

На правах рукописи

Некрасов Михаил Викторович

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МНОГОПОТОЧНОГО ПРИЁМА,
ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и
производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» (г. Красноярск)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Антамошкин Александр Николаевич

Официальные оппоненты: **Владимиров Валерий Михайлович**
доктор технических наук, профессор
Красноярский научный центр СО РАН,
зам. председателя по научно-техническим
вопросам

Царев Роман Юрьевич
кандидат технических наук, доцент,
Сибирский федеральный университет
доцент кафедры информатики
Института космических и информационных
технологий

Ведущая организация: Самарский государственный
аэрокосмический университет имени
академика С.П. Королева (национальный
исследовательский университет)

Защита состоится « 24 » июня 2014 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.249.02, созданного на базе ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» по адресу: 660014, г. Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева и на сайте СибГАУ: <http://www.sibsau.ru/index.php/nauka-i-innovatsii/dissertatsionnye-sovety/obyavleniya-o-zashchite-dissertatsij>

Автореферат разослан «___» апреля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Александр Алексеевич
Кузнецов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Современная автоматизированная система управления космическими аппаратами (АСУ КА) предназначена для обеспечения функционирования бортовых систем КА в течение всего времени его активного существования. АСУ КА представляет собой совокупность бортовых и наземных средств управления технологическими процессами с необходимым программным обеспечением и включает:

- бортовой комплекс управления (БКУ), включая аппаратуру управления по каналам бортового радиокомплекса;
- наземный комплекс управления (НКУ).

В такой системе существует критическая необходимость в скорейшем обнаружении нарушения функционирования технологических процессов, от простого перегорания предохранителя до выявления предотказных состояний бортовой аппаратуры, посредством анализа телеметрической информации (ТМИ). Однако зачастую человек не способен эффективно обрабатывать большой объём поступающей информации, поэтому перспективным является создание комплексов автоматизации технологических процессов приёма, обработки и анализа телеметрической информации. Высокий уровень автоматизации и интеллектуализации системы позволит уменьшить время сбора необходимой информации и повысить эффективность действий операторов анализа для поддержания стабильного функционирования космического аппарата.

В настоящее время в центре управления полётами (ЦУП) системы Глонасс используется однопоточная система автоматизированного приёма, обработки и анализа телеметрической информации, способная в единичный момент времени принимать, обрабатывать и анализировать телеметрическую информацию не более чем с одного космического аппарата. Однако для обеспечения целевой задачи – создания глобального навигационного поля – в орбитальной группировке (ОГ) должно находиться 24 космических аппарата. Общее количество сеансов связи за сутки достигает 40, при этом одновременные сеансы связи проводятся с 3-5 космическими аппаратами. Поэтому актуальным на данный момент становится разработка новых методов обеспечения автоматизированной многопоточного приёма, обработки и анализа больших объёмов телеметрической информации с нескольких космических аппаратов одновременно в составе АСУ ОГ КА.

Система приёма, обработки и анализа ТМИ, применяемая на сегодняшний день в центре управления полётами, имеет ряд недостатков, связанных, в первую очередь, с несовершенством архитектуры самой системы, отсутствием централизованного хранения архивов телеметрии и процедурными принципами построения специального программного обеспечения, которое ориентировано на применение ручных технологий и не обеспечивает необходимой глубины контроля. Современная система приёма, обработки и анализа телеметрической информации морально устарела и требует модернизации.

Исходя из экономической целесообразности и обеспечения национальной безопасности для заказов МО РФ размещение элементов наземного комплекса

управления отечественными ОГ КА производится только на территории РФ. Элементы наземного комплекса управления обмениваются ТМИ по специализированным протоколам информационно-логического взаимодействия и осуществляют поддержку друг друга по выделенным каналам с целью исключения несанкционированного доступа к циркулирующей информации. С учётом изложенного, применение международных стандартов и разработок при создании многопоточной системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации затруднительно. Тем не менее, рекомендации зарубежных разработок по построению телеметрических систем в виде иерархической структуры должны учитываться при модернизации существующей телеметрической системы.

Проблемы обработки телеметрической информации с ОГ КА неоднократно рассматривались в работах Охтилева М.Ю., Чуприкова А.Ю., Ничипоровича О.П., Соколова Б.В. (СПИИ РАН, г.Санкт-Петербург), Виноградова А.Н., Заднепровского В.Ф., Куршева Е.П., Хачумова В.М. (ИПС РАН, г.Переславль-Залесский, Ярославская область), Кузина В. А., Атаманчука Ю. И., Кравчука Н. В., Шибанов А. П. (ОКБ «Спектр», г.Рязань), Смирнова С.В., Ватутина В.М., Генералова П.В., Круглова А.В., Тимошиной Н.Е (ОАО «РКС», г. Москва), Валова Н.Н., Скорнякова В.А. (ЦНИИМаш, г.Королёв, Московская область).

В рамках современного уровня развития системного анализа сложных инженерных задач и средств программирования в данном исследовании разработана архитектура многопоточной системы обработки телеметрической информации в составе АСУ ОГ КА.

В качестве **объекта исследования** в работе выступают потоки телеметрической информации в контуре АСУ ОГ КА.

Предметом исследования являются методы автоматизации технологических процессов приёма, обработки и анализа телеметрии в системе обработки телеметрической информации.

Целью диссертации является автоматизация комплекса технологических процессов приёма, обработки и анализа телеметрической информации для повышения эффективности функционирования АСУ ОГ КА. В соответствии с целью исследования основными задачами являются следующие.

- 1 Исследовать технологические процессы существующей автоматизированной системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации в составе АСУ ОГ КА.
- 2 Выявить ключевые функции для анализа эффективности системы автоматизации технологических процессов приёма, обработки и анализа телеметрической информации.
- 3 Определить архитектуру новой автоматизированной системы многопоточного приёма, обработки и анализа телеметрической информации в контуре АСУ ОГ КА с учётом ключевых функций системы. Определить принципы взаимодействия подсистем системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации.

- 4 Предложить принципы унификации средств описания исходных данных на обработку телеметрической информации, алгоритмов и методов обработки и анализа телеметрической информации.
- 5 Предложить принципы построения качественной программной модели автоматизированной системы многопоточного приёма, обработки и анализа телеметрической информации.
- 6 Разработать программное обеспечение сервера обработки телеметрической информации, позволяющее автоматизировать технологические процессы многопоточного сбора, обработки и анализа телеметрической информации и осуществлять централизованное хранение данных с поддержкой множественного санкционированного доступа клиентов обработки и анализа телеметрической информации.
- 7 Провести сравнительный анализ ключевых функций старой и новой системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации в контуре АСУ ОГ КА.

Решение поставленных задач позволит повысить надёжность и степень автоматизации технологических процессов системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации и удовлетворить современные требования к АСУ ОГ КА.

Методы исследования. Исследования проводились с использованием теории системного анализа, методов абстрагирования и конкретизации, методов синтеза специального программного обеспечения, объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Научная новизна работы результатов диссертационной работы состоит в следующем:

- 1 Предложена и обоснована архитектура новой телеметрической системы в составе АСУ ОГ КА, включающая подсистему многопоточного приёма информации и позволяющая автоматизировать технологические процессы приёма, обработки и анализа телеметрической информации.
- 2 Спроектирована библиотека объектно-ориентированных модулей, включающая унифицированные средства описания исходных данных, алгоритмы и методы обработки и анализа телеметрической информации и позволяющая более эффективно организовывать программное обеспечение новой телеметрической системы.
- 3 Предложена и обоснована архитектура обслуживающей подсистемы, включающая поддержку многопоточного приёма, обработки и анализа телеметрической информации и позволяющая обеспечить множественный санкционированный доступ клиентов обработки и анализа телеметрии и повысить степень доступности телеметрической информации.
- 4 Предложен метод адаптивной передачи телеметрии потребителям, включающий функцию автоматического выбора оптимального потока телеметрии и позволяющий повысить стабильность и качество приема телеметрической информации на начальных этапах ориентации КА.

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования состоит в создании архитектуры новой автоматизированной многопоточной системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации, построении унифицированной библиотеки описания исходных данных, алгоритмов и методов обработки и анализа телеметрии. Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, создают теоретическую основу для разработки методов и алгоритмов, направленных на повышение эффективности технологических процессов приёма, обработки и анализа телеметрической информации.

Практическая ценность работы заключается в применении результатов исследования для построения в контуре АСУ ОГ КА автоматизированной многопоточной системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации, организации взаимодействия построенной системы с удалёнными потребителями телеметрической информации, а также в применении результатов исследования для проектирования, разработки и внедрения новой автоматизированной многопоточной системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации в состав АСУ ОГ системы Глонасс, Гео-ИК-2, Экспресс-АМ, Экспресс-АТ, Луч-5В. В работе достигнуты следующие практические результаты:

- предложен унифицированный сетевой интерфейс для доступа к источникам телеметрии, включающий взаимодействие с САО-Ц, СОТИ, ЕЦУП РБ и позволяющий расширять функции телеметрической системы при введении новых источников телеметрии;
- разработан набор протоколов взаимодействия между сервером обработки телеметрии и внутренними / внешними для АСУ ОГ КА клиентами, описывающий значения телеметрических параметров и позволяющий передавать состояния бортовых систем КА в унифицированном виде;
- разработана библиотека унифицированного описания исходных данных, алгоритмов и методов обработки и анализа телеметрической информации;
- разработано программное обеспечение, реализующее взаимодействие подсистем внутри системы, а также взаимодействие с внешними абонентами по предложенным принципам;
- разработано кроссплатформенное программное обеспечение сервера обработки телеметрической информации, функционирующее под управлением операционных систем Windows, Linux и включающее метод адаптивной передачи телеметрии потребителям и подсистему защиты информации;
- разработана реляционная модель базы данных для централизованного хранения архивов телеметрической информации;
- использование результатов исследования для построения системы многопоточного приёма телеметрической информации позволит повысить степень доступности телеметрической информации, обеспечить гибкую модульность программного обеспечения, упростить процесс формирования кроссплатформенного информационно-

телеметрического обеспечения, обеспечить полноценное взаимодействие внутри системы и с внешними абонентами, а также повысить качество системы приёма телеметрии и эффективность функционирования АСУ КА в целом;

- результаты исследования и созданное на его основе специальное программное обеспечение сервера обработки телеметрии внедрено, что подтверждается актами внедрения, и используются следующими организациями:
 - центры управления полётами системами Глонасс, Гео-ИК-2 (г.Краснознаменск, Московская область);
 - центры управления полётами системами Экспресс-АМ, Экспресс-АТ (г.Москва, г.Железногорск, Красноярского края);
 - центр управления полётом системы Луч-5В (г.Королёв, Московская область)
 - информационно-вычислительный комплекс генерального конструктора Открытого акционерного общества «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва (г.Железногорск, Красноярского края).

Основные защищаемые положения

- 1 Архитектура новой системы многопоточного приёма, обработки и анализа телеметрической информации.
- 2 Унифицированный сетевой интерфейс для доступа к различным источникам телеметрии. Набор протоколов взаимодействия между подсистемами обработки телеметрической информации и внешними абонентами.
- 3 Библиотека объектно-ориентированных модулей системы обработки телеметрии, унифицирующая средства описания исходных данных, алгоритмы и методы обработки и анализа телеметрической информации.
- 4 Принципы обеспечения и контроля качества при создании многопоточной системы обработки телеметрической информации.
- 5 Метод адаптивной передачи телеметрии потребителям
- 6 Архитектура сервера обработки телеметрической информации.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 20 работ, из них 4 в изданиях Перечня ВАК и 2 зарегистрированные программные системы.

Апробация работы. Диссертационная работа и её отдельные разделы докладывались и обсуждались на научно-технической конференций молодых специалистов ОАО ИСС, г. Железногорск, 2008г; XLVII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс», г. Новосибирск, 2009г; Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Актуальные проблемы авиации и космонавтики», г. Красноярск, 2009г; Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», г. Москва, 2009г; XIII Международной научной конференции «Решетневские чтения», г. Красноярск, 2009г; XXXIV Академических чтениях по космонавтике «Королёвские чтения», г. Москва,

2009г; III Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», г. Москва, 2010г; XLVIII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс», г. Новосибирск, 2010г; Международном конгрессе по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS&IT'10, г. Геленджик-Дивноморское, 2010г; XIV Международной научной конференции «Решетнёвские чтения», г. Красноярск, 2010г.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, рассмотрены вопросы научной новизны и практической ценности проведённых исследований, изложены основные положения, которые выносятся на защиту.

В **первой главе** даётся обзор архитектуры современной автоматизированной системы управления КА и протекающих в ней технологических процессов приёма, обработки и анализа информации. Рассматривается структура бортового и наземного комплексов управления, состав и назначение подсистем ЦУП. Отмечается необходимость модернизации системы обработки телеметрии и применения методов системного анализа для проектирования и построения многопоточной системы обработки телеметрии. Описываются общие принципы построения унифицированных систем обработки телеметрической информации.

В АСУ КА объектом управления является орбитальная группировка космических аппаратов (ОГ КА) (рисунок 1), а задачей управления – поддержание оптимального функционирования бортовых систем КА в течение всего срока активного существования. Средствами ЦУП производится выдача управляющих воздействий (УВ) и закладка массивов командно-программной информации (КПИ) через земные станции (ЗС) на борт КА. Для уточнения параметров движения КА производится периодическое измерение текущих навигационных параметров (ИТНП) КА. Особую роль при управлении КА играет телеметрическая информация (ТМИ), позволяющая оценить реакцию управляемого КА на управляющие воздействия.

Технологический процесс приёма, обработки и анализа ТМИ состоит из последовательности этапов: сбор ТМИ на борту КА и передача по радиоканалу в ЗС, предварительная обработка в ЗС, первичная обработка и окончательный этап обработки, анализа и представления результатов, выполняемый средствами информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) в ЦУП КА.

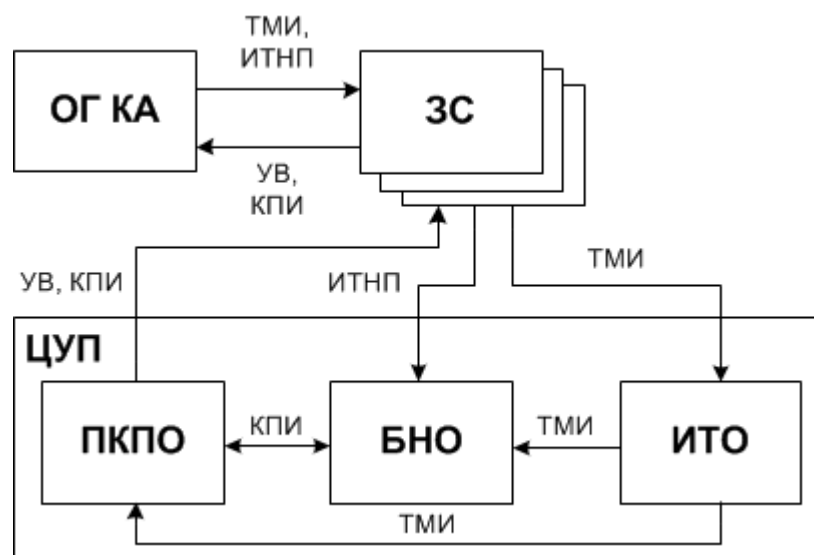


Рисунок 1 – Общая архитектура современной АСУ ОГ КА

Операторы управления и системные специалисты производят анализ состояния КА по ТМИ и выбирают стратегию по управлению ОГ КА.

В настоящее время программная архитектура СПО ОТИ в ЦУП КА морально устарела и не соответствует современным требованиям. В то же время с развитием самой платформы КА растет потребность в обработке все большего потока информации. Актуальной становится разработка новых методов многопоточной обработки больших объёмов ТИМ с нескольких КА одновременно.

Используемый при управлении КА сеансовый режим работы требует от оператора сектора анализа постоянного участия при организации сеансов, в то время как при возрастающем количестве проводимых сеансов данная процедура должна быть автоматизирована.

Использование различных аппаратно-программных средств для приёма ТМИ от различных источников (САО-Ц, СОТИ) затрудняет их сопровождение, поддержку и эксплуатацию. Кроме того, в существующей системе обработки телеметрии отсутствуют интерфейсы передачи результатов обработки удалённым потребителям и внешним системам, таким, как, например, резервный ЦУП или центр управления бортовым ретрансляционным комплексом (БРК).

Решение описываемых проблем имеющейся системы обработки телеметрии весьма затруднительно ввиду несовершенства архитектуры и использовавшихся процедурных методов при разработке программного обеспечения (ПО). Подход к функциональному структурированию СПО ОТИ определялся требованиями специалистов по управлению конкретным КА и заложенными аппаратными характеристиками ЦУП, что привело к наличию большого числа различных версий программного обеспечения для каждого из аппаратов. Сложившаяся ситуация препятствовала наращиванию и модернизации ПО, а увеличение числа и типов разрабатываемых КА ещё больше обострило данную проблему.

Производительность, модульность и расширяемость существующей системы могут быть обеспечены только за счёт проектирования новой архитектуры системы многопоточной обработки телеметрии, с применением

методов системного анализа и разработки программных компонент на основе объектно-ориентированных принципов, соответствующих стандартам качества программного обеспечения.

В основу создания новой многопоточной системы ОТИ положена идеология построения унифицированного программного комплекса СПО ОТИ, которая предполагает реализацию четырёх принципов: системность, гибкость программного обеспечения и совместимость его функциональных характеристик, автоматизация работы модулей системы, заданный уровень функциональности системы.

Во **второй главе** выделяются ключевые характеристики (требования) будущей многопоточной системы приёма ТМИ с целью последующего анализа и проведения тщательной разработки общей структуры системы. Под ключевыми характеристиками системы ОТИ понимается набор требований и функциональных задач системы ОТИ, предъявляемых к ней с точки зрения системы АСУ КА в целом. Множество ключевых характеристик определяется требованиями технического задания на систему ОТИ. Было выделено 23 основные характеристики, к которым относятся: непрерывный автоматизированный контроль, диагностика и отображение состояния КА при штатном и нештатном его функционировании, обслуживание заявок внутренних и внешних потребителей ТМИ и другие. Кроме того, по результатам предварительного исследования недостатков существующей системы определён набор из 22 дополнительных характеристик системы ОТИ, к которым относятся: масштабируемость СПО ОТИ, параллельный приём и обработка телеметрической информации не менее чем с 8 земных станций (НИП), одновременный приём и обработка телеметрической информации форматов САО-Ц, СОТИ, ЕЦУП РБ и другие.

Для построения внутренней структуры многопоточной системы обработки телеметрической информации произведём классификацию множества сформулированных характеристик: а) по способу решения задачи обработки и анализа и б) по функциональному назначению. По способу решения задач обработки и анализа будем выделять сеансовые (онлайн) и внесеансовые (офлайн) характеристики. По функциональному назначению будем выделять характеристики обслуживающей подсистемы, характеристики подсистемы мониторинга и характеристики вспомогательных подсистем, как, например, подсистема подготовки исходных данных.

Построив матрицу трассируемости характеристик в функциональные подсистемы обработки телеметрии обнаруживаем, что более 70% характеристик системы многопоточной обработки ТМИ являются общими для нескольких подсистем. Для исключения дублирования реализации совпадающих характеристик различными подсистемами телеметрии необходимо разработать унифицированные методы решения таких задач, а совокупность общих методов организовать в виде разделяемой библиотеки методов обработки и анализа телеметрической информации.

С учётом сформулированных требований была построена архитектура обслуживающей подсистемы, представленной на рисунке 2.

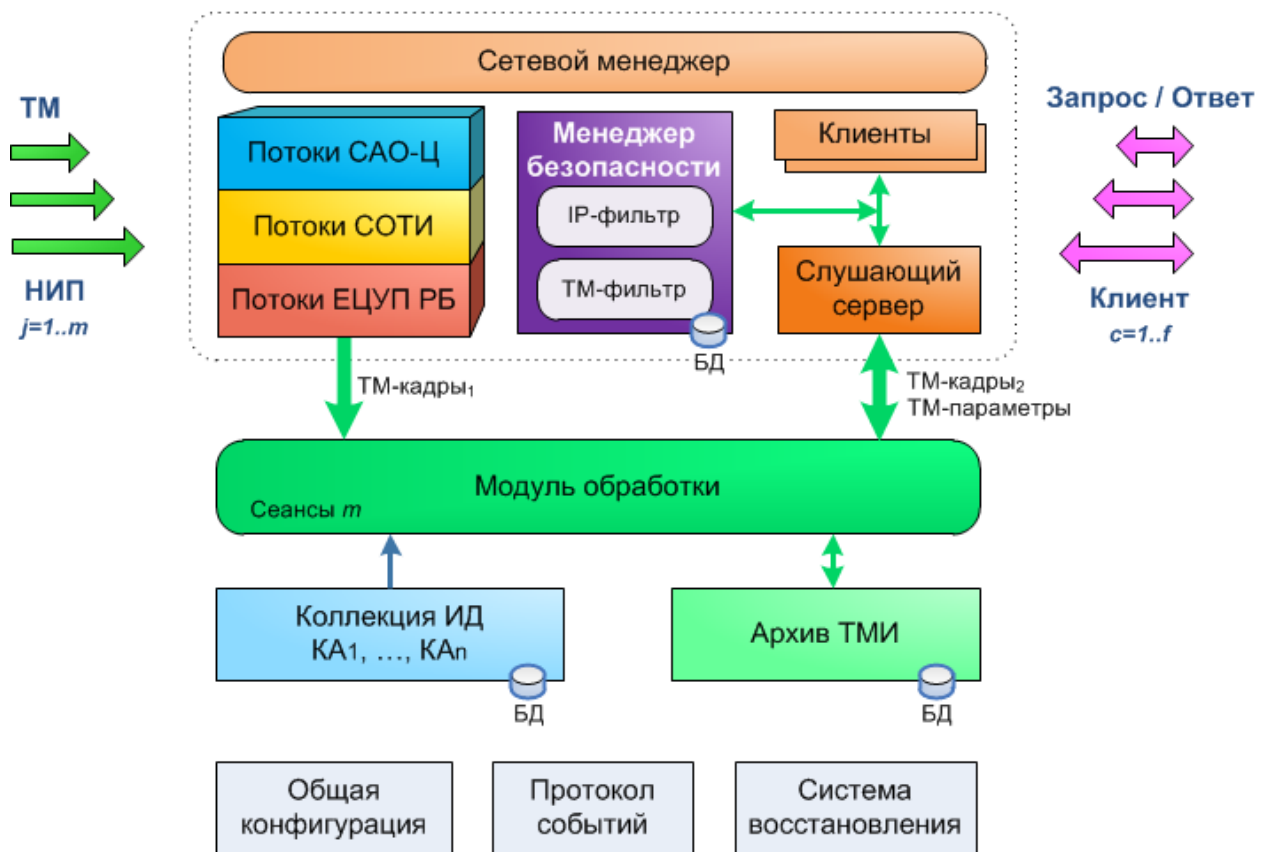


Рисунок 2 – Архитектура подсистемы сервера обработки телеметрии

Задачи приёма телеметрических кадров от НИП и рассылки обработанных кадров и телеметрических (ТМ) параметров клиентам решает *сетевой менеджер*. В составе сетевого менеджера имеется блок приёма телеметрических кадров от НИП в форматах CAO-Ц, СОТИ или ЕЦУП РБ соответственно. *Модуль обработки*, принимая очередной ТМ-кадр, производит контроль достоверности с выставлением признаков результата контроля. Дополнительно производит расчёт ТМ-параметров, выделяет отчёты бортового компьютера и передаёт обработанную информацию в модуль ведения архивов для записи в оперативный архив и последующего сохранения в долговременный архив базы данных. Кроме того, модуль обработки транслирует обработанные и унифицированные ТМ-кадры, значения ТМ-параметров в слушающий сервер для последующей рассылки клиентам. В составе сетевого менеджера имеется блок управления подключениями клиентов, состоящий из *слушающего сервера*, *менеджера безопасности* и *коллекции соединений с клиентами*. Модули *общей конфигурации*, *протокола событий* и *системы восстановления* решают дополнительные сервисные задачи.

В качестве показателя эффективности обслуживающей подсистемы выберем относительную и абсолютную пропускные способности входящего и исходящего потоков и произведём их расчёт средствами теории массового обслуживания.

Относительная пропускная способность системы:

$$q = 1 - P_{\text{отк}} = \begin{cases} 1 - \left(\frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \right) \cdot \rho^N, & \rho \neq 1; \\ 1 - \frac{1}{(N + 1)}, & \rho = 1. \end{cases} \quad (1)$$

Абсолютная пропускная способность:

$$A = q \cdot \lambda. \quad (2)$$

Применительно к системе ОТИ: $\lambda = 1.8$ кадров/сек, максимальная длина очереди ожидания $m = 10$ кадров и все потоки событий (получения кадров и обслуживания) имеют характер простейших пуассоновских потоков. Необходимо определить оптимальное значение интенсивности обслуживания μ , при котором поток телеметрических кадров каждого канала приёма будет обрабатываться с минимальными потерями (отказ должны получать не более 1% заявок). Считая условием оптимальности $q \geq 0.99$ и постепенно увеличивая значение μ , получаем, что, при условии полной нагрузки на сервер обработки телеметрии каждый канал должен обеспечивать интенсивность обслуживания μ не хуже 2.5 кадра/сек.

Для обеспечения взаимодействия внутренних клиентов (подсистем онлайн мониторинга) с обслуживающей подсистемой на базе «Протокола взаимодействия САО и СПО управления» был разработан информационный протокол взаимодействия, с учётом требований аутентификации клиентов. Кроме того, для проведения глубокой и узкоспециализированной оценки функционирования бортовой аппаратуры внешними потребителями телеметрии был разработан универсальный протокол передачи состояния КА на основе XML сообщений.

В **третьей главе** производится обоснование выбора метода проектирования унифицированных средств описания исходных данных, алгоритмов и методов обработки и анализа. В качестве такого метода был выбран метод объектно-ориентированный анализ и проектирование, который предполагает построение диаграмм классов, объектов, взаимодействия и диаграммы компонентов.

В результате анализа требований и задач обработки ТМИ, сформулированных в виде ключевых характеристик системы и совпадающих для различных подсистем обработки ТМИ, была построена диаграмма классов, предоставляющих библиотеку унифицированного описания исходных данных, алгоритмов и методов обработки и анализа. Множество классов имеет логическую группировку по характеру решаемых задач, элементом группировки являются пространства имён: core, database, io, id, tmiprocess, net.

Группа классов описания исходных данных представлена в виде соответствующей диаграммы на рисунке 3.

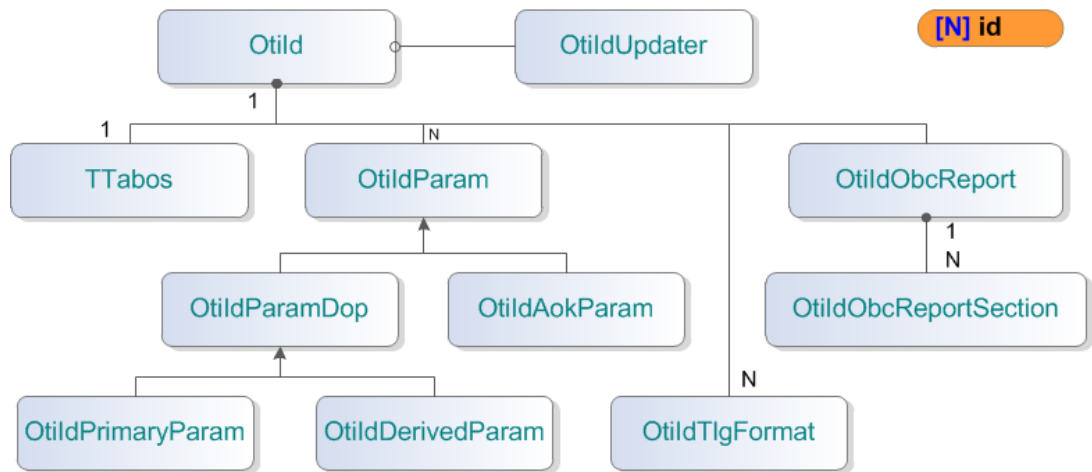


Рисунок 3 – Диаграмма классов описания исходных данных

Диаграмма объектов обработки и анализа, иллюстрирующая сценарий выполнения задач обработки и анализа телеметрической информации, представлена на рисунке 4.

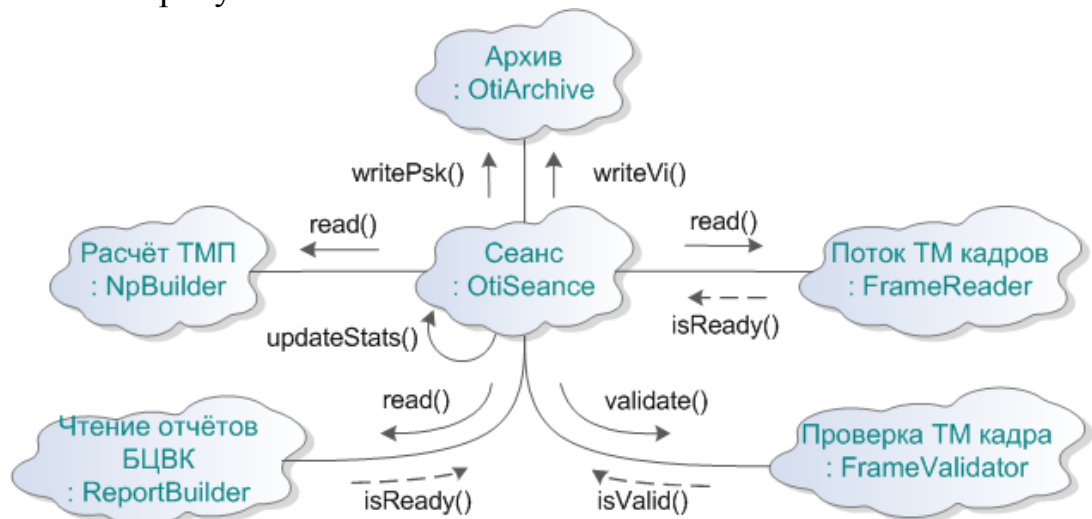


Рисунок 4 – Диаграмма объектов обработки и анализа

Построенные далее диаграммы взаимодействия объектов описания исходных данных, объектов обработки и анализа позволяют лучше диаграмм объектов передать семантику сценариев на ранних этапах жизненного цикла разработки.

Диаграмма компонентов представлена в виде иерархии, причём модули нижних уровней предоставляют интерфейсы для модулей верхних уровней. К высшему уровню иерархии относятся обслуживающая подсистема, подсистема онлайн мониторинга и прочие подсистемы.

В **четвёртой главе** рассматривается определение качества программного обеспечения. Производится обоснование применения V-модели жизненного цикла программного обеспечения к созданию многопоточной системы. Такая модель учитывает, что тестирование, как один из способов обеспечения качества продукта, обсуждается, проектируется и планируется на ранних этапах жизненного цикла разработки. Рассматривается распространенная многоуровневая модель качества программного обеспечения, представленная в наборе стандартов ISO 9126.

Обобщая имеющуюся информацию, а также используя личный опыт в проектировании и создании программных систем, были предложены принципы обеспечения качества на различных этапах жизненного цикла программного продукта. Однако одного обеспечения качества не достаточно, необходим обратный процесс – контроль качества, позволяющий оценить, на сколько система соответствует заявленным требованиям, каков процент завершённых задач. В зависимости от того, обеспечиваются ли заданные характеристики или имеют место недопустимые отклонения от них, управляющие воздействия должны быть направлены соответственно на сохранение фактического состояния процесса или на его корректировку.

В пятой главе описывается проектирование объектно-ориентированной модели обслуживающей подсистемы, удовлетворяющей ключевым характеристикам, сформулированным на этапе общего проектирования многопоточной системы приёма ТМИ.

Группа классов, предназначенных для обеспечения сетевого взаимодействия между источниками ТМИ и сервером обработки ТМИ с одной стороны и между сервером ТМИ и клиентами ТМИ с другой, представлена на соответствующей диаграмме классов на рисунке 5.

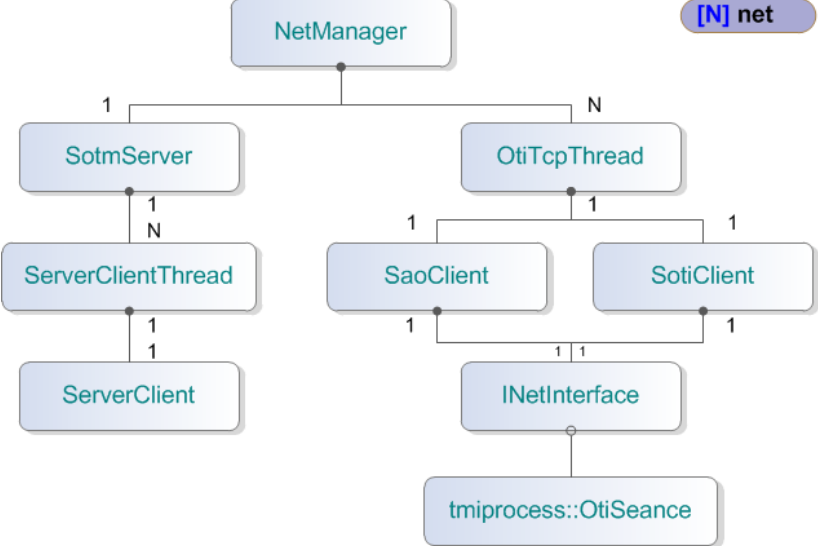


Рисунок 5 – Диаграмма классов сетевого взаимодействия

Диаграмма взаимодействия сетевых объектов во времени представлено на рисунке 6.

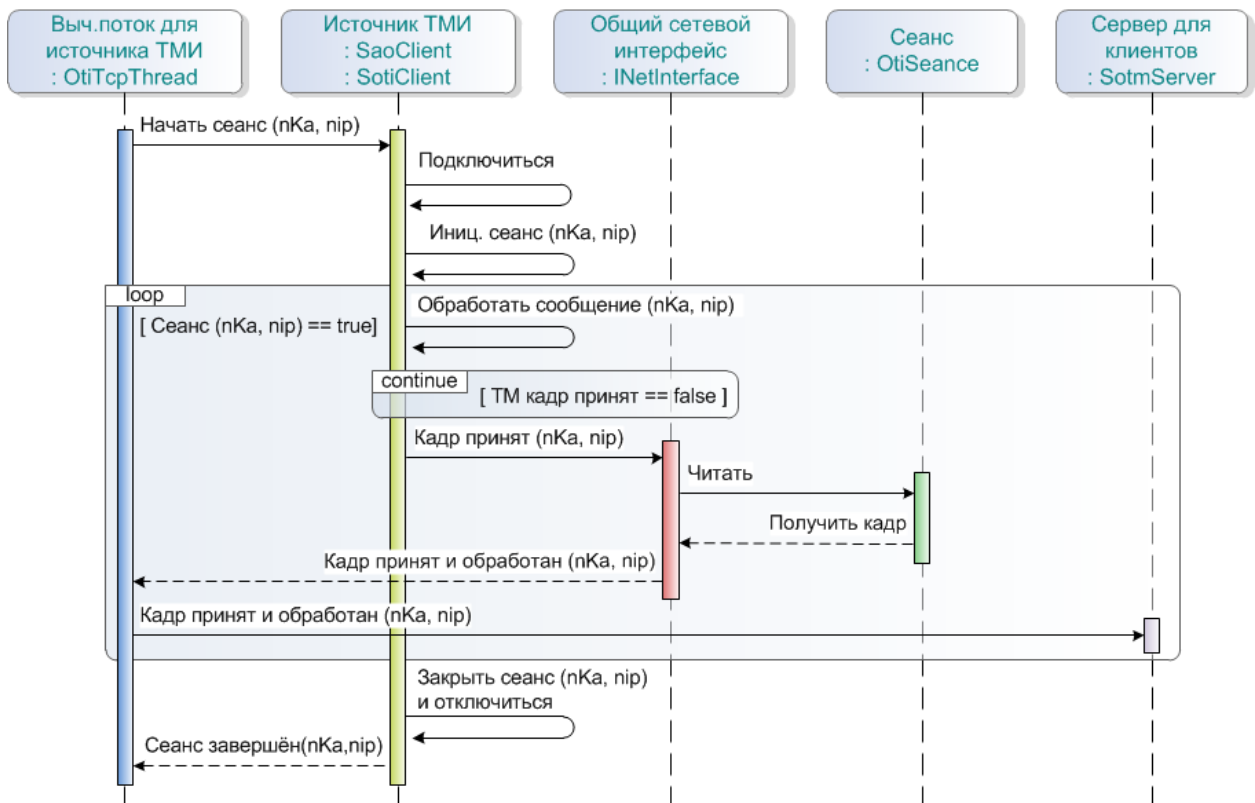


Рисунок 6 – Диаграмма взаимодействия сетевых объектов

С внедрением многопоточной обслуживающей подсистемы, поддерживающей одновременный приём телеметрии с нескольких КА через множество земных станций, становится возможной реализация метода адаптивной передачи, проиллюстрированного на рисунке 7.

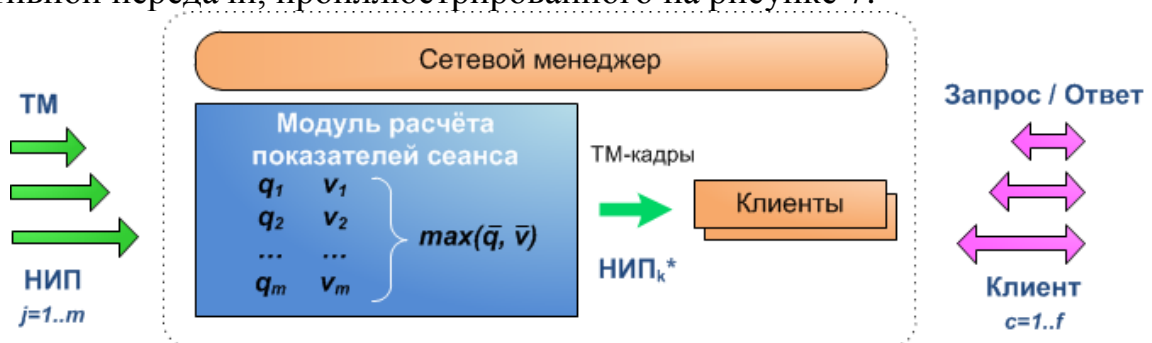


Рисунок 7 – Метод адаптивной передачи телеметрии потребителям на примере одного КА

Расчёт показателей принимаемых потоков телеметрической информации q_j и v_j производится регулярно для каждого принимаемого кадра, в то время как выбор оптимального потока производится периодически с интервалом раз в три секунды

Защита информации является одним из важнейших требований к любой автоматизированной информационной системе. Защита информации от несанкционированного доступа подразумевает идентификацию и аутентификации пользователя, а также разграничение доступа к различным участкам информации в зависимости от привилегий пользователя. Учитывая повышенные требования к защите информации в ЦУП двойного назначения, предложена дополнительная

проверка пользователя при запуске прикладной программы через ввод имени учётной записи и пароля. Контроль правильности ввода осуществляется средствами приложения через сопоставление вводимых данных с данными в центральной базе данных. С каждым авторизованным пользователем соотносится определённая группа функциональных привилегий, что позволяет обеспечивать разграничение доступа к различным видам информации внутри приложения.

Важным вопросом является защита передаваемой информации между обслуживающей подсистемой и внутренними, внешними клиентами. Для обеспечения защиты информации в обслуживающую подсистему внедрён модуль защиты информации, состоящий из двух независимых компонент: Фильтр IP-адресов и Фильтр ТМ-параметров. Каждая из этих компонент может быть отключена или задействована в любой момент времени. Взаимосвязь модуля защиты информации с остальными элементами обслуживающей подсистемы была приведена на рисунке 8.

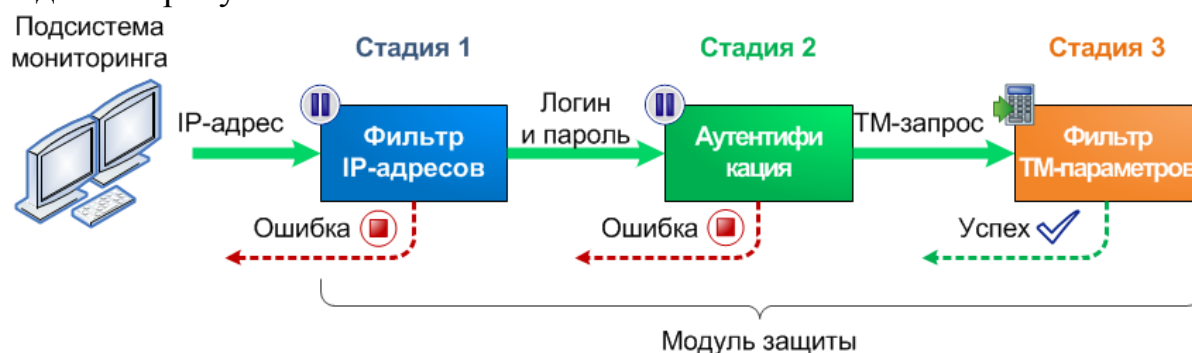


Рисунок 8 – Схема обработки телеметрического запроса с использованием модуля защиты передаваемой информации

Применение базы данных при построении многопоточной системы обработки телеметрии обусловлено с одной стороны необходимостью обеспечения централизованного хранения телеметрической информации, с другой повышенными требованиями к защите и надёжности хранимой информации. Кроме того средствами системы управления базами данных автоматизировано решаются задачи аудита изменений и восстановления базы данных после сбоев.

Анализ предметной области позволяет обозначить следующие виды информации, которые целесообразно хранить в базе данных:

- исходные данные на обработку телеметрической информации;
- архивы телеметрической информации;
- входные и выходные данные системы подготовки автоматизированных отчётов о состоянии телеметрических параметров;
- конфигурация для модуля защиты о фильтруемых IP-адресах, ТМ-параметрах;
- адреса различных источников телеметрии.

В результате проектирования базы данных обработки телеметрической информации была разработана ER-диаграмма, представленная на рисунке 9.

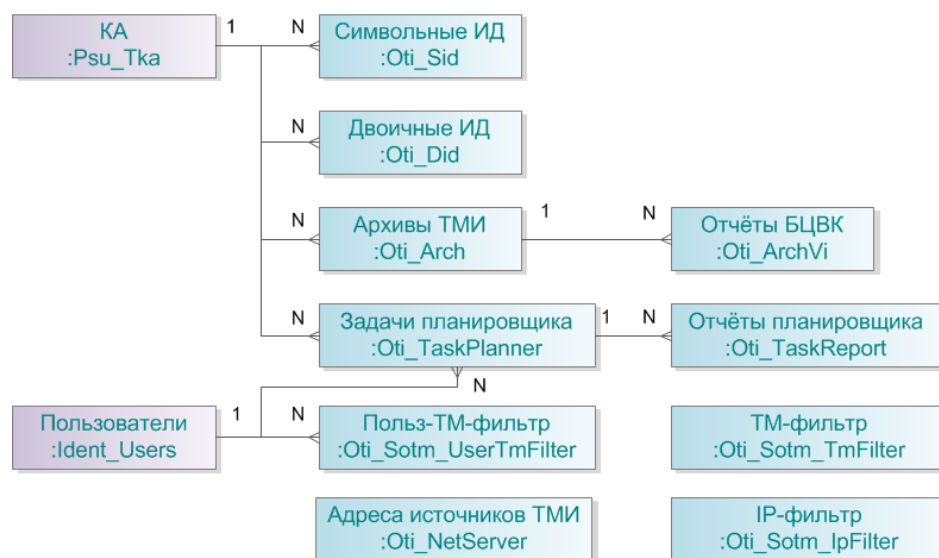


Рисунок 9 – ER-диаграмма базы данных обработки телеметрической информации

Множество сущностей базы данных обработки телеметрической информации являются подмножеством всех сущностей базы данных ЦУП КА, поэтому для наглядности на представленной диаграмме синим цветом обозначены сущности, участвующие в задачах обработки телеметрической информации, а фиолетовым прочие служебные сущности центральной базы данных.

В **шестой главе** приводятся характеристики системы обработки телеметрической информации системы Глонасс. Рассматриваются результаты практической реализации разработанных методов и моделей для системы Глонасс.

В части функциональных характеристик новая многопоточная система имеет 9 дополнительных характеристик по сравнению с существующей системой. Параллельный приём и обработка телеметрической информации не менее чем с 8 НИП стали возможными благодаря тщательному проектированию архитектуры обслуживающей подсистемы и сетевого менеджера в её составе. Приём многопоточный приём и обработка обеспечиваются одним рабочим местом с расположенным на нём СОТМ, а не множеством дублирующих рабочих мест, в отличие от существующей системы. Благодаря заложенной расширяемости сетевого менеджера стало возможным создание адаптеров для приёма телеметрической информации от различных источников, включая ЕЦУП РБ. Кроме обеспечения обработки телеметрии внутри ЦУП новая многопоточная система также предоставляет интерфейс для взаимодействия с внешними по отношению к ЦУП потребителями. Особое внимание в новой системе уделено вопросам обеспечения безопасности, для решения которых внедрены средства парольной защиты и система защиты от несанкционированного доступа.

Улучшение характеристик надёжности построенной системы обусловлено, во-первых, организацией центрального хранилища архивов телеметрической информации в БД ЦУП (для этой цели была спроектирована база данных). Во-вторых, внедрением системы восстановления после программных сбоев.

Используя сведения БД ЦУП о запланированных сеансах приёма телеметрии, стала возможной реализация автоматического проведения сеанса средствами обслуживающей подсистемы.

Характеристики эффективности системы были улучшены за счёт внедрения метода автоматизированной организации сеанса съёма телеметрии. Практическая реализация предложенного метода продемонстрировала, что среднее время организации единичного сеанса и перехода между сеансами сократилось. Прирост производительности при этом составил $\frac{t_n}{t'_n} \cong 130$, $\frac{t_n}{t'_n} \cong 47$ раз соответственно. Также эффективность новой системы улучшена за счёт применения метода адаптивного приёма-передачи потока телеметрических кадров клиентам, позволяющего в условиях приёма ТМИ по одному КА через несколько земных станций автоматически выбирать наиболее качественный с точки зрения достоверности и скорости поступления кадров поток и перенаправлять его клиентам.

Поскольку в основе новой многопоточной системы лежит библиотека унифицированного описания исходных данных, обработки и анализа телеметрической информации построенная система является легко масштабируемой. На базе спроектированных модулей могут быть построены дополнительные программные комплексы, при этом обеспечивается повторное использование богатых функциональных возможностей библиотеки. Одним из средств повышения качества новой системы стало внедрение системы автоматического формирования и доставки отчётов об ошибках.

При выборе инструментария разработки решающим фактором стало требование функционирования под ОС различной архитектуры. Выбранная библиотека Qt позволила с успехом реализовать кроссплатформенную многопоточную систему.

Разработанная многопоточная система внедрена и успешно эксплуатируется при решении задачи автоматизированного управления в ЦУП ОГ КА Глонасс, Гео-ИК-2 в интересах Министерства обороны Российской Федерации, а также в ЦУП ОГ КА Эксперсс-АМ, Эксперсс-АТ, Луч-5В, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

В **заключении** диссертации приведены основные результаты диссертационного исследования и выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В процессе диссертационного исследования были получены следующие результаты.

- 1 Проведено исследование технологических процессов существующей автоматизированной системы приёма, обработки и анализа телеметрической информации в составе АСУ ОГ КА.
- 2 Выявлены ключевые функции системы приёма телеметрической информации в составе АСУ ОГ КА и проведена их классификация. Предложена архитектура системы телеметрической информации, обеспечивающая ключевые функции системы и позволяющая осуществлять автоматизированный многопоточный приём, обработку и анализ телеметрической информации.

- 3 Предложен унифицированный сетевой интерфейс для доступа к источникам телеметрии, включающий взаимодействие с САО-Ц, СОТИ, ЕЦУП РБ и позволяющий расширять функции телеметрической системы при введении новых источников телеметрии.
- 4 Разработан набор протоколов взаимодействия между сервером обработки телеметрии и внутренними / внешними для АСУ ОГ КА клиентами, описывающий значения телеметрических параметров и позволяющий передавать состояния бортовых систем КА в унифицированном виде.
- 5 Спроектирована и разработана библиотека объектно-ориентированных модулей, включающая унифицированные средства описания исходных данных, алгоритмы и методы обработки и анализа телеметрической информации и позволяющая более эффективно организовывать программное обеспечение новой телеметрической системы.
- 6 Сформулированы принципы обеспечения и контроля качества, положенные в основу создания качественной автоматизированной системы многопоточного приёма, обработки и анализа телеметрической информации.
- 7 Предложена и обоснована архитектура обслуживающей подсистемы, включающая поддержку многопоточного приёма, обработки и анализа телеметрической информации и позволяющая обеспечить множественный санкционированный доступ клиентов обработки и анализа телеметрии и повысить степень доступности телеметрической информации.
- 8 Разработано кроссплатформенное программное обеспечение сервера многопоточного приёма, обработки и анализа телеметрической информации, функционирующее под управлением ОС Windows, Linux и включающее метод адаптивной передачи телеметрии потребителям и подсистему защиты информации.
- 9 Разработана реляционная модель базы данных для централизованного хранения архивов телеметрической информации.

Использование результатов исследования для построения системы многопоточного приёма телеметрической информации позволит повысить степень доступности телеметрической информации, обеспечить гибкую модульность программного обеспечения, упростить процесс формирования кроссплатформенного информационно-телеметрического обеспечения, обеспечить полноценное взаимодействие внутри системы и с внешними абонентами, а также повысить качество системы приёма телеметрии и эффективность функционирования АСУ ОГ КА в целом.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, рекомендованных ВАК:

- 1 Пакман Д.Н., Некрасов М.В., Антамошкин А.Н. Проблемы обработки телеметрической информации в контуре автоматизированной системы управления космическими аппаратами // Вестник Сибирского государственного

аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – Вып. 1 (22). Часть 1. – 2009. – С. 4-9.

2 Пакман Д. Н., Вершинин А. Б., Некрасов М. В. Построение унифицированной системы обработки телеметрической информации в центрах управления полётами космическими аппаратами // Космонавтика и ракетостроение. – №1(58). – 2010. – С. 124-130.

3 Некрасов М.В., Антамошкин А.Н. Обслуживающая подсистема для системы многопоточного приёма телеметрической информации // Системы управления и информационные технологии. – №1.1(55). – 2014. – С. 178-182.

4 Пакман Д.Н., Некрасов М.В., Антамошкин А.Н. Методы унификации современных средств обработки телеметрической информации в центрах управления полётами космическими аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – Вып. 1. – 2014. – С. XX-XX.

В других изданиях:

5 Некрасов М. В., Вершинин А. Б., Пакман Д. Н. Разработка концепций создания многопоточной системы обработки телеметрической информации в ЦУП // Материалы Научно-технической конференции молодых специалистов ОАО ИСС, г. Железногорск Красноярского края, 10-12 ноября 2008 г. – 2008. – С. 14-16.

6 Некрасов М. В., Пакман Д. Н., Вершинин А. Б. Современные способы многопоточной обработки телеметрической информации в ЦУП // Студент и научно-технический прогресс: XLVII Международная научная студенческая конференция, г. Новосибирск, 11-15 апреля 2009 г. – 2009. – С. 72.

7 Вершинин А.Б., Некрасов М.В., Пакман Д.Н. Анализ системы передачи телеметрической информации и выработка путей создания комплекса программ многопоточной доставки телеметрии. // Студент и научно-технический прогресс: XLVII Международная научная студенческая конференция, г. Новосибирск, 11-15 апреля 2009 г. – 2009. – С. 64.

8 Некрасов М.В., Пакман Д.Н. Исследование обработки телеметрической информации в контуре центра управления полётами космических аппаратов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции творческой молодёжи, г. Красноярск, 6-10 апреля 2009 г. – 2009. – С. 71-72.

9 Некрасов М.В., Ковалёв И.В., Жаворонков В.Г. Системный анализ программных средств приёма и отображения телеметрической информации // Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий: Материалы II Всероссийской научно-технической конференции, г. Москва, 2-4 июня 2009 г. – 2009. – С. 156-157.

10 Некрасов М.В., Ковалев И.В. Система многопоточной обработки телеметрической информации космического аппарата в центрах управления полётами // Молодёжь в развитии ракетно-космической отрасли: Материалы научной конференции молодых учёных и специалистов, г. Королев Московская область, 21-24 сентября 2009 г. – 2009. – С. 182-184.

11 Некрасов М.В., Ковалёв И.В. Построение современных программных комплексов обработки телеметрической информации // Решетневские чтения:

Материалы XIII Международной научной конференции, Часть 2, г. Красноярск, 10-12 ноября 2009 г. – 2009. – С. 519-520.

12 Некрасов М.В., Шмик К.Б. Система обработки телеметрической информации в условиях крупных орбитальных группировок // Королёвские чтения: Материалы XXXIV Академических чтений по космонавтике, г. Москва, 28-31 января 2009 г. – 2009. – С. 397-398.

13 Некрасов М.В., Шмик К.Б. Адаптивный алгоритм передачи для систем многопоточной обработки телеметрической информации // Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции, г. Москва, 1-3 июня 2010 г. – 2010. – С. 145-146.

14 Некрасов М.В., Пакман Д.Н., Шмик К.Б. Повышение качества принимаемой телеметрической информации при наличии избыточных источников сигнала. Пакман Д.Н., Шмик К.Б. // Студент и научно-технический прогресс: XLVIII Международная научная студенческая конференция, г. Новосибирск, 10-14 апреля 2010 г. – 2010. – С. 101.

15 Вершинин А.Б., Некрасов М.В., Князькин Ю.М., Шмик К.Б. Концепция системы автоматизированного анализа телеметрической информации КА. // Студент и научно-технический прогресс: XLVIII Международная научная студенческая конференция, г. Новосибирск, 10-14 апреля 2010 г. – 2010. – С. 87.

16 Вершинин А.Б., Некрасов М.В., Шмик К.Б. Унификация программных средств анализа телеметрической информации космических аппаратов // «Интеллектуальные системы '10», «Интеллектуальные САПР - 2010»: Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'10», пос. Дивноморское, Краснодарский край, Т.2, 2-9 сентября 2010 г. – 2010. – С.30-35.

17 Князькин Ю.М., Шмик К.Б., Вершинин А.Б., Некрасов М.В. Применение системного анализа при проектировании программных комплексов обработки телеметрической информации // Решетневские чтения: Материалы XIV Международной научной конференции, Часть 1, г. Красноярск, 10-12 ноября 2010 г. – 2010. – С. 150-151.

18 Вершинин А. Б., Некрасов М. В., Пакман Д. Н. Построение унифицированной системы обработки телеметрической информации в центрах управления полётами космическими аппаратами // Исследования Наукограда. №1(1). – 2012. – С. 19-24.

Зарегистрированные программные системы:

19 Некрасов М.В. Комплекс программ сервера обработки телеметрической информации: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Пакман Д.Н. – М.: Реестр программ для ЭВМ, 2010. Номер гос. рег. №2010611072.

20 Некрасов М.В. Специализированные библиотеки обработки телеметрической информации: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Пакман Д.Н., Шмик К.Б., Вершинин А.Б. – М.: Реестр программ для ЭВМ, 2010. Номер гос. рег. №2010611073.

Некрасов Михаил Викторович

**СИСТЕМА МНОГОПОТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ
В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ**

Автореферат

Подписан к печати **XX.XX**.2014. Формат 60x84/16
Уч. изд. л. 1.0 Тираж 100 экз. Заказ № **XXX**

Отпечатано в типографии КриЖТ ИрГУПС
660028, г. Красноярск, ул. Ладос Кецховели, 89.