



Филаткин Сергей Владимирович

МОДЕЛИ И ТЕХНОЛОГИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРОВЕДЕНИЯ  
ИСПЫТАНИЙ  
РАКЕТНО – КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Специальность 05.11.16 – Информационно – измерительные и управляющие  
системы (в технических системах)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (ФГБОУ ВО «РГРТУ»).

Научный руководитель:

**Пылькин Александр Николаевич**

доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (ФГБОУ ВО «РГРТУ»), заслуженный работник высшей школы РФ

Официальные оппоненты:

**Кукушкин Сергей Сергеевич**

доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник ФГБУ «4 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации

**Лоскутов Андрей Иванович**

доктор технических наук, профессор кафедры телеметрических систем, комплексной обработки и защиты информации Федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации

Ведущая организация:

**Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королёв Московской области**

Защита состоится 12 февраля 2021 года на заседании диссертационного совета Д 212.211.04 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (ФГБОУ ВО «РГРТУ») по адресу:

**390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (ФГБОУ ВО «РГРТУ») - <http://www.rsreu.ru/>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.211.04, доктор технических  
наук, профессор



Г.В. Овечкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Ракетно – космическая техника, в силу её высокой сложности, создаётся по жизненному циклу, который существенно отличается от общепринятого, при этом коренным отличием является важность полигонных испытаний.

Достоверное определение и всесторонняя оценка параметров и характеристик испытываемых изделий ракетно – космической техники, проводится на основе результатов обработки измерительной информации, получаемой от средств измерений полигона. Поэтому с начала проведения полигонных испытаний существовала потребность получения максимального объёма измерительной информации, как телеметрической, так и регистрируемой средствами измерений полигона.

В настоящее время для сохранения конкурентоспособности, разработчики изделий ракетно-космической техники вынуждены сокращать расходы на их создание, в том числе и на количество полигонных испытаний, что приводит к необходимости проведения большего числа проверок за один эксперимент, т.е. увеличению количества контролируемых параметров, что приводит к увеличению информативности бортовых телеметрических систем и привлечения большего количества средств измерений полигона, что показывает, что потребность в получении максимального объёма измерительной информации постоянно возрастает.

**Степень разработанность темы исследования.** Теоретические основы, методы и способы по различным аспектам информационно-измерительных систем, систем передачи данных, полигонных испытаний создавались несколькими поколениями зарубежных, отечественных ученых и исследователей: построение вычислительных машин и комплексов, программирование – В.М. Глушков, Э.В. Евреинов, Д.А. Поспелов, А.А. Папернов, В. Байцер и др., технология обработки измерительной информации - Э. Кодд, П.Ченн, К. Дэйт, С.С. Кукушкин и др.; автоматизация проектирования - Д.И. Батищев, А.М. Бершадский, Ю.Х. Вермишев, В.П. Корячко, И.П. Норенков, А.Л.Стемпковский, М. Принс, И. Сазерленд и др.; технология телеизмерений - В.С. Семенихин, А.Ф. Богомоллов, О.А. Сулимов, В.А. Меньшиков, А.Н. Пресняков и др.; помехоустойчивое кодирование и передача информации - В.А. Котельников, К. Шеннон, В.В. Зяблов, В.В. Золотарев, А. Витерби, Р. Галлагер, В.Л. Банкет, Е. Берлекэмп, Э.Л. Блох и др. Необходимо отметить большую роль в интенсификации развитии телекоммуникационных систем, которую сыграли международные стандарты и широкий спектр оборудования и программных средств, доступных на мировом рынке.

Специфика построения полигонного измерительного комплекса, а также сокращение обслуживающего персонала, особенно высококвалифицированного, диктует необходимость создания автоматических систем и комплексов для проведения испытаний, реализующих автоматические (малообслуживаемые, безлюдные) технологии подготовки и целевого применения измерительных средств, позволяющих сократить затраты на информационно–измерительное обеспечение испытаний ракетно-космической техники. При этом решая, применением таких систем, задачу обеспечения испытаний в условиях нехватки обслуживающего персонала, «побочным» эффектом становятся сокращение затрат на проведение испытаний и повышение качества получаемой измерительной информации, за счёт исключения ошибок получения данных по причине «человеческого» фактора и использования возможностей, недоступных в ручном режиме проведения измерений.

В последние 20 лет произошел качественный скачок и повышение технического уровня систем связи и телекоммуникаций. Кроме повышения пропускной способности применение современных средств привело к повышению надёжности передачи информации по спутниковым каналам связи, но при этом, интенсивность сбоев в спутниковых каналах связи на много порядков превышает интенсивность отказов в наземных сегментах связи, оставляя их «узкими местами» систем сбора.

**Проблема** заключается в необходимости обеспечения пусков ракетно–космической техники своевременными и качественными измерениями в максимально полном объёме при наличии ряда противоречий:

- необходимость получения измерений в максимально возможном объеме с требуемым качеством в условиях увеличения количества измеряемых параметров и, как следствие, увеличения количества измерительных средств при снижении количества и квалификации обслуживающего персонала.

- необходимость передачи значительных объемов измерительной информации на большие расстояния в условиях низкой пропускной способности и надежности каналов связи.

Разрешение первой части проблемы проводится разработкой комплекса средств автоматизации измерительного пункта обеспечивающего проведение сеанса измерений без привлечения или минимальным составом персонала, в обязанности которого входит поддержание энергоснабжения измерительного пункта (ИП) и проведение технического обслуживания в минимальном объеме.

Второе противоречие компенсируется путем разработки нового протокола передачи информации для применения в распределенных системах сбора и обработки измерительной информации. Идеологически смыслом таких решений является использование растущих более высокими темпами возможностей современных средств вычислительной техники в месте получения данных и применение, наряду со стандартными протоколами, узкоспециализированных протоколов передачи данных, учитывающих особенности используемых каналов связи.

**Целью исследования** является повышение эффективности информационно-измерительного обеспечения испытаний ракетно-космической техники в распределенных информационно-управляющих системах, за счёт:

- сокращение потерь результатов измерений;
- сокращение времени на передачу информации в центр обработки.

**Задачи работы:**

- разработка модели комплекса средств автоматизации измерительного пункта;
- разработка технологии автоматического управления измерительными средствами;
- разработка адаптированного к особенностям спутниковых каналов связи протокола передачи информации.

**Научная новизна** решения поставленных задач состоит в следующем:

- разработана модель автоматического управления измерительными средствами на основе реализации функций, обеспечивающих исключение / компенсацию влияние причин потерь измерительной информации;
- разработан протокол гарантированной передачи и снижения времени доставки измерительной информации по спутниковым каналам связи, отличающийся от известных независимостью от времени распространения сигнала в канале связи.

**Теоретическая и практическая значимость результатов исследования** проявляется в виде:

- созданного опытного образца комплекса средств автоматизации измерительного пункта;
- разработанного протокола передачи информации.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались общая теория информационно – измерительных и управляющих систем, теория автоматического управления, методы теории вероятности и математической статистики, теория моделей.

**Положениями, выносимые на защиту,** являются:

- модель (структура) комплекса средств автоматизации измерительного пункта и технология автоматического управления, обеспечивающего функционирование измерительного пункта без участия обслуживающего персонала;
- показатели и критерий оценки эффективности автоматического управления измерительным пунктом, показывающие уменьшение потерь результатов измерений (повышение эффективности функционирования информационно – измерительной системы на 55 % для выбранных условиях испытаний и характеристик информационно – измерительной системы);

– протокол передачи данных, снижающий время доставки информации, в каналах связи с большим временем распространения сигнала (время передачи зарегистрированной телеметрической информации в 1,5÷8 раз меньше, чем при использовании протокола ТСР).

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях (5 материалов тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях, в том числе 1 - на конференции, индексируемой SCOPUS): Международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика» (Рязань, 2003), Краткие сообщения XXX Российской школы, посвященной 65-летию Победы. (Екатеринбург: УрО РАН, 2010), Международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика» (Рязань, 2013), Международная научно-практическая конференция «Математика: фундаментальные и прикладные исследования и вопросы образования» (Рязань, 2016), МЕСО 2019 (Черногория, 2019).

**Достоверность** результатов исследования подтверждается:

- обоснованным выбором и корректным использованием математических методов решения поставленных задач;
- практическим подтверждением положительного эффекта от применения разработанных моделей.

**Соответствие паспорту специальности 05.11.16.** Диссертация соответствует паспорту специальности 05.11.16 – «Информационно - измерительные и управляющие системы (в технических системах)» в части пункта 6 «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов, частей, образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений».

**Объектом исследования** являются распределенные управляющие системы испытаний, предназначенные для информационно–измерительного обеспечения испытаний сложных технических комплексов – изделий ракетно–космической техники, предметом исследований – алгоритмы функционирования таких систем, применяемые в них информационно–измерительные технологии и протоколы передачи данных, обеспечивающие повышение надежности и оперативности представления измерительной информации.

**Реализация и внедрение.** Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».

Результаты работы используются на 4 Государственном центральном межвидовом полигоне МО РФ – опытный образец комплекса средств автоматизации измерительного пункта прошел приёмочные испытания. Акт внедрения представлен в диссертационной работе.

**Публикации.** По результатам диссертационных исследований опубликовано 9 работ. Среди них: 5 статей в рецензируемых журналах, включённых в перечень ВАК, 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 1 патент РФ на изобретение.

**Структура диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, двух приложений и библиографического списка (152 источника), изложенных на 186 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** определены роль и место управляющих систем в испытаниях ракетно – космических комплексов.

Испытания изделий ракетно-космической техники в настоящее время проводятся на имеющихся полигонах и космодромах, при этом назначение и задачи, решаемые при проведении испытаний очень разнообразны. Поэтому широкий интерес представляет повышение эффективности полигонного измерительного комплекса.

Полигонный измерительный комплекс – это многофункциональный комплекс средств (Рисунок 1), расположенных вдоль трасс полёта изделия, предназначенный для получения телеметрической информации от бортовой радиотелеметрической системы, проведение всех видов измерений наземными средствами, сбора и обработки полученной измерительной информации, оценка состояния и функционирования бортовых систем изделия.

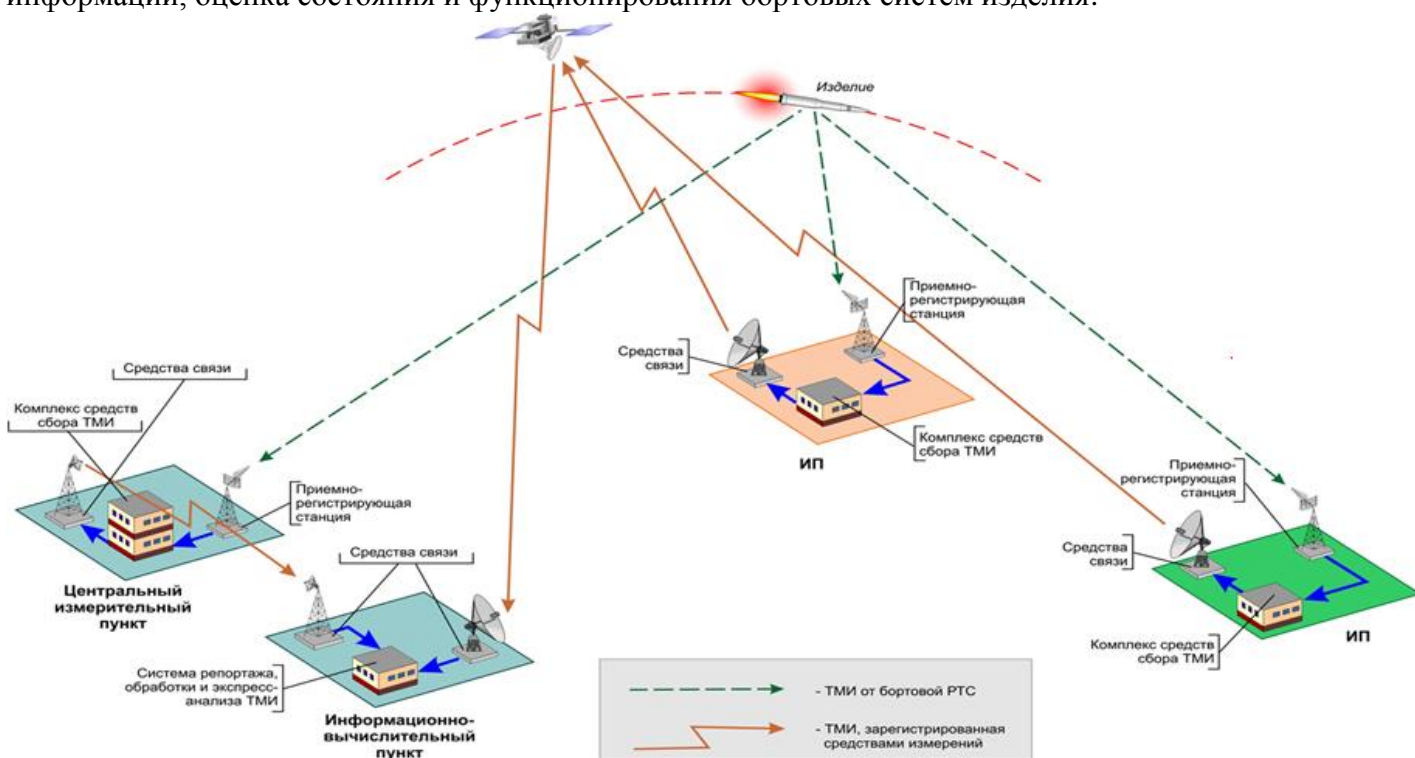


Рисунок 1 – Структура полигонного измерительного комплекса

Информационно – управляющая система испытаний является совокупностью функционально объединенных в единую систему вычислительных средств, средств наглядного отображения и документирования информации, а также средств связи, размещаемых на различных измерительных пунктах, предназначенных для управления измерительными средствами, автоматизированного сбора и обработки измерительной информации. Информационно – управляющая система испытаний должна обеспечивать решение следующих основных задач:

- мониторинг состояния и диагностика измерительных средств и оценка их готовности к информационно – измерительному обеспечению;
- формирование управляющих команд на пункте управления, их приём и исполнение измерительными средствами;
- приём и регистрацию первичной информации от измерительных средств для её последующей передачи в центр сбора (вычислительный центр) на обработку в формате сокращённых (репортажных) потоков и в формате полных потоков;
- оперативную коррекцию программы сеанса измерений с участием пункта управления и использованием информации от сторонних измерительных пунктов, а также автономную оперативную коррекцию программы сеанса измерений;
- оперативная обработка измерительной информации на вычислительном центре для обеспечения информацией о поведении изделия в реальном времени хода эксперимента или запуска;
- экспресс и полная обработка измерительной информации после полёта изделия;
- преобразование результатов обработки измерительной информации к виду, удобному для использования потребителями, распределение и передача данных на объекты потребления;
- прием на объектах потребления и представление (наглядное отображение и документирование) измерительной информации, результатов ее обработки в виде, удобном для использования операторами системы и потребителями.

Эффективность средств информационно – измерительного обеспечения изделий ракетно–космической техники оценивается в форме возможности проведения достаточно быстрой и полной оценки результатов пуска при минимальных затратах, то ее повышение может быть достигнуто за счет следующих мероприятий:

- изучение и определение потребных информационных характеристик объектов контроля;

- снижение потерь измерительной информации при приёме измерительными средствами, в том числе и с помощью применение автоматических (малообслуживаемых, безлюдных) технологий в создании измерительных средств, исключающих ошибки при проведении измерений, возникающие по причине «человеческого фактора»;

- использование спутниковых систем ретрансляции данных, навигации и связи, повышение эффективности используемых каналов связи;

- использование перспективных радиотелеметрических систем и функциональных интегрированных информационно - измерительных комплексов.

В ходе испытаний наведение измерительных средств на объект осуществляется в большинстве случаев оператором и, только на небольшой части новых измерительных средств – автоматически программным способом по заранее заложенным целеуказаниям (ЦУ), при этом отсутствует возможность оперативной корректировки целеуказаний при отклонении испытываемого изделия от априорной траектории (Рисунок 2).

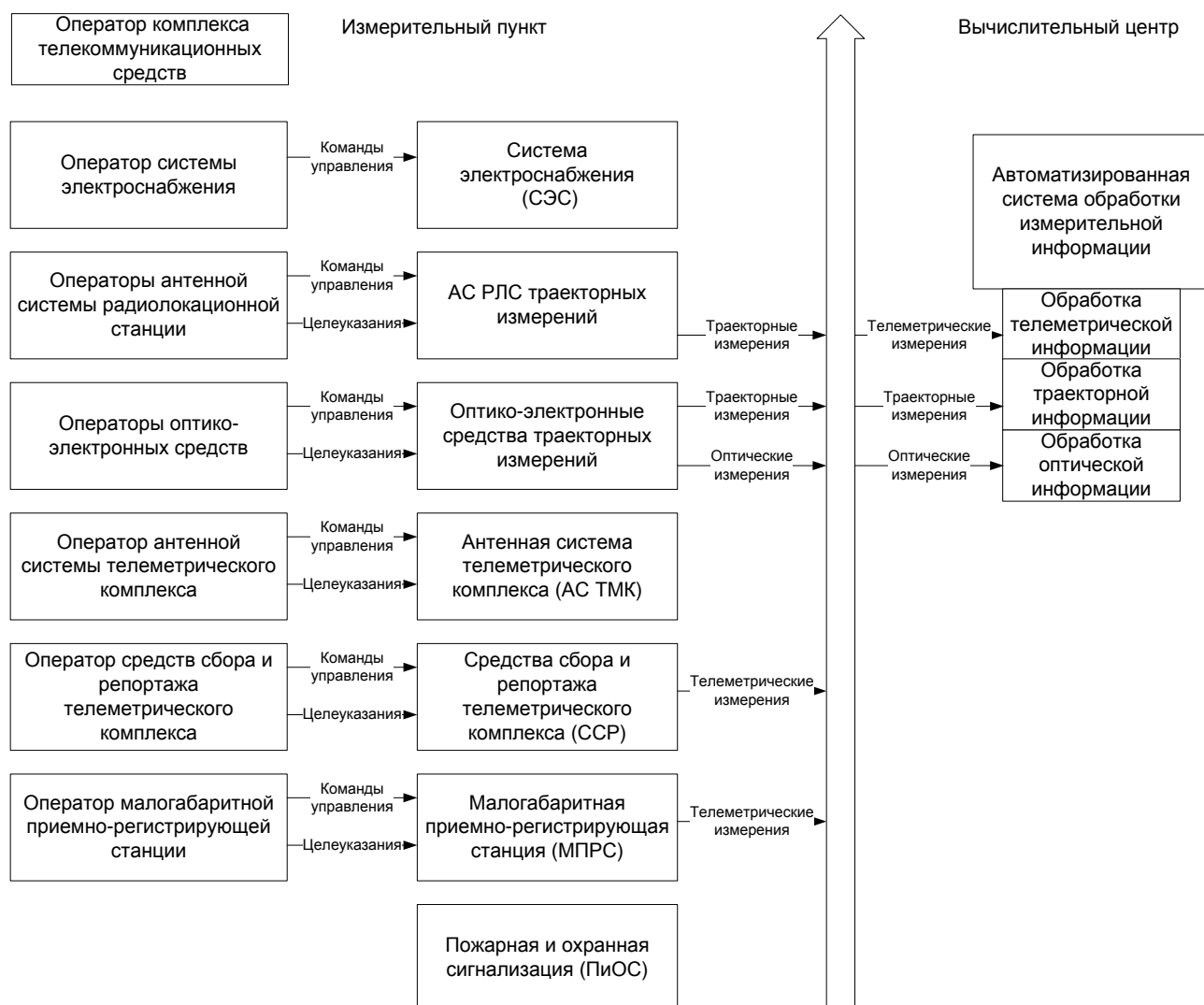


Рисунок 2 – Модель существующей системы управления измерительными средствами

Таким образом, одним из направлений диссертационной работы, является сокращение потерь информации за счет использования способов применения автоматического управления измерительными средствами.

Показатель зарегистрированной измерительной информации  $K_{рии}$  определяется как:

$$K_{рии} = \frac{M_{рии}}{M_{полн}}, \quad (1)$$

где  $M_{рии}$  – объём зарегистрированной измерительной информации,

а  $M_{полн}$  – полный объём измерительной информации.

Соответственно показатель потерь измерительной информации  $K_{пии}$  можно определить как

$$K_{пии} = 1 - K_{рии} \quad (2)$$

На потери измерительной информации влияет ряд причин, каждая из которых характеризуется соответствующим показателем потерь по этой причине  $K_{пр i}$ .

$$K_{пии} = \sum_{i=1}^n K_{пр i} \quad (3)$$

Цель исследований по этому направлению – сокращение потерь измерительной информации, за счёт реализации функций автоматического управления измерительными средствами, исключающих или компенсирующих влияние причин потерь измерительной информации  $K_{пр i}$ .

Для передачи измерительной информации с целью ее последующей обработки в центрах обработки для отображения и документирования используют различные каналы связи (проводные, кабельные, радиорелейные – для взаимодействия с пристартовыми измерительными пунктами, расположенными в районе стартовой позиции полигона как правило на расстояниях до 50 км; спутниковые – для взаимодействия с удалёнными трассовыми измерительными пунктами.

Основное достоинство спутниковых каналов связи – обеспечение передачи данных на большие расстояния – влечет за собой и один из основных недостатков – большую задержку сигнала, обусловленную особенностями геостационарных искусственных спутников Земли, которые, в основном используются в рассматриваемых системах.

Сетевые протоколы передачи данных предусматривают, конечно механизмы повторных передач искаженных блоков данных, но использование подобных механизмов сетевых протоколов, не учитывающих специфику спутниковых каналов связи создает проблему передачи измерительной информации в установленное время.

В связи с этим другим направлением является исследование возможностей повышения эффективности информационно – измерительного обеспечения пусков изделий ракетно – космической техники за счет новой модели протокола передачи информации, адаптированной к особенностям спутниковых каналов связи, т.е. в которой эффективная (результатирующая) пропускная способность канала  $S_{э псп}$ , (объем правильно передаваемых данных в единицу времени) не зависит от времени на передачу символа от передатчика до приемника –  $t_{п}$ .

Исследования позволяют обеспечить гарантированную доставку измерительной информации и сокращение времени доставки измерительной информации в центры обработки в послесеансном режиме.

**В Главе 2** рассмотрены исследования, подтверждающие первое и второе положения, выносимое на защиту – повышению эффективности процессов получения измерительной информации. Комплекс средств автоматизации измерительного пункта предназначен для обеспечения дистанционно реализуемых процессов подготовки и проведения сеансов измерений существующим и перспективным составом средств измерений, сбора и передачи данных измерительных пунктов без участия обслуживающего персонала и должен обеспечивать выполнение следующих основных функций:

– централизованное автоматизированное диагностирование – самодиагностика, проверка работоспособности измерительных средств и оценка готовности к информационно–



измерительному обеспечению по итогам выполнения контрольного теста. Протоколирование результатов проверки работоспособности и оценки готовности;

- оперативный мониторинг технического состояния и формирование протоколов по фактическому состоянию и режиму функционирования измерительных средств.

- формирование управляющих команд на пункте управления и их приём и исполнение, в том числе на запуск и останов приёма измерений, на синхронизацию по плановому времени работы, на поворот по заданному азимуту и углу места и др.;

- оперативную коррекцию целеуказаний с участием пункта управления и использованием траекторной информации от сторонних измерительных пунктов, а также автономную оперативную коррекцию целеуказаний;

- приём и регистрацию первичной информации от измерительных средств для её последующей передачи в центр сбора (вычислительный центр) на обработку в формате сокращённых (репортажных) потоков и в формате полных потоков.

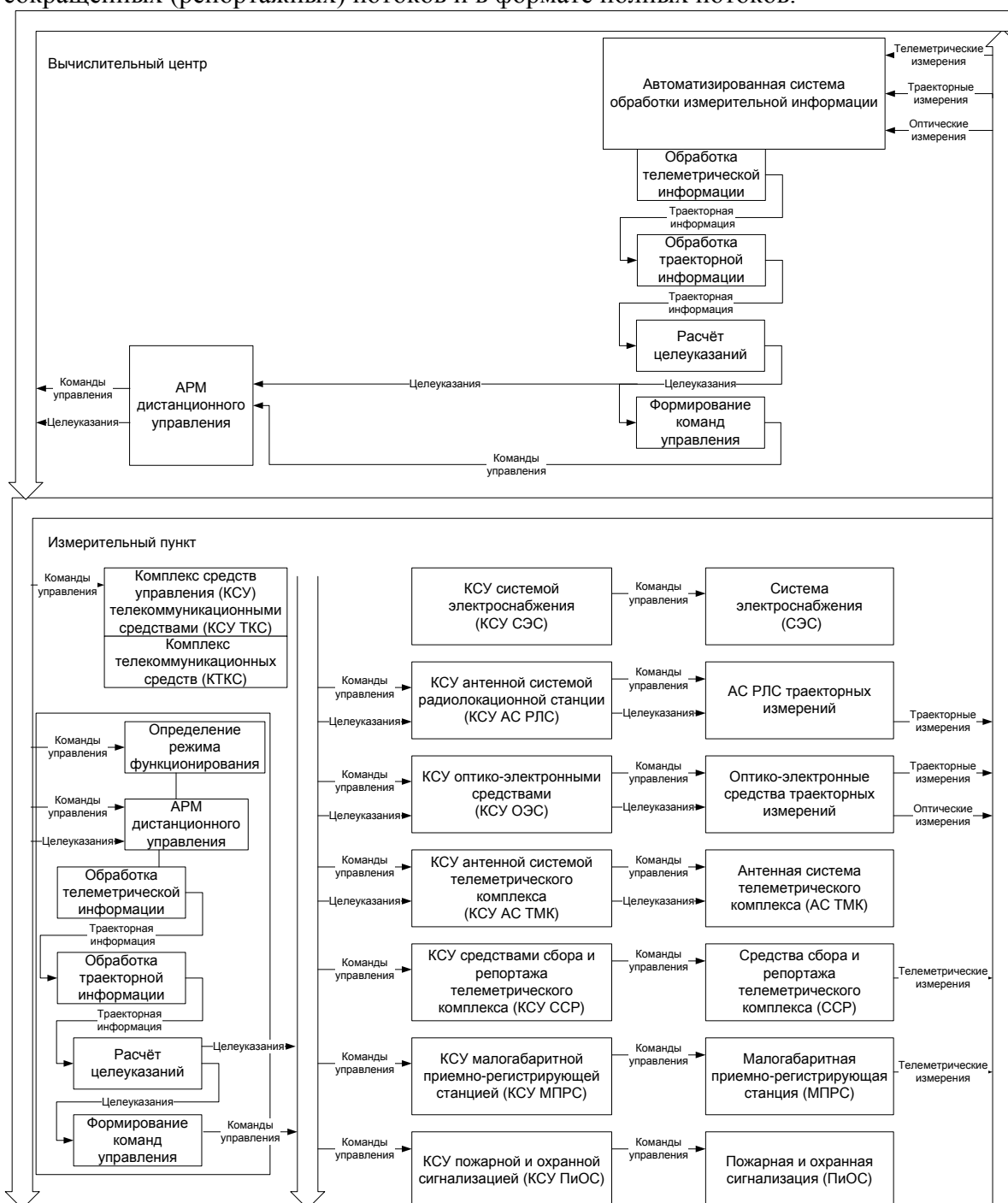


Рисунок 3 – Модель системы управления с автоматическим управлением измерительным пунктом



– в условиях неустойчивого канала связи между автоматическим измерительным пунктом и вычислительным центром – предусмотрены переходы от централизованных вариантов управления к автономным для парирования нештатных ситуаций в канале связи и вычислительном центре.

Одна из наиболее трудоёмких специфических задач автоматического измерительного пункта – оперативная коррекция целеуказаний. Данная функция рассматривается не в качестве тривиальных геометрических расчётов по известным углам, а в качестве составной задачи сравнительной оценки достоверности измерений, поступающих с различной и нестабильной частотой, с различной методической погрешностью обработки и с различной временной задержкой.

Другая особенность комплексной автоматизации – это одновременное использование различных по принципу действия средств – радиолокационных, оптических, квантово-оптических, радиотелеметрических. Наличие разнородных источников первичных измерений обязывают предусмотреть унифицированные форматы, как для управления, так и для передачи угломерных и дальномерных измерений.

Возможны следующие варианты (режимы) управления автоматическим измерительным пунктом во время сеанса (Таблица 1):

Таблица 1 – Режимы функционирования автоматического измерительного пункта

Работа по командам и целеуказаниям от пункта управления	режим $\alpha 1$ – управляющее воздействие формируется автоматически – по результатам обработки и анализа измерительной информации.
	режим $\alpha 2$ – управляющее воздействие является результатом ручного управления от оператора на пункте управления.
Автономная работа в автоматическом режиме	режим $\beta 1$ – по априорным целеуказаниям и циклограммам измерительных средств.
	режим $\beta 2$ – целеуказания неизвестны, известно время старта и стартовая позиция. управляющее воздействие (коррекция целеуказаний) формируется непосредственно на измерительном пункте.
	режим $\beta 3$ – экстраполяция целеуказаний по известным априорным целеуказаниям.
Автономная работа в ручном режиме	режим $\gamma$ – ручной режим, требующий участие оператора – автоматический измерительный пункт функционирует подобно обычному измерительному пункту

Решение о работе в том или ином режиме принимается на измерительном пункте измерительного пункта автоматически в зависимости от достаточности данных – априорных, оперативных скорректированных, ручного управления и т.д.

В ходе проведения исследования сформулированы основные причины, по которым не были получены или были потеряны измерения:

– несовпадение периодов выдачи измерений с борта изделия с периодом регистрации измерительными средствами по причине сбоя бортовой системы управления. Показатель потерь по причине –  $K_{пер}$ . Вес причины –  $\alpha_{пер}$ ;

– отклонение траектории полета изделия от расчетной траектории. Показатель потерь по причине –  $K_{откл}$ . Вес причины –  $\alpha_{откл}$ ;

– отсутствие части измерений по причине сбоя в работе датчиковой аппаратуры бортовой радиотелеметрической системы. Показатель потерь по причине –  $K_{датч}$ . Вес причины –  $\alpha_{датч}$ ;

– потери измерительных данных по вине «человеческого фактора» – нарушение программы сеанса измерений. Показатель потерь по причине –  $K_{чф}$ . Вес причины –  $\alpha_{чф}$ ;

– потери измерительных данных в каналах передачи данных. Показатель потерь по причине –  $K_{рл}$ . Вес причины –  $\alpha_{рл}$ ;

Рассчитываем показатель потерь от каждой из причин.

$$K_{\text{пр } i} = K_{\text{пии}} \alpha_i, \quad (4)$$

$$\text{где } \alpha_i - \text{вес } i\text{-той причины, при этом } \{ 0 < \alpha_i < 1 \} \quad (5)$$

Применением технологий автоматического управления измерительным пунктом, ввиду её наземного расположения и отсутствия эффективной обратной связи с объектом испытаний, могут быть предотвращены или компенсированы не все потери измерительных данных, возникающие по причинам, описанным выше, поэтому потери измерительной информации могут быть оценены по следующей формуле:

$$K_{\text{пии}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{пр } i} - P_{\text{пр } i} K_{\text{пр } i}), \quad (6)$$

где  $P_{\text{пр } i}$  – вероятность исключения / компенсации  $i$ -той причины.

При этом исключены / компенсированы могут быть следующие причины:

$P_{\text{совп пер}}$  – вероятность совпадения периодов выдачи измерений с борта изделия с периодом регистрации измерительными средствами по причине сбоя бортовой системы управления;

$P_{\text{комп откл}}$  – вероятность компенсации отклонения изделия;

$P_{\text{комп чф}}$  – вероятность компенсации «человеческого фактора» – нарушение программы сеанса измерений.

Из возможностей комплекса средств автоматизации измерительного пункта, можно выделить частные вероятностные показатели функций, реализуемых комплексом, которые обеспечивают компенсацию причин потерь измерительной информации:

– вероятность синхронизации применения средств измерений со временем проведения испытаний –  $P_c$ ;

– вероятность обеспечения необходимой точности применения средств измерений –  $P_T$ ;

– вероятность оперативной корректировки программы сеанса измерений в случае изменения поведения объекта испытаний –  $P_{\text{ок}}$ ;

– вероятность обеспечения применения средств измерений при оперативной корректировке программы сеанса измерений –  $P_{\text{пок}}$ ;

– вероятность оперативного использования результатов обработки измерений для оперативной корректировки программы сеанса измерений –  $P_{\text{роок}}$ .

Вероятности компенсации причин потерь связаны с вероятностными показателями функций комплекса средств автоматизации измерительного пункта следующим образом:

$$P_{\text{совп пер}} = P_c P_T \quad (7)$$

$$P_{\text{комп откл}} = P_{\text{ок}} P_{\text{пок}} P_{\text{роок}} \quad (8)$$

$$P_{\text{комп чф}} = P_c P_{\text{пок}} P_{\text{роок}} \quad (9)$$

Показатель потерь измерительной информации в системе с комплексом средств автоматизации измерительного пункта:

$$K_{\text{рл}}^* = (K_{\text{пер}} - P_{\text{совп пер}} K_{\text{пер}}) + (K_{\text{откл}} - P_{\text{комп откл}} K_{\text{откл}}) + K_{\text{датч}} + (K_{\text{чф}} - P_{\text{комп чф}} K_{\text{чф}}) + \quad (10)$$

Исходя из полученных показателей рассчитываем критерий эффективности автоматического управления  $E_{\text{ау}}$  измерительным пунктом:

$$E_{\text{ау}} = \frac{K_{\text{рии}}^* - K_{\text{рии}}}{K_{\text{пии}}} 100\%, \quad (11)$$

где  $K_{\text{рии}}^*$  – показатель зарегистрированной измерительной информации автоматическим измерительным пунктом.

Таблица 2 – Результаты расчётов критерия эффективности автоматического управления  $E_{\text{ау}}$  измерительным пунктом (причины потерь измерительной информации с разными весами; набор № 1 значений частных показателей функций комплекса средств автоматизации измерительного пункта)

Возможност и исходной системы	Условия испытаний (веса причин потерь измерительной информации и показатели потерь)	Характеристики информационно – измерительной системы (показатели реализации функций автоматического управления и вероятности компенсации системой причин потерь измерительной информации)	Возможности системы с автоматическим управлением
-------------------------------	---	---	--

		информации)																
$K_{\text{пии}}$	$K_{\text{рии}}$	$K_{\text{пер}}$	$K_{\text{откл}}$	$K_{\text{датч}}$	$K_{\text{чф}}$	$K_{\text{рл}}$	$P_{\text{с}}$	$P_{\text{т}}$	$P_{\text{ок}}$	$P_{\text{пок}}$	$P_{\text{роок}}$	$P_{\text{совп пер}}$	$P_{\text{комп откл}}$	$P_{\text{комп чф}}$	$K_{\text{пии}}^*$	$K_{\text{рии}}^*$	$E_{\text{ау}}$	
0,1	0,9	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,98	0,95	0,90	0,85	0,65	0,93	0,50	0,54	0,05	0,95	54,56	
0,2	0,8	0,06	0,02	0,02	0,08	0,02	0,98	0,95	0,90	0,85	0,65	0,93	0,50	0,54	0,09	0,91	54,56	
0,5	0,5	0,15	0,05	0,05	0,20	0,05	0,98	0,95	0,90	0,85	0,65	0,93	0,50	0,54	0,23	0,77	54,56	
0,68	0,32	0,20	0,07	0,07	0,27	0,07	0,98	0,95	0,90	0,85	0,65	0,93	0,50	0,54	0,31	0,69	54,56	

Проведенные расчёты для различных условиях испытаний и характеристик информационно – измерительной системы показали независимость критерия эффективности функционирования информационно – измерительной системы с автоматическим управлением от показателя потерь измерительной информации. При этом определение средних условий испытаний нецелесообразно ввиду значительных различиях между объектами испытаний, программ испытаний и других факторов прямо или косвенно влияющих на условия испытаний, поэтому для оценки критерия эффективности в данном конкретном исследовании предлагается выбрать наиболее вероятный набор (по экспертной оценке) показателей условия испытаний и характеристик информационно – измерительной системы, расчёты с использованием которого приведены в таблице (Таблица 2). Значение критерия  $E_{\text{ау}}$  составляет 55 %, что подтверждает второе положение, выносимое на защиту.

В главе 3 рассматривается метод повышения пропускной способности и надежности передачи измерительной информации при использовании спутниковых каналов связи – третье положение, выносимое на защиту.

В ходе проведения исследования типовых правил (механизмов), реализуемых в известных протоколах, используются математические и имитационные модели для правил:

а) формирования групп блоков данных, выдаваемых в канал связи:

- 1) «продвижение окна»;
- 2) «формирование нового окна по результатам передачи предыдущего»;
- 3) «непрерывная передача блоков» в канал связи;

б) механизмы повторов передач искаженных блоков данных:

- 1) «повторная передача только искаженных блоков»;
- 2) «повторная передача группы блоков (окно блоков), начиная с искаженного блока».

3) «повторная передача группы блоков» – пакета, в котором было искажение при предыдущей передаче.

В дополнение к известным математическим моделям типовых правил (механизмов) разработаны модели еще одного правила (механизма), используемого в известных протоколах транспортировки данных – механизма тайм-аута. С помощью механизма тайм-аута компенсируются последствия потери (искажений) сообщений по каналу обратной связи.

По результатам моделирования выбран для использования в перспективном протоколе набор правил, обладающих лучшим сочетанием частных показателей эффективности.

Из известных протоколов с подтверждением моделируются:

- протокол с «движущимся» окном;
- протокол со «стационарным» окном;
- протокол с «непрерывной передачей» окон.

Моделируется также предлагаемый протокол, который также использует обратную связь. Использование обратной связи обеспечивает гарантированную доставку данных. Гарантия доставки обеспечивается за счет повторных передач блоков данных, искаженных в канале связи, при этом естественно теряется возможность доставки данных за гарантированное время.

При потере или искажении сообщений с подтверждением правильного приема группы данных (в случае приема искаженного блока данных, сообщение об этом так же может быть искажено или потеряно) в существующих протоколах вступает в действие механизм повтора передач группы данных (окна блоков) по таймеру. Вероятность искажения символа при передаче по обратному каналу связи, как правило, меньше чем при передаче по основному

каналу связи. Однако потери или искажения сообщений обратной связи также приводят к уменьшению эффективной пропускной связи канала связи.

В известных протоколах:

с) «стационарное» окно

при передаче каждого окна формируется:

1) или одно сообщение с приемной стороны для подтверждения правильного приема окна блоков данных;

2) или одно сообщение с информацией о том, что какой-то блок данных искажен при передаче по каналу связи;

d) «движущееся» окно

1) несколько сообщений о правильном приеме пакетов;

2) сообщения о том, что переданный пакет искажен при передаче по каналу связи.

При потере сообщений по таймеру, через время  $t_{та}$  после ожидаемого момента прихода подтверждающего сообщения окно данных повторно выдается в канал связи; при организации монопольного режима связи возможное время прихода подтверждающего сообщения достаточно детерминированное и время таймера  $t_{та}$  может быть незначительным; при отсутствии монопольного режима или при отсутствии жестких гарантий по времени передачи сообщений по каналу связи нет детерминированности времени прихода подтверждающего сообщения и время таймера должны существенно увеличиваться.

В предлагаемом транспортном протоколе подтверждающие сообщения не используются, а используются только сообщения с запросами на повторение передач искаженных блоков данных (вероятны многократные запросы на передачу искаженных или потерянных блоков данных).

Изменяется и содержание тайм-аутов. При отсутствии в заданное время передачи по запросу на повторную передачу блока на приемной стороне через время таймера повторно формируется запрос на еще одну передачу искаженного блока данных.

На передающей стороне, если и используется таймер, то не для организации обратной связи. Например, возможно использование таймера для освобождения буфера переданных в канал связи блоков данных.

При создании условий и запуске известных механизмов тайм-аута возрастает непроводительная задержка в работе транспортного протокола и увеличивается число повторно выдаваемых в канал связи блоков данных.

Дополнительный фактор тайм-аутов: большого количества сообщений по каналу обратной связи в известных промышленных протоколах передач данных приводит к появлению алгоритмических ситуаций, в которых проявляется так называемое «зависание» процесса передачи данных. Одной из причин, побуждающих к использованию в практике протокола со «стационарным» окном, является его более высокая стабильная работа. В этом протоколе существенно меньше сообщений обратной связи по сравнению с протоколом с «движущимся» окном.

Корректное реагирование на потери сообщений одно из положительных качеств предлагаемого протокола.

Пропорция для получения математической модели оценки эффективной пропускной способности канала связи при использовании предлагаемого протокола:

полезно переданные данные

$$R_{бл} \rightarrow S_{э псп},$$

фактически переданное число символов  $(R_{бл} + r_{зб})k_{пвт} \rightarrow S_{ф}$ .

Математическая модель  $S_{э псп}$  для протокола с «непрерывной передачей» окон:

$$S_{э псп} = R_{бл} S_{ф} / [(R_{бл} + r_{зб})k_{пвт}], \quad (14)$$

где  $R_{бл}$  – размер блока (сегмента, пакета) данных;

$S_{ф}$  – максимальная физическая пропускная способность;

$r_{зб}$  – размер заголовка блока данных;

$S_{э псп}$  – эффективная /результатирующая/ пропускная способность канала, (объем правильно передаваемых данных в единицу времени);

$\overline{k_{\text{пвт}}}$  – среднее значение коэффициента, учитывающего время на повторные передачи искаженных блоков данных.

Так как задержек из-за механизма выдачи блоков данных в канал связи в рассматриваемом протоколе нет, то оказывается влияние на эффективную пропускную способность правила (механизма) повторов передач искаженных блоков данных.

Например, классический ТСР/IP протокол («движущееся» окно, повторная передача блоков, вслед за искаженным):

$$S_{\text{э псп}} = R_{\text{бл}} \overline{k_{\text{пр бл}}} S_{\text{ф}} [(R_{\text{бл}} + r_{\text{зб}}) \overline{k_{\text{ож}}}], \quad (15)$$

где:  $\overline{k_{\text{пр бл}}} = \overline{n_{\text{пр бл}}} / R_0$  – коэффициент, учитывающий среднее количество правильно переданных блоков окна  $n_{\text{пр бл}}$  по отношению к размеру окна  $R_0$ ;

$k_{\text{ож}}$  – коэффициент, учитывающий затраты времени на ожидание прихода ответов от приемника данных (после которых возобновляется передача данных);

При сравнении диаграмм эффективной пропускной способности канала при передаче данных по протоколу ТСР (Рисунок 5) и предлагаемого протокола (Рисунок 6) видны очевидные преимущества предлагаемого решения.

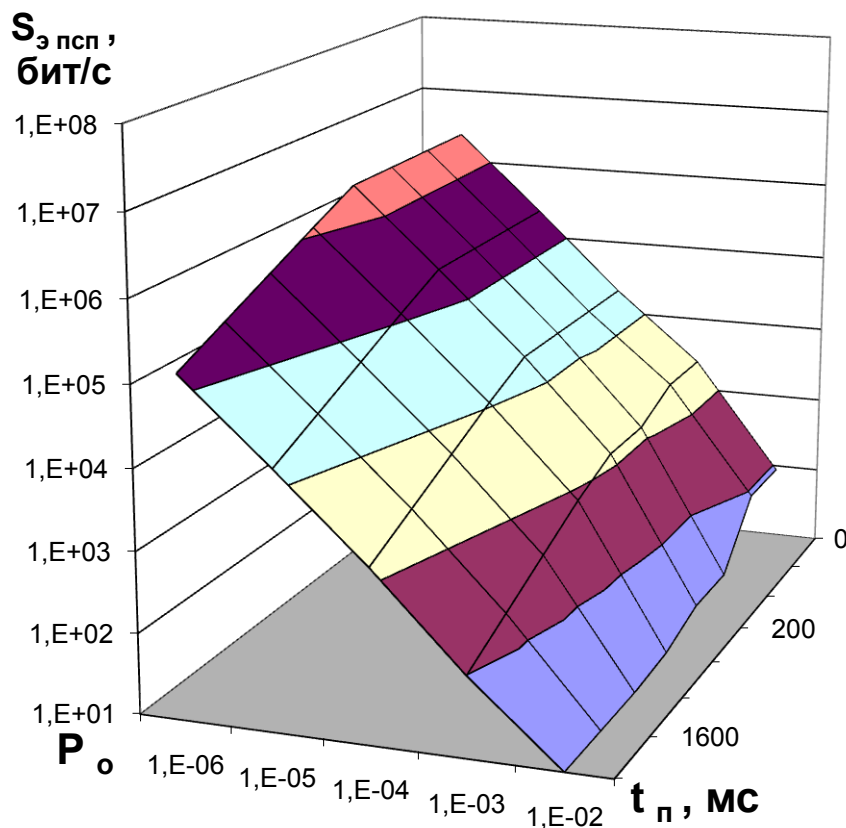


Рисунок 5 – Зависимость эффективной пропускной способности канала при передаче данных по протоколу ТСР

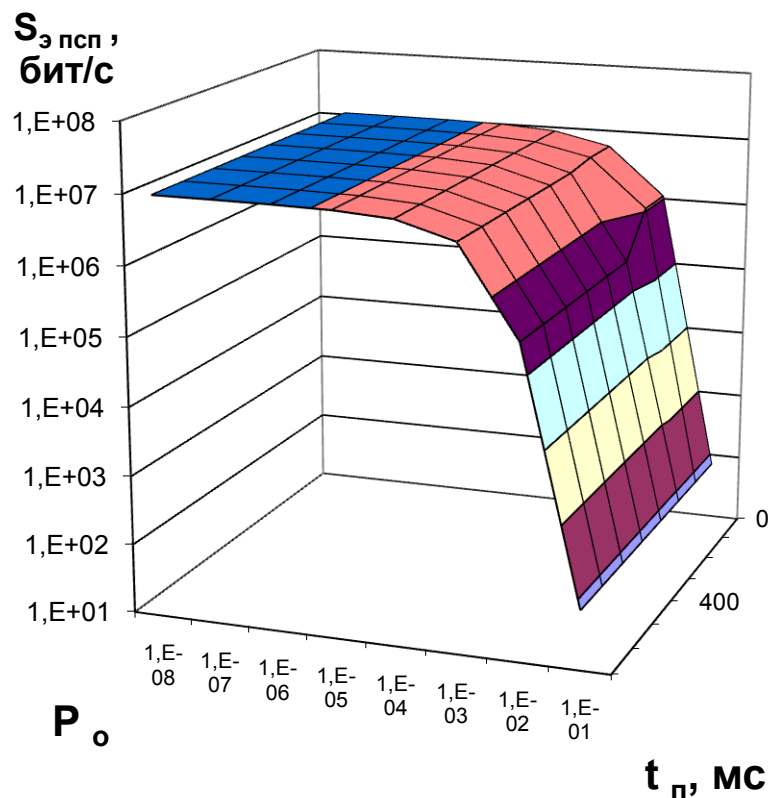


Рисунок 6 – Зависимость эффективной пропускной способности передачи данных по протоколу с «непрерывной передачей» окон».

В цифрах преимущество предлагаемого протокола представлены в таблице (Таблица 3). Расчётные значения эффективной пропускной способности канала представлены для различных значений параметров канала связи, определённых выше.

Таблица 3 – Соотношение расчётных значений эффективной пропускной способности канала  $S_{эфф, псп}$  при использовании протокола TCP/IP и предлагаемого протокола

$S_{эфф, псп}$ , Мбит/с		
TCP/IP	Предлагаемый протокол	Соотношение
0,213832241	0,761648805	3,561898816
0,401571289	0,864353016	2,152427329
0,70710447	0,926512798	1,310291247
0,584937733	0,960360201	1,641816124
0,403596933	0,976755521	2,420126221
0,229464479	0,982171154	4,280275359
0,117058412	0,978895304	8,362451561
0,394252255	0,761648805	1,931881925
0,647894422	0,864353016	1,334095474
0,554962041	0,926512798	1,669506613
0,391163446	0,960360201	2,455137899
0,225698786	0,976755521	4,327695068
0,116407098	0,982171154	8,437381982
0,550541657	0,761648805	1,383453541
0,500863207	0,864353016	1,725726714
0,367218348	0,926512798	2,523056929
0,217764253	0,960360201	4,410091131
0,11442409	0,976755521	8,536275201



Из таблицы (Таблица 3) видно, что предлагаемый протокол позволит сократить время передачи измерительной информации от 1,5 до 8 раз, в зависимости от используемых параметров канала связи и протоколов.

В результате исследования получен патент на изобретение [14].

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

В результате исследования получены следующие результаты:

а) разработаны модель и методы автоматического управления измерительными средствами, которые позволяют обеспечить повышение доли автоматических функций в процессе управления.

б) разработан опытный образец комплекса средств автоматизации измерительного пункта.

в) способ гарантированной передачи, и модель протокола, эффективную пропускную скорость, которого не зависит от времени распространения сигнала связи в канале связи, реализация которого позволит обеспечить, которая:

– позволит приблизить эффективную скорость передачи информации к максимальной пропускной способности канала связи;

– обеспечит максимально возможное использование пропускной способности канала связи при колебаниях реальной помехоустойчивости передачи по спутниковому каналу связи.

Все поставленные вопросы решены и цель исследования – повышение эффективности информационно–измерительного обеспечения пусков ракетно–космической техники в распределенных информационно–управляющих системах за счет разработки моделей и технологии автоматического управления измерительными средствами и разработки новых моделей и технологий организации доставки измерительной информации, адаптированных к особенностям спутниковых каналов связи, таким образом, достигнута.

Дальнейшим направлением перспективных исследований может быть разработка стандарта по разработке измерительных средств, поддерживающих автоматическое управление.

### **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Статьи в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК

1. Новиков Ю.А., Тимашев А.В., Филаткин С.В. Оценка эффективности систем сбора, передачи и обработки измерительной информации реального времени.// Цифровая обработка сигналов – Москва: Российское научно–техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2010. С. 17–18.

2. Пылькин А.Н., Филаткин С.В. Моделирование и оценка характеристик протокола передачи данных при использовании каналов связи с большим временем распространения сигнала.//Радиотехника – Москва, 2015. С. 55–59.

3. Пылькин А.Н., Филаткин С.В. Моделирование и оценка характеристик протокола для передачи данных в реальном времени при использовании каналов связи с большим временем при распространении сигнала.// Вестник РГРТУ. № 2 (выпуск 52). Рязань, 2015. С. 69–74.

4. Пылькин А.Н., Филаткин С.В. Создание автоматического измерительного пункта как способа повышения эффективности систем сбора измерительной информации при испытаниях сложных технических комплексов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 54–2. С. 74–79.

5. Пылькин А.Н., Филаткин С.В. Оценка повышения эффективности систем сбора и обработки информации испытаний сложных технических комплексов при внедрении автоматических измерительных и управляющих средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016. № 2 (выпуск 56). С. 124–130.

## Тезисы докладов конференций

6. Светников О.Г., Тимашев А.В., Филаткин С.В., Панкратов О.Ю., Молоканов В.И. Принципы и подходы к созданию распределённой информационно-управляющей системы проведения испытаний ракетно-космической техники // Международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика»: Тез. докл./ Ряз. гос. радиотехн. акад. Рязань, 2003. С. 24–30.
7. Фомов О.П., Филаткин С.В. Модели систем сбора, передачи обработки измерительной информации в реальном времени для оценки их эффективности // Наука и технологии. Том 2. – Краткие сообщения XXX Российской школы, посвященной 65-летию Победы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 52–55.
8. Новиков Ю.А., Филаткин С.В., Чайка Д.Ю. Способы организации систем сбора измерительной информации при проведении ЛКИ в условиях шифрования информации на борту изделия // Международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика»: Тез. докл./ Рязан. гос. радиотехн. университет. Рязань, 2013. С. 72–74.
9. Филаткин С.В., Пылькин А.Н. Применение автоматических технологий для информационно-измерительного обеспечения испытаний сложных технических комплексов // Математика: фундаментальные и прикладные исследования и вопросы образования [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-практической конференции, 26 – 28 апреля 2016 года / под общ. ред. канд. физ.-мат. наук, доц. Е.Ю. Лискиной; Ряз. гос. университет имени С.А. Есенина. – Рязань, 2016.

## Тезисы докладов конференций, индексируемых SCOPUS

10. Alexandr N. Pylkin; Sergey V. Filatkin. Data Transmission Protocol model to be used in Communication Channels with Large Signal Propagation Time. – 2019 – 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO).

## Программы, зарегистрированные в Реестре программ для ЭВМ

11. Пылькин А.Н., Филаткин С.В. Программа «Программа тестирования спутникового канала связи» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617223, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15.07.2014.
12. Новиков Ю.А., Тихомиров С.А., Товпеко А.В., Филаткин С.В. Программа «Графическое представление параметров» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019612771, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.02.2019.
13. Новиков Ю.А., Филаткин С.В., Тихомиров С.А., Товпеко А.В., Сенин П.К., Королёв А.В., Сурков Е.Н. Программа «Отображение полётной информации» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615602, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 06.05.2019.

## Патенты на изобретения, зарегистрированные в Государственном реестре изобретений Российской Федерации

14. Везенов В.И., Новиков Ю.А., Лукашов Н.А., Погасий А.В., Пресняков А.Н., Филаткин С.В. Способ гарантированной передачи информации по каналу связи и система для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2595556. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 03.08.2016.

**Филаткин Сергей Владимирович**

**МОДЕЛИ И ТЕХНОЛОГИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО–  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ  
РАКЕТНО – КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Отпечатано в типографии «Формат»  
390029, г. Рязань, ул. Чкалова, д. 27, помещение Н 101

Формат А5, бумага 90г, печать 1+1, 19 полос

Тираж 100 экземпляров, № зак. 7285

Цена: 27р.