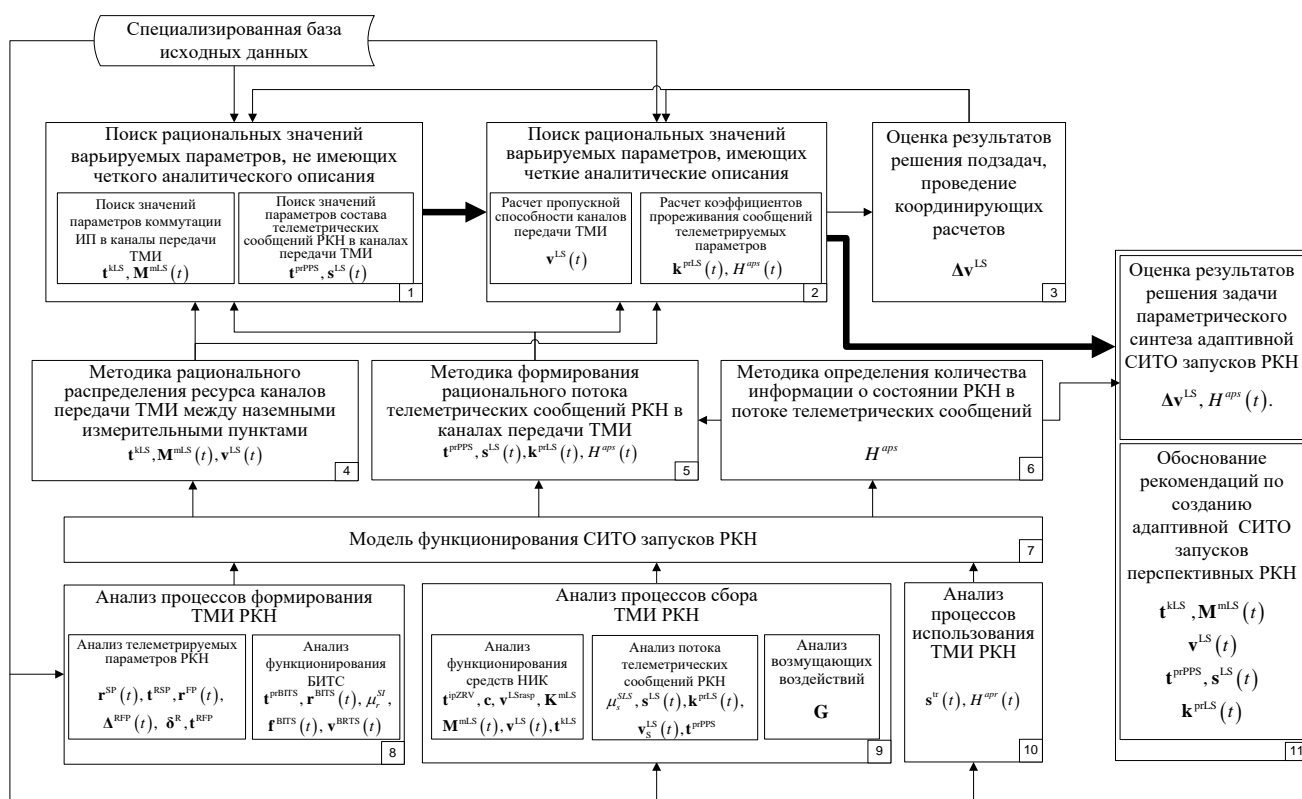


Рисунок 1 – Методическая схема решения задачи параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков РКН

Параметрический синтез адаптивной СИТО запусков РКН заключается в последовательном решении подзадач поиска рациональных значений четырех групп варьируемых параметров:

- параметров графика коммутации НИП в каналы передачи ТМИ ($t^{kLS}, M^{mLS}(t)$);
- пропускной способности каналов передачи ТМИ ($v^{LS}(t)$);
- параметров графика выдачи телеметрических сообщений в каналы передачи ТМИ ($t^{ppPS}, s^{LS}(t)$);
- коэффициентов прореживания сообщений телеметрируемых параметров РКН ($k^{prLS}(t)$).

Согласование входных и выходных данных поисковых подзадач и сходимость решения исходной задачи обеспечивается посредством проведения координирующих расчетов.

Решение поисковых подзадач проводится с помощью трех частных методик:

- определения количества информации о состоянии РКН в потоке телеметрических сообщений;
- рационального распределения ресурсов каналов передачи ТМИ между НИП;
- формирования рационального потока телеметрических сообщений РКН в каналах передачи ТМИ.

В третьей главе разработаны методики параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН.

Определение степени достижения цели функционирования СИТО запусков РКН осуществляется при помощи методики определения количества информации о состоянии РКН в потоке телеметрических сообщений в основу, которой положен математический аппарат дискретной энтропии случайных событий и процессов и концепция «интервальных» гипотез средств измерений и контроля.

В настоящее время в качестве показателей количества информации рассматриваются:

– апостериорная энтропия телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО (H_{aps});

– количество информации, содержащейся в сообщениях телеметрируемых параметров РКН (I);

– коэффициент информативности $J = I / (v_s^{LS} \cdot t_K)$, где t_K – времена контроля телеметрируемых параметров.

В методике вводится новый показатель количества информации, характеризующий качество процессов сокращения информационной избыточности – коэффициент потери информации, определяемый как отношение энтропии телеметрируемых параметров на выходе СИТО к энтропии на выходе БИТС $K_H^{LS} = H_{aps} / H_{aps}^{BITS}$, где H_{aps}^{BITS} – апостериорная энтропия телеметрируемых параметров на выходе БИТС РКН.

Методика представляет собой двухуровневую структуру, приведенную на рисунке 2.

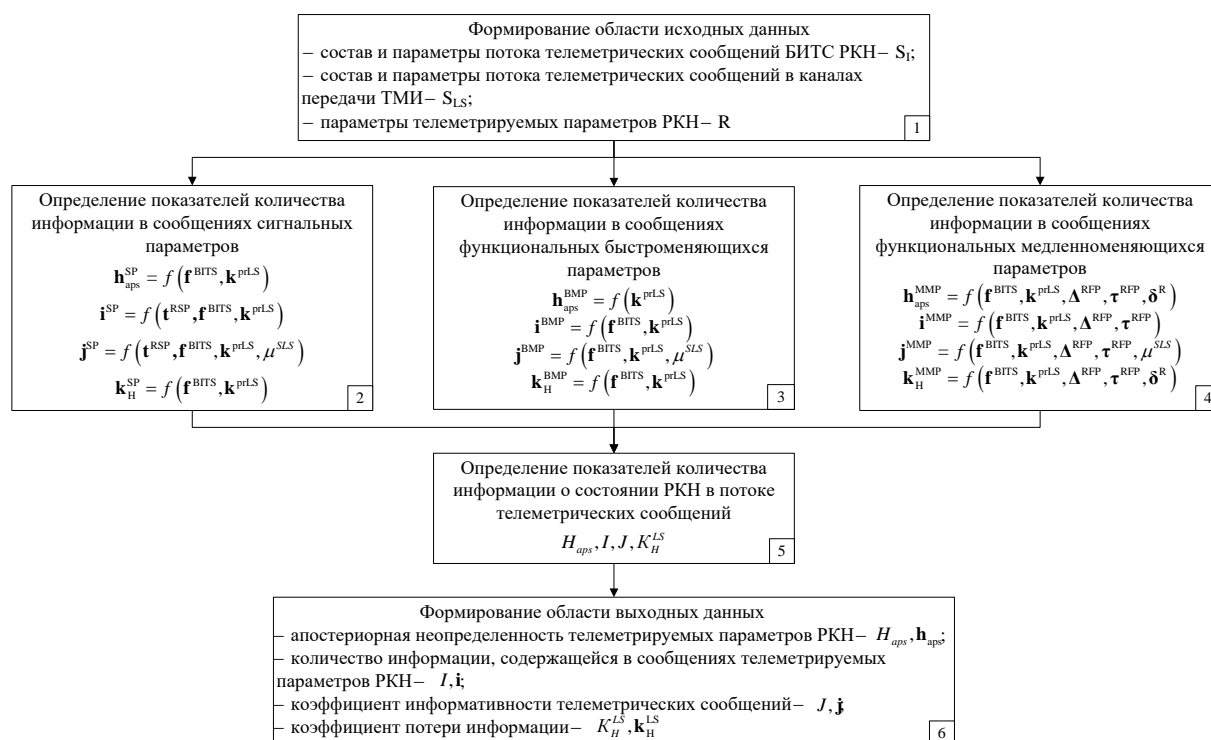


Рисунок 2 – Структурная схема методики определения количества информации о состоянии РКН в потоке телеметрических сообщений

На первом уровне проводятся расчеты показателей количества информации в сообщениях отдельных телеметрируемых параметров по формулам, представленным в таблице.

На втором уровне проводятся расчеты по определению показателей количества информации группового потока. Расчеты основываются на свойстве аддитивности энтропии независимых процессов.

Апостериорная энтропия и количество информации определяются как суммы соответствующих показателей отдельных потоков сообщений телеметрируемых параметров

$$H_{aps} = \sum_{s^{SP}} h_{aps}^{SPs} + \sum_{s^{FP}} h_{aps}^{FPs}, \quad I = \sum_{s^{SP}} i^{SPs} + \sum_{s^{FP}} i^{FPs}. \quad (3)$$

Для телеметрируемых параметров РКН, не включенных в групповой поток, апостериорная энтропия сохраняет значение априорной ($h_{aps}^s = h_{apr}^s$), а количество информации равняется нулю ($i^s = 0$).

Таблица – Показатели количества информации

Показатель	Сигнальный параметр	Функциональный параметр
h_{aps}	$\log_2 \left(1.73 \cdot \frac{k^{prLS}}{f_s^{BITS} \cdot \tau_k} \right)$	$\log_2 \left(3,46 \cdot \left[\frac{ \varphi_s^{nRFP}(t_{i-1}) \cdot k_s^{prLS^2}}{8 f_s^{BITS^2}} \right] \right) + \log_2(4,14 \cdot \delta_s^R)$
i	$\log_2 \left(\frac{t_s^{RSP} \cdot f_s^{BITS}}{k_s^{prLS}} \right)$	$\log_2 \left(\left[\varphi_s^{nRFP}(t_{i-1}) \cdot \frac{k_s^{prLS}}{f_s^{BITS}} \right] \left/ \left[\frac{ \varphi_s^{nRFP}(t_{i-1}) \cdot k_s^{prLS^2}}{8 f_s^{BITS^2}} \right] \right. \right)$
j	$\log_2 \left(\frac{t_s^{RSP} \cdot f_s^{BITS}}{k_s^{prLS}} \right) \left/ \left(\frac{f_s^{BITS}}{k_s^{prLS}} \cdot \mu^{SLS} \cdot t_{ks} \right) \right.$	$\sum_i I^{MMPsi} \left/ \left(\frac{f_s^{BITS}}{k_s^{prLS}} \cdot \mu^{SLS} \cdot t_{oc} \right) \right.$
k_H	$1 + \frac{\log_2(k_s^{prLS})}{\log_2 \left(1.73 \cdot \frac{1}{f_s^{BITS} \cdot \tau_k} \right)}$	$\frac{\log_2 \left(3,46 \cdot \left[\frac{\max \varphi_s^{nRFP}(t) \cdot k_s^{prLS^2}}{8 f_s^{BITS^2}} \right] \right) + \log_2(4,14 \cdot \delta_s^R)}{\log_2 \left(3,46 \cdot \left[\frac{\max \varphi_s^{nRFP}(t) }{8 f_s^{BITS^2}} \right] \right) + \log_2(4,14 \cdot \delta_s^R)}$

Примечание: τ_k – длительность канального интервала БРТС, $\varphi_s^{nRFP}(t)$, $\varphi_s^{rRFP}(t)$ – значения первой и второй производных функции, описывающей идеальный процесс s -го функционального параметра.

Коэффициент информативности определяется по формуле

$$J = \frac{I}{v^S \cdot t_k} \quad (4)$$

Коэффициент потери информации определяется по формуле

$$K_H^{LS} = \frac{H_{aps}}{H_{aps}^{BITS}} \quad (5)$$

Возмущающие воздействия на поток телеметрических сообщений учитываются через увеличение меж опросного интервала вследствие отбраковки аномальных сообщений. Выходные результаты расчетов используются при проведении поисковых и оценочных процедур параметрического синтеза.

Определение рациональных значений плана задействования каналов передачи ТМИ проводится с использованием методики **рационального распределения ресурса каналов передачи ТМИ между НИП**.

Проводимые поисковые процедуры и расчеты направлены на выполнение критериев частных показателей плана задействования каналов передачи ТМИ:

– непрерывности передачи ТМИ в ЦКП $T^{SLS} = T^{ZRV}$, $m_l^{kLS}(t) \leq c_l$, $l=1..L$, где T^{ZRV} – ЗРВ НИП, T^{SLS} – время выдачи сообщений телеметрируемых параметров в каналы передачи ТМИ;

– пропорциональности распределения ограниченной пропускной способности ТЛС между каналами передачи ТМИ относительно плотности потока сообщений от НИП

$$\frac{\sum_{l \in L} v_{i,l}^{LS}}{\max_{q \in Q} \sum_{s \in S_q^{LS}} \left(\frac{f_{s,p}^{BITS}}{k_s^{prLS}} \cdot \mu_s^{IC} \right)} - \frac{\sum_{l \in L} v_{j,l}^{LS}}{\max_{q \in Q} \sum_{s \in S_q^{LS}} \left(\frac{f_{s,p}^{BITS}}{k_s^{prLS}} \cdot \mu_s^{LS} \right)} \rightarrow 0, i=1..M^{kLS}, j=1..M^{kLS}, i \neq j, (6)$$

для всех $(t_q^{prPPS} \cap t_m^{kLS} \neq \emptyset) \wedge (t_q^{prPPS} \cap t_p^{BITS} \neq \emptyset)$, $q=1..Q$, $p=1..P$, $m=1..M^{kLS}$, где P и Q – размеры векторов \mathbf{t}^{prBITS} и \mathbf{t}^{prPPS} , M^{kLS} – количество НИП, коммутируемых в ТЛС.

Структурная схема методики показана на рисунке 3.

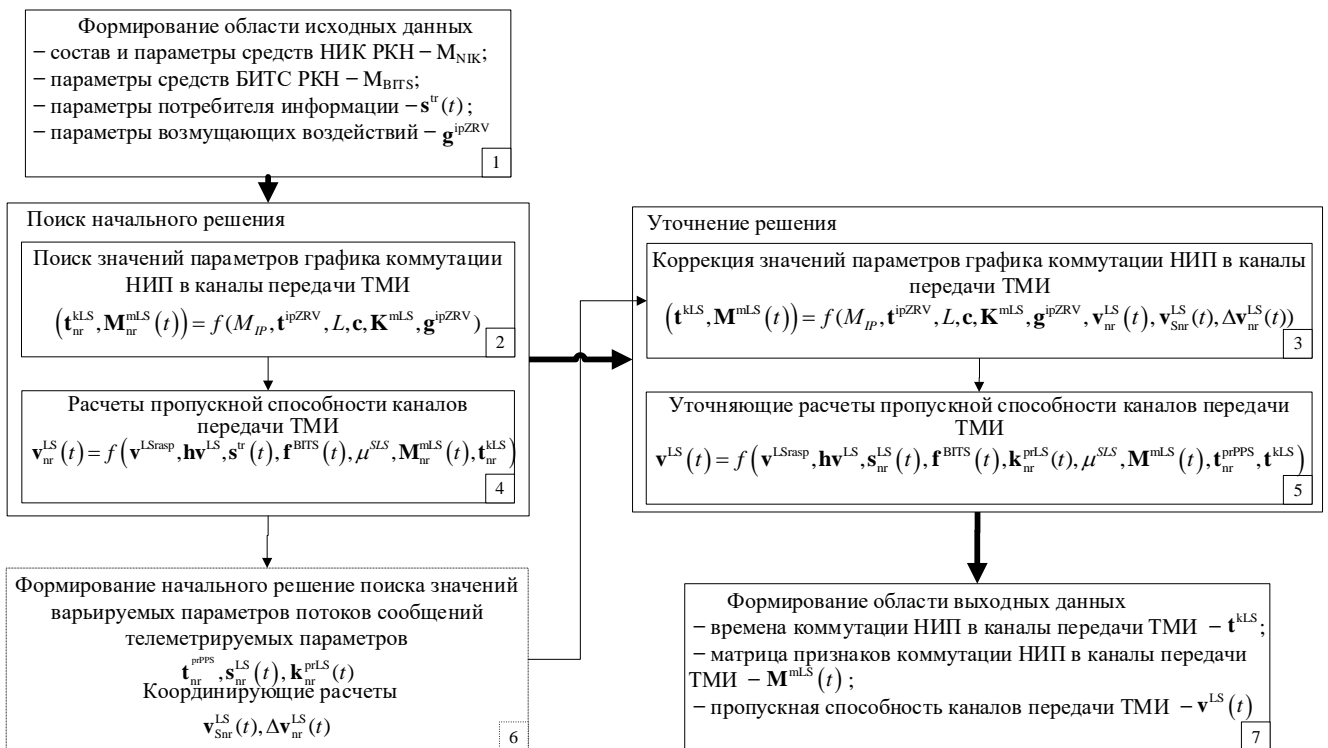


Рисунок 3 – Структурная схема методики рационального распределения ресурса каналов передачи ТМИ между НИП

Математический аппарат последовательной оптимизации реализуется через две группы процедур: поиска значений параметров графика коммутации НИП в каналы передачи ТМИ $(\mathbf{t}^{kLS}, \mathbf{M}^{mLS}(t))$ и расчета пропускной способности каналов передачи ТМИ $(\mathbf{v}^{LS}(t))$. Поисквые процедуры реализуются в два этапа.

На первом этапе, с учетом прогнозируемых искажений ТМИ, обусловленных условиями радиовидимости НИП (\mathbf{g}^{ipZRV}) , строятся ленточные графики коммутации НИП в ТЛС, обеспечивающие выполнение критерия непрерывности доставки ТМИ в ЦКП минимальным составом коммутированных НИП и проводятся расчеты пропускной способности каналов передачи ТМИ по исходным данным БИТС и потребителя информации.

На втором этапе проводится коррекция параметров коммутации НИП в каналы передачи ТМИ на предмет увеличения коммутированных НИП и проводится пересчет

пропускной способности каналов передачи ТМИ с учетом начального решения по формированию потока телеметрических сообщений. Коррекция осуществляется при наличии достаточного свободного ресурса пропускной способности l -й ТЛС и свободных комплектов каналообразующей аппаратуры

$$\min_t \left(v_l^{LSrasp} - \sum_{m \in M_{l,nr}^{mLS}} v_m^S(t) \right) \geq \max_t v^S(t), M_l^{mLS}(t) < c_l \text{ при } t \in t_m^{ipZRV}. \quad (7)$$

Для линеаризации критерия распределения пропускной способности ТЛС, введен параметр – коэффициент загрузки ТЛС, определяемый как отношение пропускной способности l -й телеметрической линии связи к максимальной суммарной плотности информационных потоков от одновременно коммутированных НИП

$$k_l^{zagr} = \frac{v_l^{LSrasp}}{\max_{m \in M, n \in N} \sum (v_m^p \cdot m_{lmn}^{mLS})}. \quad (8)$$

В этом случае, расчет пропускной способности проводится по формуле:

$$a_{lm} = \left[\frac{v_m^p \cdot m_{lmn}^{mLS} \cdot k_l^{zagr}}{h v_l^{LS}} \right] \quad (9)$$

при ограничениях на ресурс ТЛС в виде системы линейных неравенств:

$$\begin{cases} a_{l1} \cdot h v_1^{LS} \cdot m_{l1n}^{mLS} + \dots + a_{lm} \cdot h v_l^{LS} \cdot m_{lmn}^{mLS} + \dots + a_{lM} \cdot h v_M^{LS} \cdot m_{lMn}^{mLS} \leq v_l^{LSrasp} \\ \vdots \\ a_{l1} \cdot h v_1^{LS} \cdot m_{l1n}^{mLS} + \dots + a_{lm} \cdot h v_l^{LS} \cdot m_{lmn}^{mLS} + \dots + a_{lM} \cdot h v_M^{LS} \cdot m_{lMn}^{mLS} \leq v_l^{LSrasp} \\ \vdots \\ a_{l1} \cdot h v_1^{LS} \cdot m_{l1n}^{mLS} + \dots + a_{lm} \cdot h v_l^{LS} \cdot m_{lmn}^{mLS} + \dots + a_{lM} \cdot h v_M^{LS} \cdot m_{lMn}^{mLS} \leq v_l^{LSrasp} \end{cases}, \quad (10)$$

где a_{lm} – количество элементарных интервалов пропускной способности l -й ТЛС, выделяемых в канал передачи ТМИ от m -го НИП, $h v_l^{LS}$ – шаг деления пропускной способности l -й ТЛС, v_m^p – прогнозируемая максимальная плотность информационного потока от НИП, M_{lm}^{mLS} – признак наличия коммутации m -го НИП в l -й ТЛС, M – количество НИП, коммутируемых в ТЛС, m_{lmn}^{mLS} – признак наличия коммутации m -го НИП в l -й ТЛС при n -й коммутаций НИП в каналы передачи ТМИ.

Выходные результаты используются в качестве исходных данных при проведении поиска рациональных значений параметров плана формирования потока телеметрических сообщений в каналах передачи ТМИ.

Определение рациональных значений параметров плана формирования потока телеметрических сообщений проводится с использованием **методики формирования рационального потока телеметрических сообщений РКН в каналах передачи ТМИ**.

Проводимые в методике поисковые процедуры и расчеты направлены на выполнение критериев частных показателей плана формирования потока телеметрических сообщений:

– обеспечения максимальной полноты охвата контролем телеметрируемых параметров РКН $s^{LS}(t) \geq s^{tr}(t), s^{LS}(t) \rightarrow r^{BITS}(t)$;

– минимизации коэффициента потери информации для участков высокой динамики изменения $K_H^{LS} \rightarrow \min_{K^{prLS}(t)}$ и не ухудшения апостериорной энтропии на участках с

низкой динамикой относительно участков с высокой динамикой $h_{aps}^{sND} \leq h_{aps}^{sVD}$, при ограничениях на информационную производительность СИТО $v^S(t) \leq \min_{m \in M^{mLS}(t)} v_{m,l}^{LS}$ для всех

$t^{prPPS} \cap t^{prLS} \neq \emptyset$ где h_{aps}^{sND} – апостериорная энтропия сообщений телеметрируемого

параметра на участке функционирования с низкой динамикой изменения, h_{aps}^{sVD} – апостериорная энтропия сообщений телеметрируемого параметра на участке функционирования с высокой динамикой изменения. Структурная схема методики показана на рисунке 4.

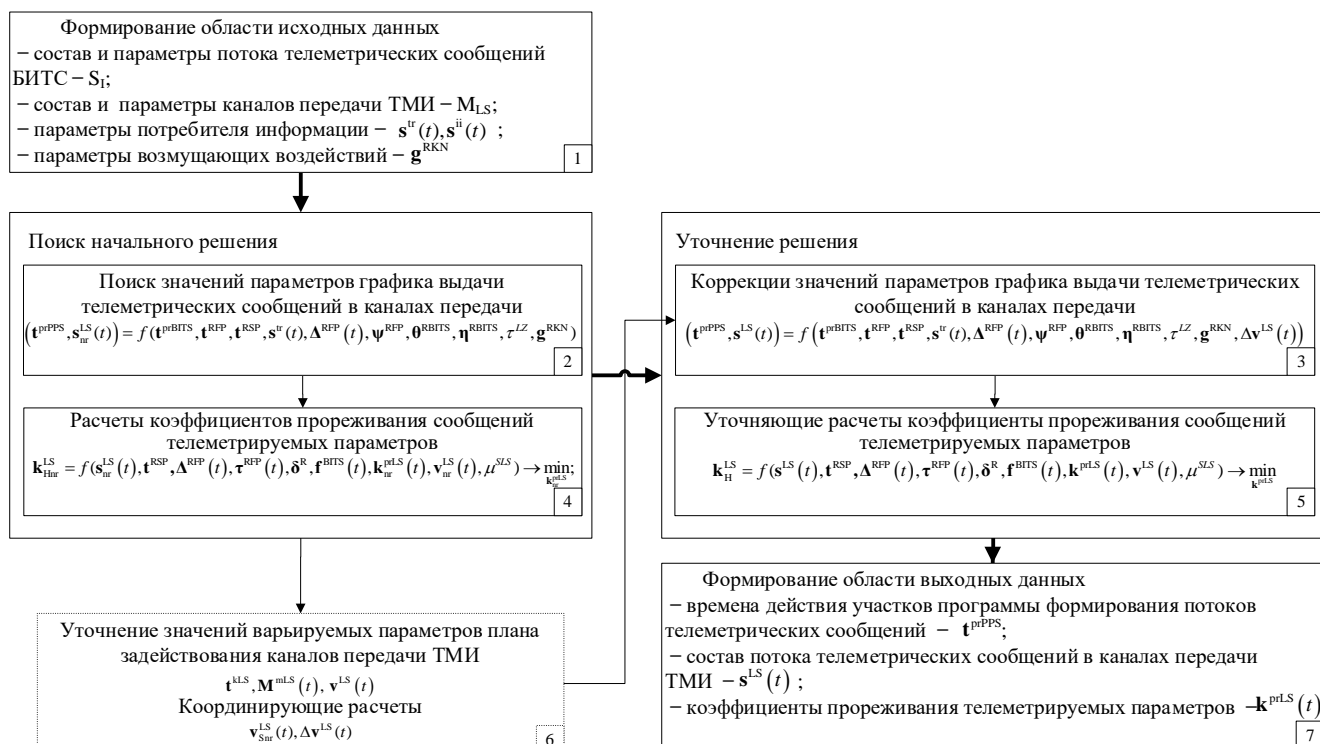


Рисунок 4 – Структурная схема методики формирования рационального потока телеметрических сообщений РКН в каналах передачи ТМИ

Поиск рациональных значений параметров потока телеметрических сообщений проводится в два этапа. На первом этапе проводится поиск начального решения значений параметров графика выдачи сообщений $(t^{prPPS}, s^{LS}(t))$, обеспечивающих минимальную требуемую полноту охвата контролем и проводятся расчеты коэффициентов прорезивания сообщений телеметрируемых параметров $(k_{ин}^{prLS}(t))$. На втором проводится уточнение решения на предмет увеличения состава сообщений телеметрируемых параметров в каналах передачи ТМИ. Условием расширения состава сообщений $(s^{LS}(t))$ на q -м участках плана формирования потока телеметрических сообщений является наличие свободного ресурса пропускной способности в каналах передачи ТМИ

$$\Delta v_q^{LS} = \min_{m \in M^{mLS}} v_{m,l}^{LS}(t) - v_{nr}^S(t), \text{ при } t \in t_q^{prPPS}. \quad (11)$$

График выдачи телеметрических сообщений строится исходя из минимальных потребностей в контроле телеметрируемых параметров $(s^r(t))$, признаков прямых или косвенных измерений (Ψ^{RFP}) , видов сообщений (первичных преобразователя или цифровых устройств: БЦВМ и НАП) (θ^{RBITS}) , наличия дублирующей выдачи сообщений через статическое кольцевое запоминающее устройство (СКЗУ) (η^{RBITS}) и времени задержки выдачи (τ^{LZ}) , интервалов прогнозируемых искажений ТМИ, обусловленных условиями излучения радиосигнала при проведении динамических операций РКН (g^{RKN}) .

Расчеты значений коэффициентов прорезивания проводятся с использованием методики определения количества информации о состоянии РКН в потоке

телеметрических сообщений. На участках с высокой динамикой осуществляется прямой итерационный поиск с переменным по «Правилу золотого сечения» шагом спуска, обеспечивающему хорошую скорость и сходимость поисковых итераций. За начальную точку поиска принимается минимальное значение верхней границы области поиска значений коэффициентов потери информации телеметрических сообщений

$$k_{H0}^{LS} = \min_{s_{nr}^{LS}} \left(\frac{h_{apr}^s}{h_{aps}^{LS}} \right) \text{ при нижней границе поиска } k_{Hs}^{LS} = 1. \text{ При этом на каждом шаге}$$

принимается ближайшее верхнее целое значение коэффициентов прореживания $\lceil k_{sk}^{nplSnr} \rceil$.

Поиск останавливается при достижении сверху нижней границы области допустимых решений по пропускной способности каналов передачи ТМИ. Расчеты проводятся для каждого участка плана формирования потока телеметрических сообщений. При этом комплексное использование показателей количества информации для проведения поисковых расчетов с учетом принятого допущения равнозначности телеметрируемых параметров позволяет свести многомерную оптимизационную подзадачу поиска рациональных значений коэффициентов прореживания (k^{prLS}) сообщений разнородных телеметрируемых параметров РКН к одномерной в относительной шкале нормированного метрического пространства.

Структурированная совокупность частных методик образует **комплексную методику параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН**, предназначенную для определения рациональных значений варьируемых параметров СИТО, составляющих программу сбора ТМИ при обеспечении запусков РКН, оценки полученных результатов и обоснования рекомендаций по созданию адаптивной СИТО запусков перспективных РКН. Структурная схема комплексной методики приведена на рисунке 5.

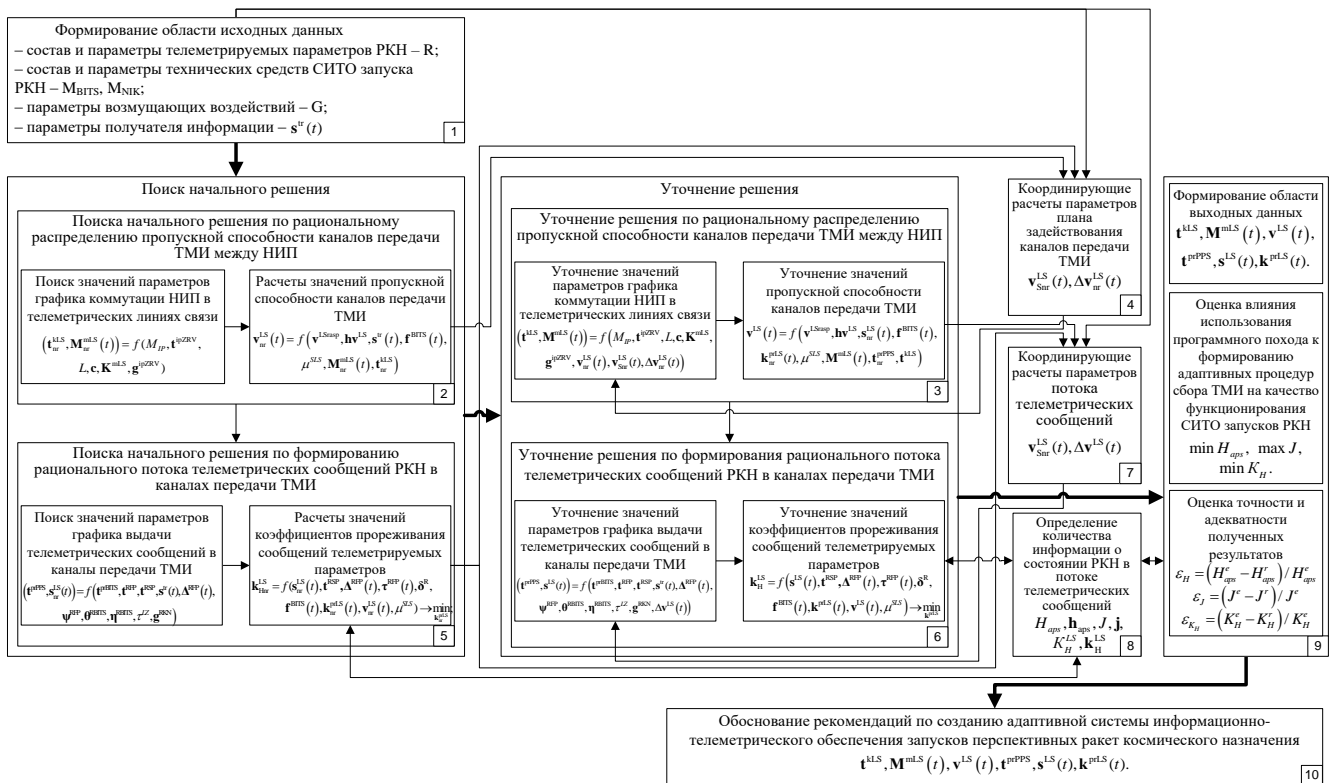


Рисунок 5 – Структурная схема комплексной методики параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН

В четвертой главе проведены практические исследования по созданию адаптивной СИТО запусков перспективных РКН. Поискковые процедуры выполнены на основе исходных данных РКН «Протон-М» – «Бриз-М» при запусках КА с космодрома «Байконур». В процессе практических исследований сформированы расчетные данные, составляющие рациональную программу сбора ТМИ при проведении первого сеанса ИТО пуска и полета РКН, включающую план задействования каналов передачи ТМИ и план формирования потока телеметрических сообщений (рисунок 6).

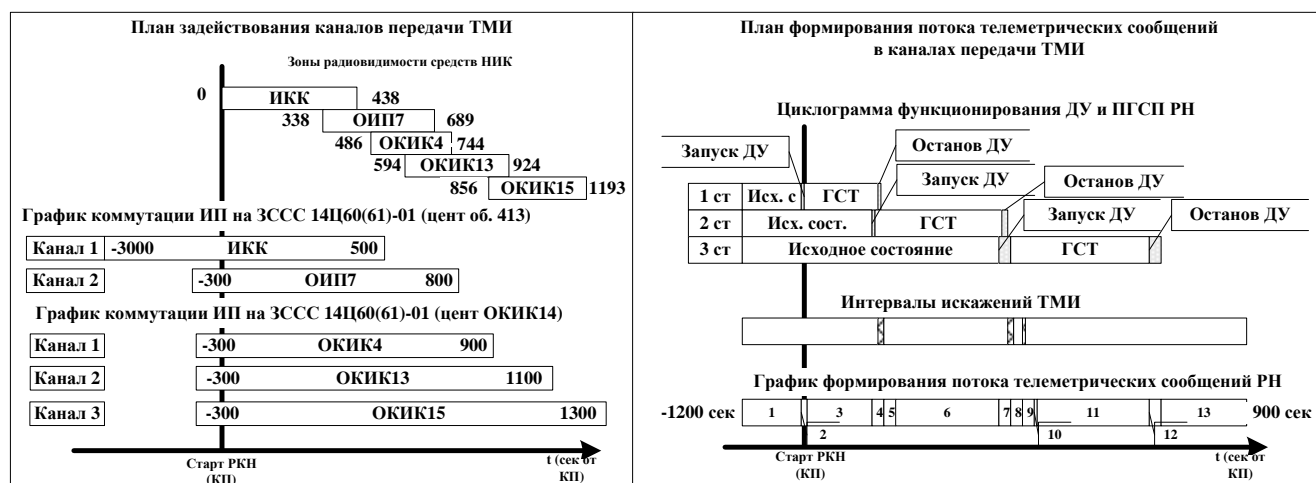


Рисунок 6 – Программа сбора ТМИ на первом сеансе ИТО запуска РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М»

Разработанная программа сбора ТМИ позволяет осуществить непрерывную доставку телеметрических сообщений в ЦКП в пределах ЗРВ НИП, при этом обеспечивается полный охват контролем телеметрируемых параметров РКН и компенсация потерь ТМИ на интервалах прогнозируемых искажений телеметрическими сообщениями, выдаваемыми через СКЗУ.

Работоспособность разработанного методического аппарата и достоверность полученных результатов подтверждены вычислительным экспериментом с использованием материалов регистрации ТМИ двадцати шести пусков РН «Протон» при выведении «условно легких» КА на орбиту. Расхождения средних выборочных расчетно-экспериментальных данных относительно расчетных не превысили по показателям:

- апостериорная энтропия потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО – 6,09 %;
- информативность потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО – 5,1 %;
- коэффициент потери информации – 4,8 %.

Максимальные значения диапазонов доверительных интервалов ($\pm 3\sigma$) расчетно-экспериментальных значений (в % от их выборочных средних значений) составили:

- апостериорной энтропии потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО – 0,59 %;
- информативности потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО – 0,73 %;
- коэффициента потери информации – 0,86 %.

На рисунке 7 представлены гистограммы распределения расчетно-экспериментальных значений показателей количества информации и аппроксимирующие их графики плотности вероятности распределения (апостериорная

энтропия телеметрируемых параметров потока телеметрических сообщений (а), коэффициент информативности потока телеметрических сообщений (б), коэффициент потери информации в потоке телеметрических сообщений (в)).

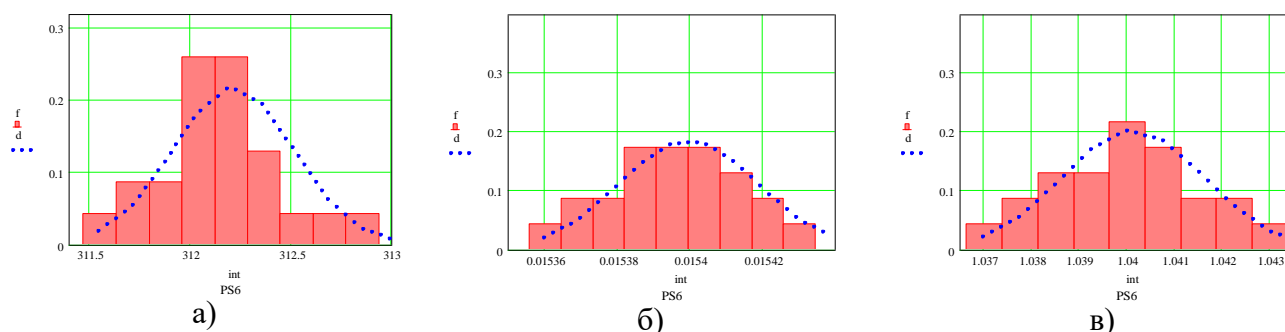


Рисунок 7 – Плотность распределения расчетно-экспериментальных значений показателей количества информации на участке главной ступени тяги ДУ 2-й ступени

Оценка полученных результатов подтвердила преимущества программного подхода для формирования адаптивных процедур сбора ТМИ в СИТО запусков РКН – реализация полученного варианта программы сбора ТМИ позволяет повысить качество СИТО запусков РКН по показателям:

- апостериорная энтропия потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО снижена от 17,9 % до 25,9 %;
- информативность потока сообщений телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО повышена от 16,5 % до 24,2 %.

На рисунке 8 приведены значения показателей «апостериорная энтропия потока телеметрических сообщений» (а) и «информативность потока телеметрических сообщений» (б) при программном (красные гистограммы) и неадаптивном (синие гистограммы) формировании потока телеметрических сообщений на этапах пуска и полета РКН.

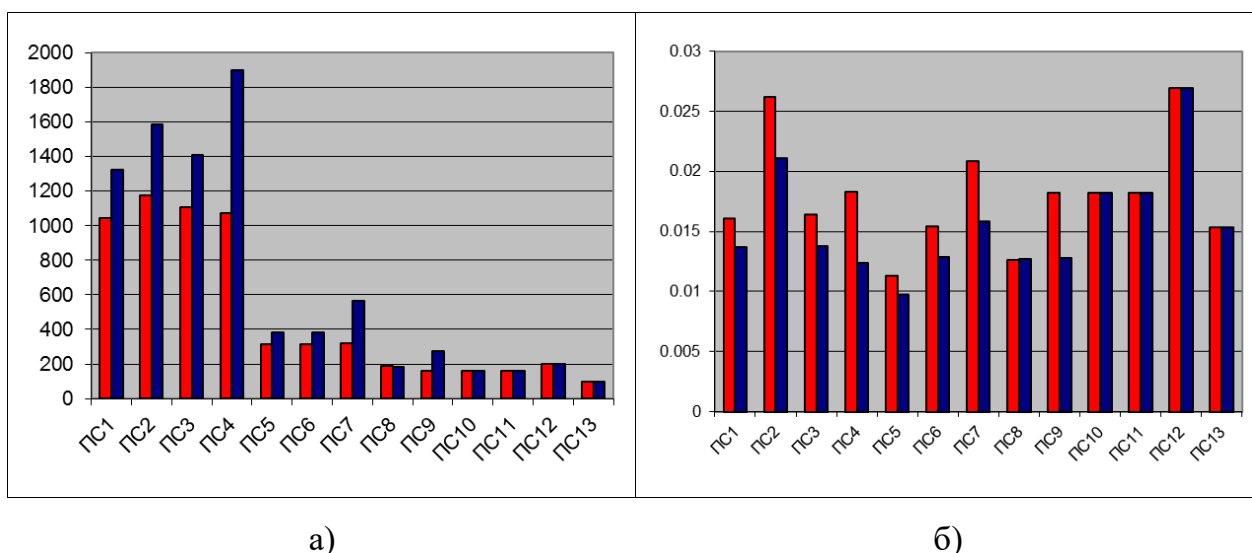
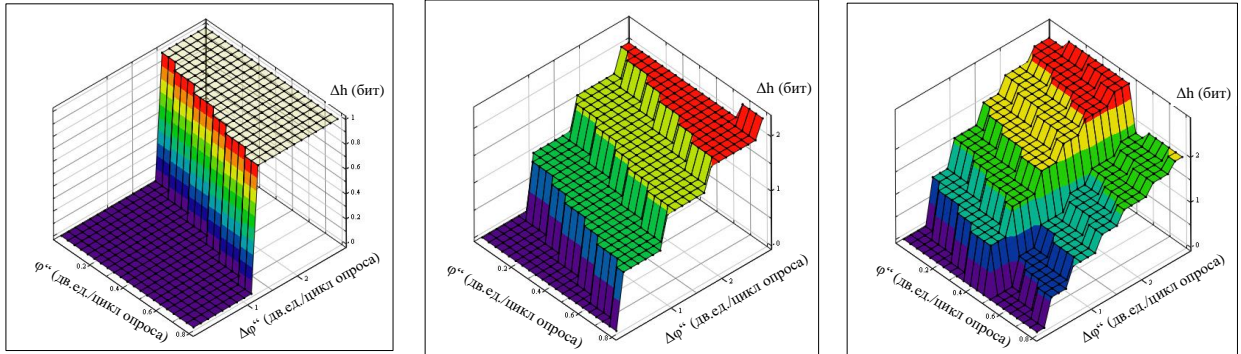


Рисунок 8 – Гистограммы показателей количества информации в потоке телеметрических сообщений РКН

Кроме того, обеспечивается устойчивость функционирования СИТО к нерасчетным изменениям динамики телеметрируемых параметров РН, связанных с возникновением и развитием нештатных (аварийных) ситуаций на борту РКН – потери информации не превысили 12,3 %. Графики зависимостей приращения апостериорной

энтропии сообщений телеметрируемых параметров от нерасчетного увеличения динамики контролируемых процессов на борту РКН при значениях коэффициентов прореживания два (а), четыре (б) и шесть (в) приведены на рисунке 9.



а)

б)

в)

Рисунок 9 – Графики зависимостей приращения апостериорной энтропии

На основе расчетных и расчетно-экспериментальных данных получены зависимости распределения пропускной способности от соотношения количества контролируемых параметров на характерных участках полета РКН и структуры ТМИ для трех типов РН («Союз-2», «Протон-М» и «Ангара» – рисунок 10) и зависимости значений коэффициентов прореживания от динамики телеметрируемых параметров РКН и параметров БИТС (рисунок 11) для участков высокой (а) и низкой (б) динамики.

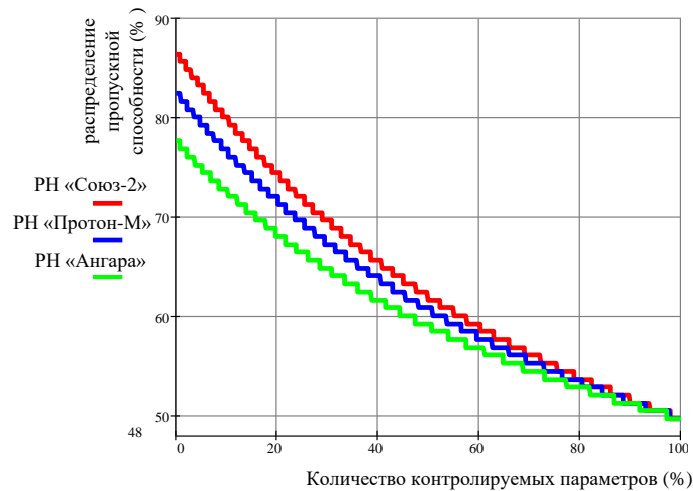
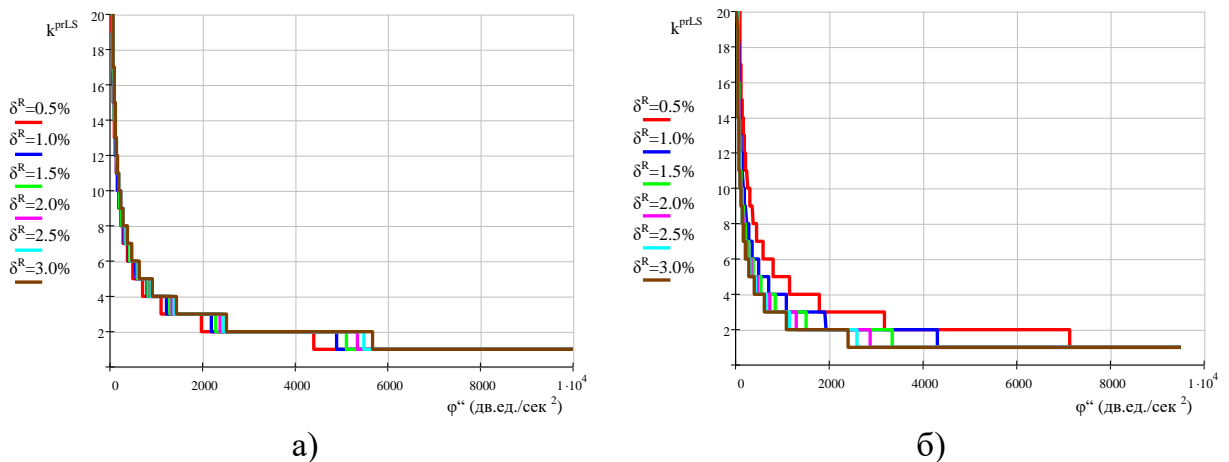


Рисунок 10 – График зависимости пропускной способности каналов передачи ТМИ



а)

б)

Рисунок 11 – График зависимости коэффициентов прореживания

Полученные результаты послужили основой для выработки рекомендаций по созданию адаптивной СИТО запусков перспективных РКН, направленных на рациональное распределение ограниченного ресурса пропускной способности каналов передачи ТМИ с НИП, дифференцированное установление состава сообщений телеметрируемых параметров РКН и коэффициентов их прореживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации поставлена и решена важная научная задача по разработке методического аппарата параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН, имеющей значение для развития технической науки в части применения методов системного анализа для создания и совершенствования систем информационного обеспечения запусков РКН, включая вопросы анализа, моделирования и оптимизации средств телеметрического контроля РКН в полете, совершенствования методов информационного сопровождения испытаний, сбора, обработки и анализа измерительной информации, оптимального планирования и управления функционированием СИТО запусков РКН, ориентированных на повышение эффективности информационного обеспечения запусков современных и перспективных РКН.

В ходе ее решения получены следующие основные наиболее важные и новые научные результаты:

1. На основе системного анализа существующей СИТО запусков РКН и анализа методических подходов к формированию адаптивных процедур обоснована необходимость использования при проведении сбора ТМИ адаптивных к изменению состояния РКН процедур на основе метода «программно-кусочной дискретизации».

2. Методически обосновано использование при параметрическом синтезе СИТО запусков РКН показателей и критериев количества информации. Сформулирована математическая постановка задачи параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков РКН, решение которой заключается в определении количества информации о состоянии РКН в потоке телеметрических сообщений, распределении ресурса каналов передачи ТМИ между НИП, формировании потока телеметрических сообщений в каналах передачи ТМИ, оценке полученных результатов.

3. Разработана комплексная методика параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков перспективных РКН, которая позволяет определить рациональные значения варьируемых параметров СИТО, составляющих программу сбора ТМИ при обеспечении запусков РКН, и тем самым обеспечивать специалистов по анализу функционирования бортовых систем РКН необходимой ТМИ в условиях ограниченного ресурса пропускной способности ТЛС и изменяющихся на различных этапах запуска РКН задач. Структурно комплексная методика представляет собой совокупность трех взаимосвязанных методик.

4. Разработана методика определения количества информации о состоянии РКН в потоке телеметрических сообщений. В основу методики положены математические описания процессов формирования и использования ТМИ, математический аппарат дискретной энтропии случайных событий и процессов и концепция «интервальных гипотез средств измерений и контроля». Методика предназначена для определения значений параметров, характеризующих степень достижения цели функционирования СИТО, и используется как при поисковых расчетах, так и при оценивании результатов параметрического синтеза. В методике введен новый показатель количества информации – «коэффициент потери информации», использование которого позволяет

сформировать единую относительную шкалу оценки сообщений разнородных телеметрируемых параметров.

5. Разработана методика рационального распределения ресурса каналов передачи ТМИ между НИП, предназначенная для поиска рациональных значений варьируемых параметров СИТО, составляющих план задействования каналов передачи ТМИ. Методика базируется на совокупности математических описаний процесса передачи ТМИ. В отличие от существующих подходов в методике используется двухэтапный поиск параметров плана задействования каналов передачи ТМИ, что позволяет осуществить адаптированное к потоку телеметрических сообщений распределение ограниченных ресурсов пропускной способности многоканальных телеметрических линий связи.

6. Разработана методика формирования рационального потока телеметрических сообщений РКН в каналах передачи ТМИ, предназначенная для поиска рациональных значений варьируемых параметров СИТО, составляющих план формирования потока телеметрических сообщений. В основу методики положены математические описания процессов снижения информационной избыточности в элементах СИТО. От существующих подходов методика отличается применением комплекса показателей количества информации в потоке телеметрических сообщений, что позволяет свести многомерный поиск коэффициентов прореживания сообщений разнородных телеметрируемых параметров к одномерному в относительной шкале нормированного метрического пространства. Применение двухэтапного поиска позволяет адаптировать состав потока телеметрических сообщений к потребностям получателя информации, наличию свободного ресурса в каналах передачи ТМИ и искажениям ТМИ на участках проведения динамических операций РКН.

7. С использованием разработанного методического аппарата были проведены практические исследования по созданию адаптивной СИТО запусков РКН. Реализация полученного варианта программы сбора ТМИ на этапах пуска и полета РКН позволяет повысить качество СИТО по обобщенному показателю «апостериорная энтропия телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО» и обеспечивает устойчивое функционирование СИТО к нерасчетным изменениям динамики телеметрируемых параметров РКН.

Результаты исследования могут быть использованы специалистами в области телеметрии при разработке адаптивных алгоритмов формирования группового телеметрического сигнала современных и перспективных БРТС, разработке программ и методик ИТО испытаний перспективных образцов РКТ, анализа их летно-технических характеристик.

Основные публикации по теме диссертации

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК России:

1. Куимов А.В., Кононенко А.В. Методические основы модели функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения запусков ракет космического назначения// Физика волновых процессов и радиотехнические системы, том 21. – Самара: Изд-во ПГУТИ. – 2018. – № 1. С. 48 – 53. (4 с. авт., № 1722 из перечня ВАК от 29.12.2015, № 2343 из перечня ВАК от 28.12.2018).

2. Куимов А.В. Методический аппарат обоснования рационального варианта комплекса средств измерений, сбора и обработки измерительной информации в соответствии с потребностями обеспечения летных испытаний изделий ракетно-космической техники и ракетного вооружения// Научные технологии в космических

исследованиях Земли, том 10. – СПб.: ООО Издат. дом Медиа Паблшер. – 2018. – № 5. С. 15 – 25. (11 с. авт., № 867 из перечня ВАК от 01.12.2015, № 1499 из перечня ВАК от 26.03.2019).

3. Куимов А.В., Буторин В.В., Евенко А.В. Обоснование структурно-логической схемы методики синтеза адаптивной системы информационно-телеметрического обеспечения запусков ракет космического назначения// Межотраслевой научно-технический журнал «Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России» – М.: ФГУП «НТИЦ оборонного комплекса «Компас» – 2019. – № 2. – С. 45 – 49. (3 с. авт., № 1639 из перечня ВАК от 26.03.2019).

4. Куимов А.В., Кононенко А.В. Практические исследования по созданию адаптивной системы информационно-телеметрического обеспечения запусков перспективных ракет космического назначения// Физика волновых процессов и радиотехнические системы, том 22. – Самара: Изд-во ПГУТИ. – 2019. – № 2. – С. 41 – 47. (5 с. авт., № 2343 из перечня ВАК от 28.12.2018).

5. Куимов А.В. Методика определения количества информации о состоянии ракеты космического назначения в потоке телеметрических сообщений// Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, том 6 (по материалам IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационные технологии», г. Москва, 5 – 7 июня 2018 г.). – М.: АО «Российские космические системы». – 2019. – № 4. – С. 51 – 58. (11 с. авт., № 1898 из перечня ВАК от 28.12.2018).

6. Краевая С.Ю., Куимов А.В. Планирование работы средств наземного измерительного комплекса при обеспечении пусков ракет космического назначения // Научно-технические технологии, том 20. – М.: Радиотехника. – 2019. – № 7. – С. 60 – 70. (7 с. авт., № 1498 из перечня ВАК от 26.03.2019).

7. Матюшин М.М., Куимов А.В. Формирование рационального потока телеметрических сообщений изделий ракетно-космической техники при ограничениях на ресурсы каналов передачи информации// Пилотируемые полеты в космос. – Звездный городок: Изд-во ФГБУ НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина – 2021. – № 3 (40). – С. 66 – 81. (8 с. авт., № 1724 из перечня ВАК от 28.12.2018).

Публикации в прочих научных журналах и изданиях:

8. Краевая С.Ю., Куимов А.В. Комплексная методика параметрического синтеза адаптивной системы информационно-телеметрического обеспечения запусков ракет космического назначения// Материалы XXI межведомственной научно-практической конференции «Научно-практические аспекты совершенствования управления космическими аппаратами и информационного обеспечения запусков космических аппаратов», 26 – 27 октября 2017 г. – Краснознаменск: ГИКЦ МО РФ им. Г.С. Титова. – 2017. С 224 – 236.

9. Краевая С.Ю., Куимов А.В., Скопин М.Ю. Использование Марковских случайных процессов в математической модели системы дистанционного управления радиотехническими средствами для оптимизации работы системы// Материалы XXI межведомственной научно-практической конференции «Научно-практические аспекты совершенствования управления космическими аппаратами и информационного обеспечения запусков космических аппаратов», 26 – 27 октября 2017 г. – Краснознаменск: ГИКЦ МО РФ им. Г.С. Титова. – 2017. С 195 – 199.

10. Краевая С.Ю., Куимов А.В., Лазутин О.Г. Методические основы синтеза программы гибкого функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения запусков перспективных ракет космического назначения// Научно-

методический сборник трудов 9 научных чтений по военной космонавтике памяти М.К. Тихонравова «Космос и обеспечение безопасности России» № 3 (553). – Тверь: ЦНИИ ВВКО Минобороны России, – 2018. С. 265 – 276.

11. Бондарева М.К., Куимов А.В. Методический аппарат параметрического синтеза адаптивной системы информационно-телеметрического обеспечения запусков ракет космического назначения// Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления: Сборник материалов III Всеросс. науч.-практ. конф. г. Москва, 29 декабря 2017 г. – М.: ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России, 2018. С. 113 – 116.

12. Куимов А.В. Результаты прикладных исследований по определению рациональной программы сбора телеметрической информации при обеспечении запусков ракет космического назначения// Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления: Сборник материалов III Всеросс. науч.-практ. конф. г. Москва, 29 декабря 2017 г. – М.: ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России, 2018. С. 160 – 164.

13. Майданович О.В., Жигулевцев Ю.Н., Дорошевич П.В., Краевая С.Ю., Куимов А.В. Обоснование интеллектуализации управления средствами наземного измерительного комплекса ракет космического назначения// Сборник трудов XXII Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов г. Самара, 13-14 июля 2019 г. Самара.: изд-во ФГБУН Самарский федеральный исследовательский центр Российской Федерации, 2020. – С. 93-97.

14. Куимов А.В., Буторин В.В. Обоснование структуры показателей и критериев качества адаптивной системы информационно-телеметрического обеспечения запусков перспективных ракет космического назначения// Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления: Сборник материалов VI Всеросс. науч.-практ. конф. г. Москва, 28 декабря 2020 г. – М.: ФГБНУ «Экспертно-аналитический центр», 2021. – 566 с. С. 485 – 490.

15. Куимов А.В., Буторин В.В. Формализация основных процессов функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения запусков ракет космического назначения// Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления: Сборник материалов VI Всеросс. науч.-практ. конф. г. Москва, 28 декабря 2020 г. – М.: ФГБНУ «Экспертно-аналитический центр», 2021. – 566 с. С. 491 – 495.