

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

Аманжол Гизат

Разработка системы наземного слежения и управления полетом
наноспутников

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В074600 – Космическая техника и технологии

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А.
Буркитбаева

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
_____ Сыргабаев И.
«__» _____ 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка системы наземного слежения и управления полетом
наноспутников»
по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнил

Аманжол Ф. М.

Рецензент:
профессор кафедры КИ
НАО «АУЭС» им.
Г. Даукеева, кан. тех. наук
 Исмаил Е.Е.
« 05 » _____ 05 _____ 2020 ж.

Научный
руководитель:
кан. тех. наук, Профессор
 М. Шимырбаев
« 05 » _____ 05 _____ 2020 ж.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

5B074600 – Космическая техника и технологии

УТВЕРЖДАЮ

кан. тех. наук

Е. Таштай

«__» _____ 2020 г.

Разработка системы наземного слежения и управления полетом
наноспутников

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Аманжол Физат Маратұлы

Тема: Разработка системы наземного слежения и управления полетом
наноспутников

Утверждена приказом ректора университета № 762-б от « 27 » 01
2020 г.

Срок сдачи законченной работы « 02 » 06 2020 г.

Исходные данные: Наземные комплексы. Система телеметрии. CubeSat

Перечень задач:

а) Разработка наземного комплекса приема и обработки данных
наноспутников (НКПОДН)

б) Обзор основных элементов системы НКПОДН

в) Последовательность работы НКПОДН

г) Разработка программного обеспечения для мониторинга

д) Принцип использования базы данных для мониторинга

ж) Расчет аэродинамического углового ускорения наноспутника

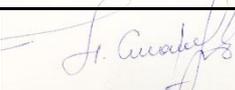
ГРАФИК

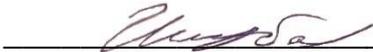
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Аналитическая часть	13.03.2020	
Наземный комплекс приема и обработки данных с наноспутников	28.03.2020	
Контроль за наноспутниками	05.05.2020	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитическая часть	М. Шимырбаев кан. техн. наук	13.03.2020	
Основная часть	М. Шимырбаев кан. техн. наук	05.05.2020	
Нормоконтролер	Доктор PhD сениор - лектор Смайлов Н.К.	27.05.2020	

Научный руководитель  М. Шимырбаев

Задание принял к исполнению обучающийся  Ф. Аманжол

Дата " 27 " 05 2020 г.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста деректерді өңдеу және наноспутниктерді басқару үшін жер үсті кешендерін құру принципі қарастырылады.

НКПОДН, бақылау және мониторинг жүйелерінің жұмыс істеу принципі қабылданған. Наноспутниктерден алынатын деректерді кодтау/декодтау, операциялық жүйелерді, деректер базасын пайдаланудың маңыздылығы туралы түсінік беріледі. Ұшу мониторингі және болжау, сондай-ақ 3D режимінде ұшуды визуализациялау үшін пайдаланылатын арнайы қосымшалардың маңыздылығы сипатталады.

Мониторингті жеңілдету үшін бағдарламалау тілдерінің көмегімен жасалған бағдарламаларға талдау жасалады.

Әртүрлі наноспутниктердің байланыс хаттамаларын салыстыра отырып, қорытынды жасалды.

Есептік бөлікте наноспутниктің аэродинамикалық бұрыштық үдеуі анықталды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается принцип построения наземных комплексов для обработки данных и управления наноспутниками.

Расписан принцип работы НКПОДН, систем контроля и мониторинга. Дается объяснение о важности использования базы данных, операционных систем, кодирования/декодирования данных получаемых с наноспутников. Описывается важность специальных приложений, используемых для мониторинга и прогноза полета, а также визуализирования полета в 3D режиме.

Делается разбор программ созданным с помощью языков программирования, для упрощения мониторинга.

Проведя сравнение протоколов связи различных наноспутников был сделан вывод.

В расчетной части было определено аэродинамическое угловое ускорение наноспутника.

ABSTRACT

This thesis examines the principle of building ground-based complexes for data processing and control of nanosatellites.

Painted the principle of operation of NCPADD, control systems and monitoring. An explanation is given about the importance of using databases, operating systems, and encoding / decoding data obtained from nanosatellites. It describes the importance of special applications used for flight monitoring and forecasting, as well as flight visualization in 3D mode.

Programs created using programming languages are analyzed to simplify monitoring.

After comparing the communication protocols of various nanosatellites, a conclusion was made.

In the design part, the aerodynamic angular acceleration of the nanosatellite was determined.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Наземный комплекс приема и обработки данных с наноспутников	11
1.1 Основные элементы наземного комплекса приема и обработки данных с наноспутников	11
1.2 Функции наземной системы	14
2 Контроль за наноспутниками	18
2.1 Последовательность задач НКПОДН	18
2.2 Использование БД для мониторинга КА	18
2.3 Сжатие и Кодировка/Декодировка данных для контроля и мониторинга	24
2.4 Разработка ПО для контроля за наноспутниками	24
3 Сравнение протоколов связи	27
4 Расчеты аэродинамического углового ускорения наноспутника	28
Заключение	31
Список сокращений	32
Список литературы	33

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Казахстане и за рубежом развивается тенденция использования наноспутников вместо габаритных КА. Таким образом начала изменяться вся система эксплуатации наноспутников. В наши дни действует 13-ая редакция стандарта для наноспутников - CubeSat Design Specification. Опираясь к современным подходам к CubeSat относятся наноспутники объемом 10 см^3 с массой до 10 кг. Время активного существования уменьшилась в период времени от 1 месяца до 1 года.

Ряд изменений в сфере космонавтики способствует к созданию наземных комплексов для наноспутников, программных обеспечении, базы данных и т.д.

В первой части данной работы рассматривается постройка наземных систем для простых и сложных роев наноспутников с использованием вспомогательных спутников связи.

Наземный комплекс – это комплекс, предназначенная для космической связи с КА.

Наземные комплексы сооружаются на поверхности Земли. С помощью системы телеметрии и приема радиоволн в сверхвысоких или сверхвысокочастотных диапазонах наземная система устанавливает контакт с космическим сегментом.

Во второй части дипломной работы рассматривается метод контроля и мониторинга наноспутников.

Контроль и мониторинг КА и данных означает изучение канала передачи данных из космоса в землю путем проверки групп битов или сигналов в принимаемом потоке данных КА. Например, при использовании синхронных цифровых данных мы можем использовать синхронизацию кадров для подсчета частоты бит ошибок и для проверки правильности работы непосредственно самого канала. Таким образом, мы можем контролировать все части наземной системы, используемой для ретрансляции данных миссии.

Метод измерения расстояния от наноспутника до антенны приёмника основан на том, что скорость распространения радиоволн предполагается известной. Для осуществления возможности измерения времени распространяемого радиосигнала наноспутник или спутник связи с которой контактирует рой спутников излучает сигналы точного времени, используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем, и при дальнейшем приёме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет координаты антенны. Все остальные параметры движения (скорость, курс, пройденное расстояние) вычисляются на основе измерения времени, которое объект затратил на перемещение между двумя или более точками с определёнными координатами.

Эти операции по обработке данных могут происходить в любом месте наземной системы. Для небольших систем, имеющих только одну или две наземные станции, мы обычно обрабатываем данные внутри наземной станции и передаем их непосредственно пользователю. При этом мы можем уменьшить пропускную способность каналов связи для пользователей, разделив высокоскоростные составные потоки данных на их компоненты и сжав данные на наземной станции.

1. Наземный комплекс приема и обработки данных с наноспутников

1.1 Основные элементы наземного комплекса приема и обработки данных с наноспутников.

В таблице 1.1 показано, что наземная система состоит из построек систем полета и элементов объекта. Элементы полета управляют космическим сегментом или обрабатывают данные полета. Элементы объекта поддерживают или иным образом являются вспомогательными для элементов полета. Оба содержат смесь различных аппаратных средств, микропрограмм и программного обеспечения. Персонал наземной системы использует и координирует работу физических компонентов.

Таблица 1.1 - Система построения наземной системы

Последовательность
1) Установление количество и расположение систем наземной станций
2) Установление скоростей передачи данных из космоса в землю
3) Определение необходимые потребляемые
4) Определение необходимую обработку данных
5) Установление место обработки данных
6) Конечное решение о расположении наземного комплекса
7) Определение и выбор каналов связи
8) Оценка полного или частичного использования предоставляемых услуг наземными системами

Наземная станция - это наземный пункт связи с космическим сегментом для контроля и, как правило, передачи пользовательских данных. В таблице 1 показан план последовательности постройки наземной станции, состоящая из следующих компонентов.

Антенная система включает в себя антенну и крепление, связанные с ней электромеханические приводы, консоли и следящие схемы, управляющие антенной, а также каналы и линии передачи, которые передают радиочастотные сигналы на радиочастотное оборудование и от него. Антенна, наряду с приемным радиочастотным оборудованием, на частоте требуемому выходу преамплификатора. Он также работает с передающим радиочастотным оборудованием для обеспечения необходимого эффективного изотропно-излучаемого мощности на несущей частоте восходящей линии связи. Антенна рулевого управления должна обеспечивать углы обзора, требуемые миссией. Для низкой околоземной орбиты они могут охватывать практически все видимое полушарие. Он также должен обеспечивать необходимые режимы рулевого управления, такие как запрограммированное компьютерное рулевое управление и автослежение.

Автоматическое слежение относится к использованию полученного космического сигнала непосредственно для управления антенной. В этом случае

антенная система обычно обеспечивает непрерывное наведение координат на следящий компонент на наземной станции.

Антенна рулевого управления должна обеспечивать углы обзора, необходимые для выполнения полета. Для низкой околоземной орбиты они могут охватывать практически все видимое полушарие. Он также должен обеспечивать необходимые режимы рулевого управления, такие как запрограммированное компьютерное рулевое управление и автослежение.

Приемное радиочастотное оборудование обычно находится в комплексах стоек, расположенных так, чтобы минимизировать потери линии передачи на антенну. Это оборудование принимает несущую частоту нисходящей линии связи от антенной системы, преобразует ее в промежуточные частоты и декодирует в сигналы базовой полосы для оборудования, предназначенного для восстановления данных миссии и телеметрии.

Кроме того, в стойках рядом с антенной системой передающее радиочастотное оборудование принимает сигналы слежения и команды от системы телеметрии наземной системы и модулирует их на восходящую радиочастотную линию связи, который он создает. В случае спутников связи он также модулирует пользовательские данные на восходящую несущую линию связи.

После того как радиочастотное приемное оборудование демодулирует сигналы, оборудование восстановления данных миссии подготавливает данные миссии перед передачей их пользователям данных и компонентам наземной системы.

Интерфейс пользователя данных соединяет оборудование для восстановления данных миссии и пользователя данных. Если все части наземной системы и пользователь данных расположены в одном месте, этот интерфейс обычно состоит не более чем из ручного или электронного латания линий передачи данных между наземной станцией и пользовательскими объектами.

Оборудование телеметрии, слежения и командования создает условия и распределяет полученные сигналы телеметрии и слежения. Он также электрически форматирует, аутентифицирует и разыгрывает передаваемые команды и сигналы слежения. Он обычно обрабатывает эти сигналы слежения и данные об угле наведения антенны, чтобы информировать пользователей о дальности, скорости полета и положении космического аппарата. Функции телеметрии обычно сильно автоматизированы из-за потребности в скорости, своевременности и точности.

НКПОДН управляет конфигурацией и взаимосвязями между компонентами наземной станции. Работая в соответствии с инструкциями НКПОДН, он поддерживает элементы наземной станции, настроенную для поддержки операций полета.

Операции наземной системы требуют временной координации, поэтому один элемент системы поддерживает часы, достаточно точные для выполнения требований миссии; он распределяет тактовое время и опорные частоты между другими элементами системы рисунке 1, перемещаясь по расположенным в

кольце элементам наземной системы по проводу или кабелю. Он точен с точностью до миллисекунды или лучше. Его обычные импульсы синхронизации с частотой один раз в секунду синхронизируются с точностью до нескольких микросекунд или меньше до мирового масштаба времени, такого как Универсальное Координированное Время ((Universal Time Coordinated (UTC)). Спутники, способные передавать время еще более точно, такие как GPS, позволяют нам синхронизировать намного меньше микросекунды.

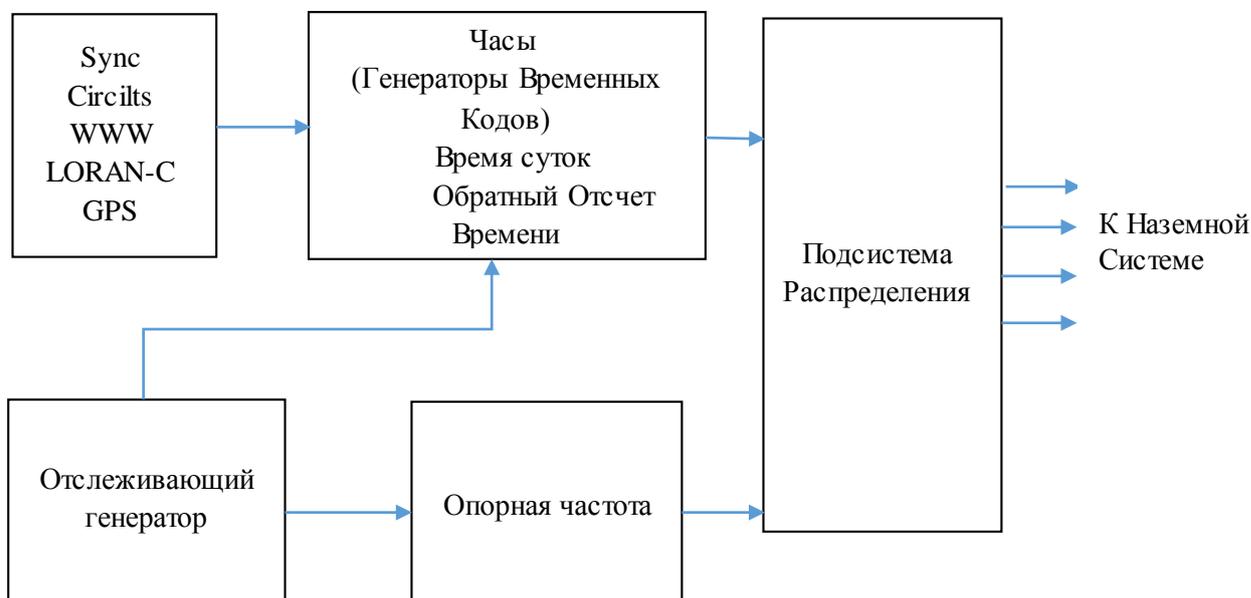


Рисунок 1.1 – Элемент системы синхронизации. Оно синхронизирует элементы наземной системы, распределяя точное время и частоту

Комплекс приема и обработки данных планирует и управляет космической полетом, включая настройку и планирование ресурсов как для космической, так и для элементов наземной системы. Он вычисляет и выдает информацию, необходимую элементам наземной системы и пользователям данных. Например, данные об орбите наноспутника, времени прохождения наземной станции и углах наведения антенны.

Следует отметить, что в последние годы стало доступно коммерческое готовое программное обеспечение для интеграционного тестирования, а также для операций с полетами и полезной нагрузкой, анализа и планирования, и эксплуатации наземных систем. Лучшие из этих программ являются очень мощными, но в то же время приспособленными к конкретному космическому аппарату, что облегчает необходимость в программе для разработки дорогостоящего уникального программного обеспечения для полета. Большинство из этих предложений очень эффективны и универсальны, что позволяет значительно сократить необходимую оперативную группу.

Заводские объекты включают в себя здания и площадки, инженерные коммуникации, услуги для персонала и охрану. Обычно мы используем коммерческие программы с локальным резервным копированием для

чрезвычайных ситуаций. Для обеспечения безопасности и живучести коммунальные службы могут быть полностью автономными. Поскольку

Доступность - это процент времени, в течение которого наземная система доступна для поддержки миссии. Доступность, которую мы хотим получить в системе, определяет, должно ли техническое обслуживание использовать запасные части или ремонт. Для достижения высокой доступности часто требуются горячие запасные части (включенные и готовые к работе в любой момент).

Такая система может обеспечить малозаметную поддержку до нескольких космических аппаратов на низкой околоземной орбите на временной основе или практически 100% охват одного космического аппарата на геостационарной орбите одним из ее преимуществ является то, что она может быть выделена для конкретной миссии, тем самым устраняя конфликты расписаний. Кроме того, он компактен и самодостаточен, позволяя системе коммуникации между аппаратами быть локальными, что упрощает работу и системы контроля.

К сожалению, эта простая наземная система также имеет существенные недостатки. Например, одна наземная станция обеспечивает очень низкий охват для низкоорбитальных наноспутников, поскольку проход (период времени, в течение которого космический аппарат находится в поле зрения наземной станции) длится всего несколько минут, а для других, кроме геостационарной орбиты, происходит нечасто. Эти условия преобладают, поскольку максимальный угол обзора низкоорбитального космического аппарата из любой точки Земли составляет 20% или менее орбитальной траектории, а при наклонах выше 25 или 30 ° видны только 25-30% орбит. Исключения составляют полярные орбиты, видимые с полярных наземных станций, где каждая орбита видна. Еще одним ограничением является невозможность системы поддерживать одновременно более одного звена космических аппаратов из-за наличия двухполосной антенны и наземной станции. Кроме того, простая система может обслуживать только местных пользователей. Однако самым важным недостатком системы является ее недостаточная избыточность. Если какой-нибудь элемент выйдет из строя, мы потеряем данные. И, возможно, даже наноспутник. Таким образом, избыточное оборудование, резервные части в наноспутнике и техническое обслуживание, а также географическое положение особенно важны для обеспечения безопасности, полностью размещенная наземная система должна находиться на внутреннем грунте.

1.2 Функции наземной системы

Наземные системы нуждаются в междугородних линиях связи достаточной пропускной способности между их распределенными элементами и между ними и пользователями данных. Эти линии соединяют стационарные (электрические, наземные микроволновые и оптические) и спутниковые

соединения. Если только они не являются частью самой наземной системы, они обычно арендуются.

Мы оцениваем варианты связи, определяя, где должны располагаться компоненты наземной системы. Например, мы можем разместить НКПОДН для наноспутников вблизи мегаполиса, чтобы воспользоваться его телефонной системой, но мы хотели бы разместить наземные станции в менее населенных районах, чтобы уменьшить радиочастотные помехи. Однако установка новых и выделенных средств связи в отдаленном районе может быть довольно дорогостоящей.

Поскольку Международная, коммерческая внутренняя и военная спутниковая связь стала более доступной, мы теперь предпочитаем наноспутники для обеспечения связи между удаленными элементами наземной системы и пользователями данных. В основном наноспутники запускаются в рое с одним крупным спутником, для связи с Землей. Из-за своей высокой мощности и производительности спутники связи связывают почти все межконтинентальные элементы наземных систем, а также те, которые находятся далеко друг от друга в пределах континентов. Мировые системы могут потребовать более одного «прыжка» и более одного спутника связи. Например, наземная станция, расположенная в Индии, может поддерживать связь с НКПОДН в Соединенных Штатах, получая доступ к международному спутнику через внутренний спутник связи.

Для международных спутников мы обычно должны подключаться к центральному наземному терминалу, который обеспечивает доступ к спутнику. Эта связь обычно представляет собой некоторую форму стационарного телефона, обычно арендованную телефонную линию с высокой скоростью передачи данных.

Для доступа к этим каналам связи каждому элементу требуется терминальное оборудование, сложность которого зависит от типа канала связи. (Спутниковая связь, как правило, является наиболее сложной.) Отечественные спутниковые каналы связи обычно включают в себя варианты строительства, аренды или покупки терминального оборудования военных систем связи, обеспечивающих квалифицированным пользователям связь через небольшие локальные терминалы и централизованные станции связи. К сожалению, небольшие терминалы часто поддерживают относительно узкую полосу пропускания, не пригодную для ретрансляции высокоскоростных данных.

Шифрование данных относится к разборке составных потоков данных, полученных от космических аппаратов, на выбранные компонентные потоки данных для маршрутизации различным пользователям. При использовании НКПОДН, и, возможно, телеметрические данные также могут потребовать демультимплексирования.

Защищенные данные с космических аппаратов часто шифруются на борту перед передачей их на землю, где они расшифровываются. Затем данные либо поступают к своим пользователям напрямую, без расшифровки, либо расшифровываются перед распространением, готовясь к шифрованию или

другим операциям обработки данных. Конечно, некоторые данные могут быть повторно зашифрованы перед передачей некоторым пользователям. Чтобы предотвратить несанкционированное командование другими, командные данные также часто шифруются. Мы можем применить кодирование, метод, который уменьшает ошибки в цифровых данных из-за шума, к потокам данных с космических аппаратов. Мы можем декодировать эти полученные данные в наземной системе и, возможно, повторно закодировать их перед распространением. Командные данные часто кодируются, чтобы гарантировать, что космический аппарат получает безошибочные команды.

Сжатие данных относится к увеличению информационной емкости потока данных, позволяющей передавать его информацию через более узкополосный канал связи, чем это было бы возможно в противном случае. Кроме того, сжатый поток данных может передавать больше информации по заданной полосе пропускания носителя. Этот метод позволяет нам объединить один или несколько потоков данных в составной поток данных (то есть мультиплексирование, обратное описанному ранее демультиплексированию) и распределить его по каналу связи, который не может обрабатывать несжатые данные: мы также можем использовать сжатие данных для наземной системы с ограниченным хранилищем и более быстро распределять полученные данные.

Влияние временных характеристик на функционирование означает добавление информации о синхронизации потоков данных. Если данные на космическом аппарате не помечены по расписанию, то либо наземная станция, либо оборудование обработки данных могут применить к ним информацию о времени до того, как она будет записана или распространена среди пользователей. Обычно мы добавляли ссылку на время эпохи к потоку данных одним из нескольких способов. Мы могли бы сослаться на систему синхронизации станции, указав время, в которое данные были получены на наземной станции, с поправкой по крайней мере первого порядка на известные задержки оборудования.

С помощью более сложных систем мы могли бы непрерывно корректировать время с помощью орбитальной информации, чтобы оценить фактическое время, в течение которого космический аппарат генерировал данные. Для интерполяции хронометража данных между эпохами мы можем использовать сами часы данных в качестве временной шкалы (только для синхронных данных).

Вместо того чтобы сразу же направлять полученные данные пользователям, мы можем записать все или некоторые из них, называемые хранилищем данных, и передать их позже. Кроме того, мы можем избежать широкополосных каналов связи, сначала записывая данные с более высокой скоростью, а затем передавая их пользователям с более низкой скоростью воспроизведения. Во всех случаях хранилище защищает от потери данных во время распространения.

Мониторинг качества данных означает изучение качества канала передачи данных из космоса в землю путем проверки предсказуемых групп битов или

сигналов в принимаемом потоке данных космического аппарата. Например, при использовании синхронных цифровых данных мы можем использовать слова синхронизации кадров для подсчета частоты битовых ошибок и проверки правильности работы канала. Таким образом, мы можем контролировать все части наземной системы, используемой для ретрансляции данных миссии.

Эти операции по обработке данных могут происходить в любом месте наземной системы. Для небольших систем, имеющих только одну или две наземные станции, мы обычно обрабатываем данные внутри наземной станции и передаем их непосредственно пользователю. При этом мы можем уменьшить пропускную способность каналов связи для пользователей, разделив высокоскоростные составные потоки данных на их компоненты и сжав данные на наземной станции.

Мы также можем контролировать безопасность данных, сохранять качество сигнал-шум в потоке данных и подавлять накопленные искажения, обрабатывая данные как можно быстрее после их приема и декодировки наземная станция обычно хранит и помечает данные по расписанию, поскольку данные полета имеют наименьшую неопределенность задержки там.

Системы моделирования полета проверяют готовность наземной системы с использованием реалистичных имитационных сигналов и данных. Испытания могут проводиться с регулярными интервалами, во время предварительной или послепосадочной подготовки, а также после технического обслуживания или обновления системы. Системы моделирования полета также обеспечивает диагностику для устранения неполадок и калибровку оборудования при полной реализации моделирование может не только тестировать отдельные элементы и компоненты наземной системы, но и выполнять высокоавтоматизированные сквозные испытания всей наземной системы. Но этот тип системы моделирования полета является дорогостоящим, используется только в элементах, доступность которых имеет решающее значение. В большинстве случаев данная система отсутствует в наземных комплексах

2 Контроль за наноспутниками

2.1 Последовательность задач НКПОДН

При запуске наноспутника ее траектория должна быть предсказана, оператор должен запрограммировать отправку телекоманд. Далее активируется автоматическое слежение антенн, посылаются заранее запрограммированные телекоманды и их прием подтверждается КА. Принимаются данные радиомаяка и телеметрии по требованию, и, наконец, каждый из полученных параметров оценивается по отношению к их рабочим диапазонам. НКПОДН должен отображать на экране результаты спутниковой оценки, генерировать отчеты об ошибках или предупреждения и сохранять операционные данные (телекоманды, телеметрии и оптики) в БД. Наконец, операторы должны выполнить анализ операции наноспутника, используя моделирование, статистические графики и записи данных через графический интерфейс наземной системы.

2.2 Использование базы данных для мониторинга КА

На рисунке 2.1 показаны шесть основных вариантов использования, связанных с двумя участниками: оператором программного обеспечения и радиостанциями связи наземной системы (УВЧ/ОВЧ и Диапазоны). Оператор может выполнять три основные задачи: “отправка данных”, “мониторинг полета” и “просмотр изображений полезной нагрузки”. Для выполнения этих операций оператором радиоприемник УВЧ/ОВЧ должен быть способен передавать и принимать информацию в КА и от него с помощью АХ.25, и частота диапазона должна быть в состоянии принимать данные от наноспутника, используя изготовленный на заказ протокол связи. Кроме того, оператор должен сконфигурировать систему для выполнения поворота антенн. Это возможно с помощью коммерческого «приложения слежения» или путем добавления записей траекторных расчетов, выполненных STK.

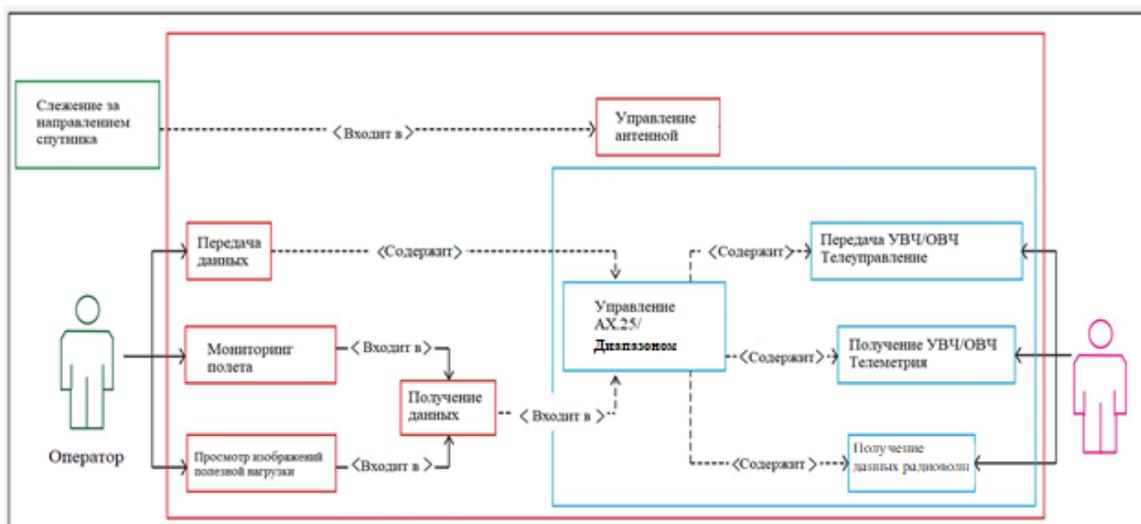


Рисунок 2.1 - Общие примеры использования НКПОДН

НКПОДН должен быть запущен на сервере, который должен быть непосредственно подключен к коммуникационным устройствам, таким как приемопередатчики и антенны (Телеметрия). Кроме того, он должен внедрить БД, чтобы сохранить всю информацию, полученную в ходе операции. После определения этих элементов, НКПОДН устанавливается так, как показано на рис. 2.2. Система состоит из трех логических уровней, являющихся базовой многоуровневой моделью для разработки программного обеспечения: «Пользовательский уровень», «Деловой уровень» и «Уровень данных». Каждый слой работает индивидуально, но взаимодействует с определенными компонентами других.

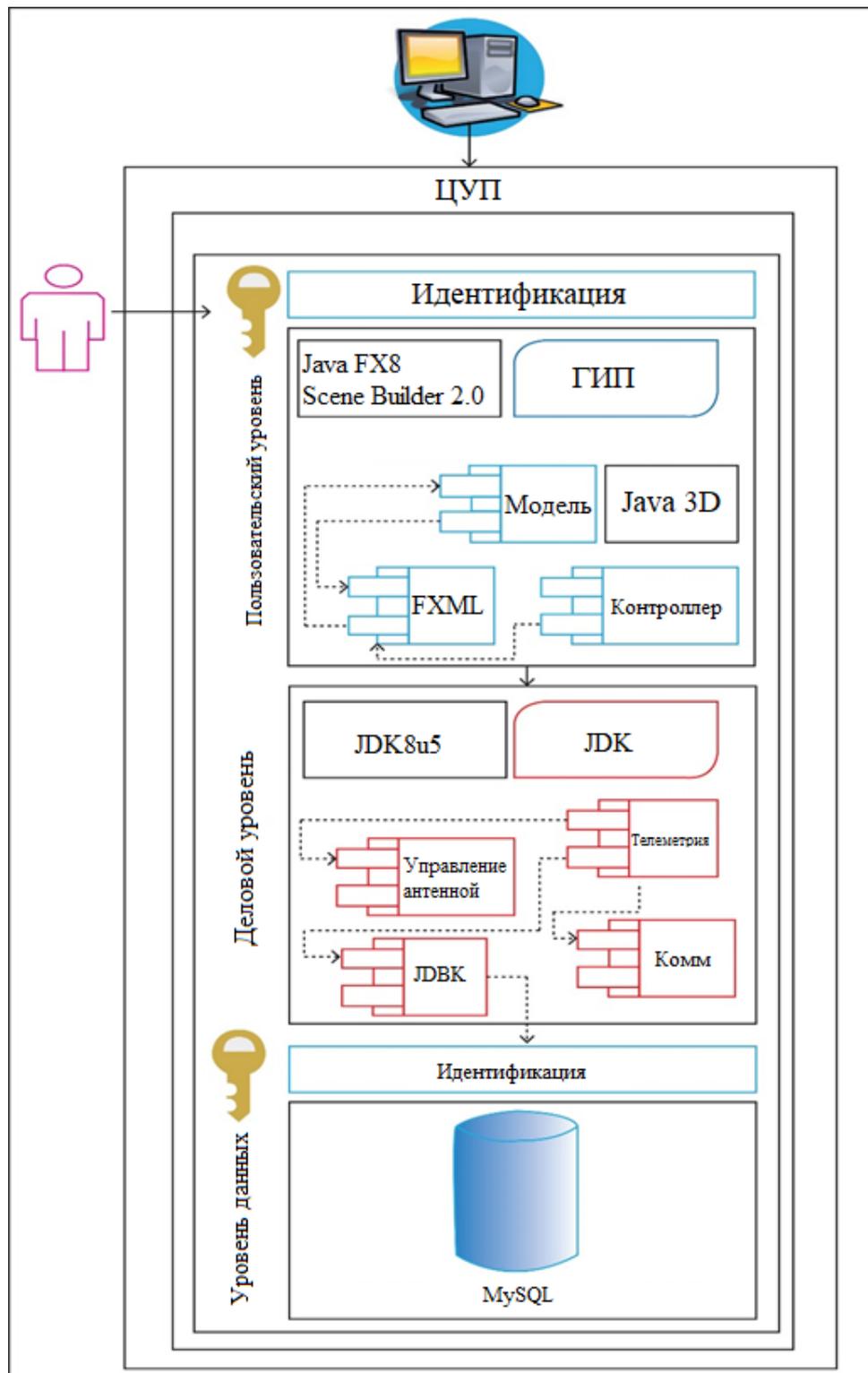


Рисунок 2.2 - Построение уровней базы данных по отношению к НКПОДН

Рисунок 2.3 соответствует диаграмме композитной структуры для НКПОДН. Система может быть разделена на три основные части: команда полета, сервер НКПОДН и периферийные устройства связи. Команда полета должна взаимодействовать с системой телеметрии. Эти элементы оказывают прямое влияние на работу наземной системы, как в случае группы анализа

динамики полета (ГАДП), системных операторов (СО) и группы по исследованию наноспутниковых снимков (ГпИНС), или даже косвенное влияние, как в случае руководителей (Рук). У каждого из них есть свои специфические функции и обязанности.

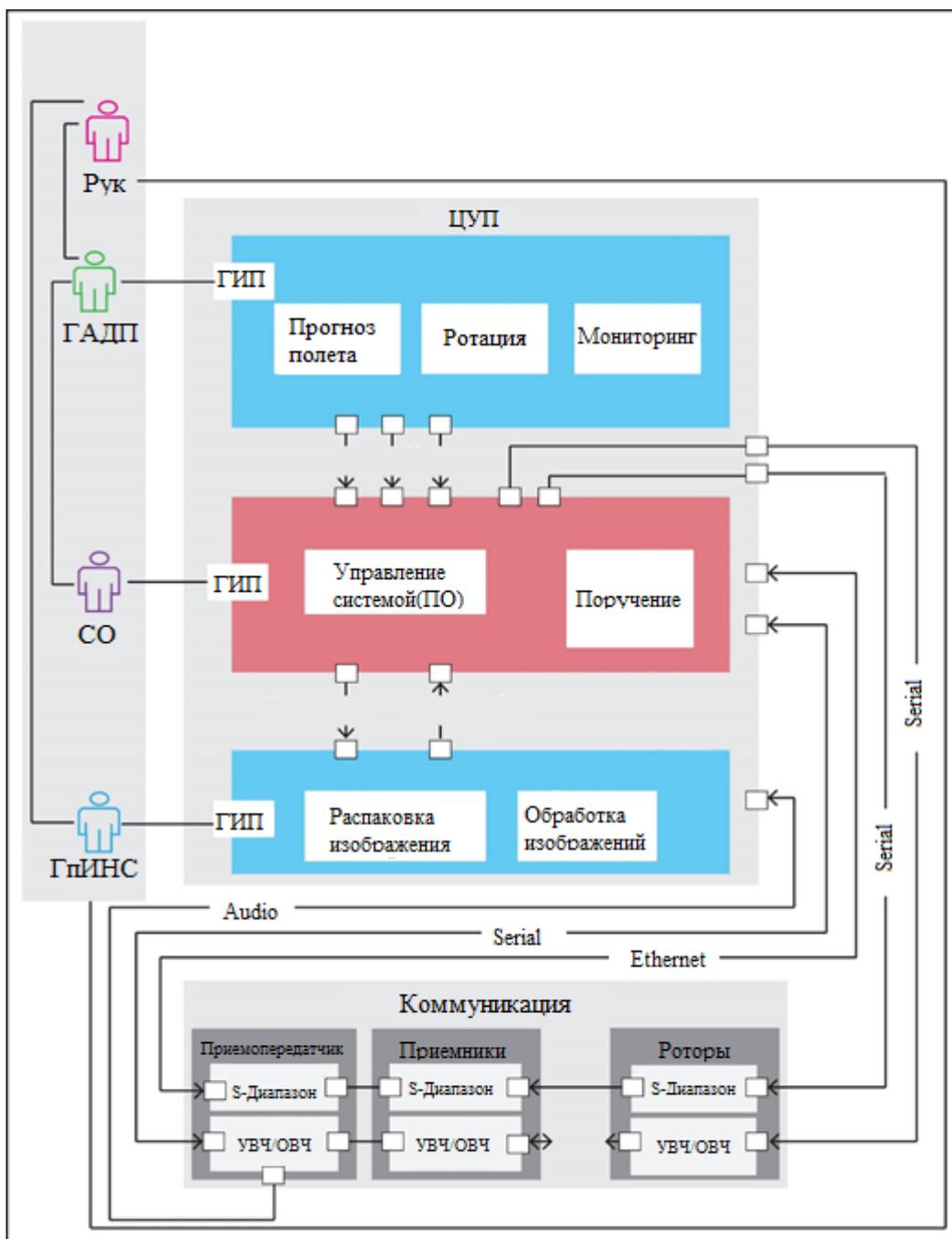


Рисунок 2.3 - Составная структура контроля полета в составе НКПОДН

Для установления связи между сервером и устройствами связи в большинстве случаев требуется последовательная связь типа «RS232C»; интерфейсы могут быть USB или Ethernet, как в случае некоторых радиоприемников S-диапазона.

На рис. 2.4 показана схема главного экрана мониторинга и контроля, в которой было определено расположение различных элементов управления, панелей и меток данных, так что были включены различные операции и варианты использования. Из этого окна рассматривался доступ к программированию телекоманд, управлению данными STK и мониторингу каждой из подсистем наноспутника с использованием трехмерной модели взаимодействия. Реализация динамического графического интерфейса с визуальным представлением взаимодействия пользователей, такими как использование трехмерных объектов, обеспечивает удобство использования приложения для выполнения задач спутникового мониторинга полета и наземного управления.

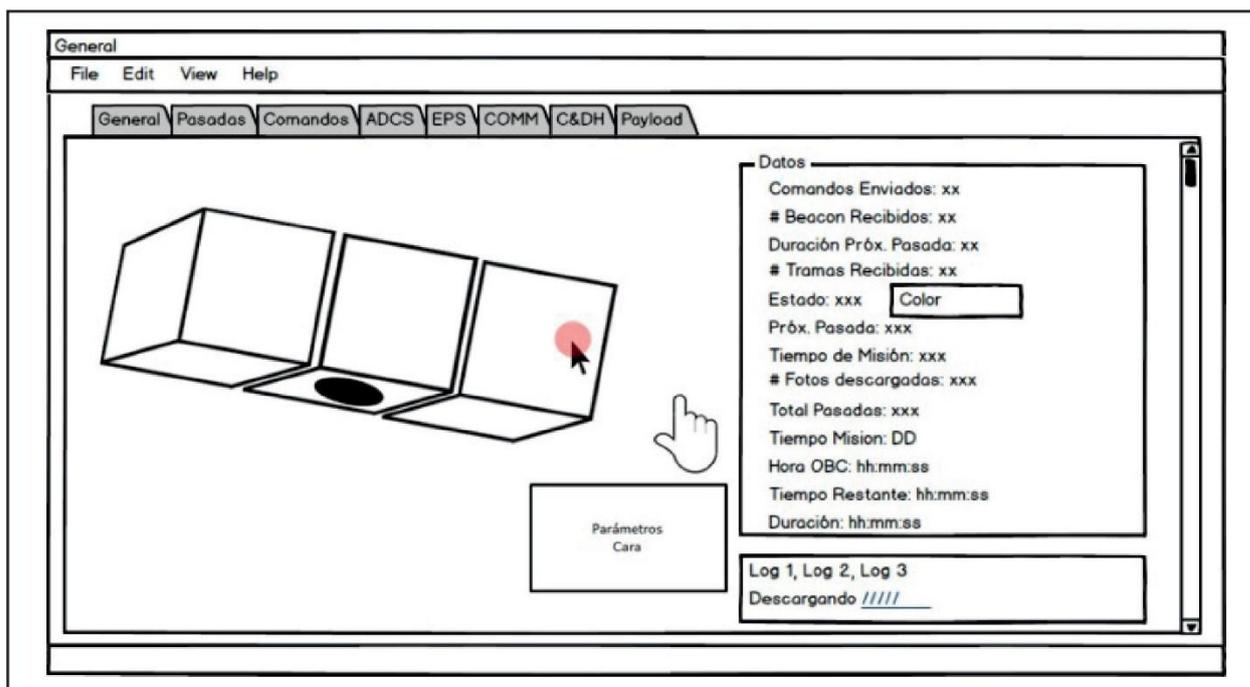


Рисунок 2.4 - Дизайн графического интерфейса для главного окна контроля и мониторинга

Конструкция графического интерфейса также обеспечивает: возможность наблюдения за данными прогноза траектории; контроль рабочих параметров радиостанций наземной система; окно для программирования телекоманд для отправки и сверки записей телеметрических данных; наблюдение за картами мониторинга и отслеживание специальных операций.

Как показано на рис. 2.5, поток операций НКПОДН начинается с выполнения моделирования траектории движения спутника в STK (1). Данные, предоставленные STK, должны быть сохранены в текстовых файлах в определенном месте файловой системы сервера, чтобы затем быть загруженными в систему контроля и мониторинга (2). Первый файл содержит записи о каждом из проходов спутника над наземной системой, указывающие «время начала», «время остановки» и продолжительность последнего прохода в

секундах. После создания файлов STK операционная система (ОС) открывает и загружает данные прогнозирования проходов и вращения (3) (4). Объект «Управление данными» управляет загруженными данными с помощью БД и предоставляет данные прогнозирования объекту «Контроль времени» (5).

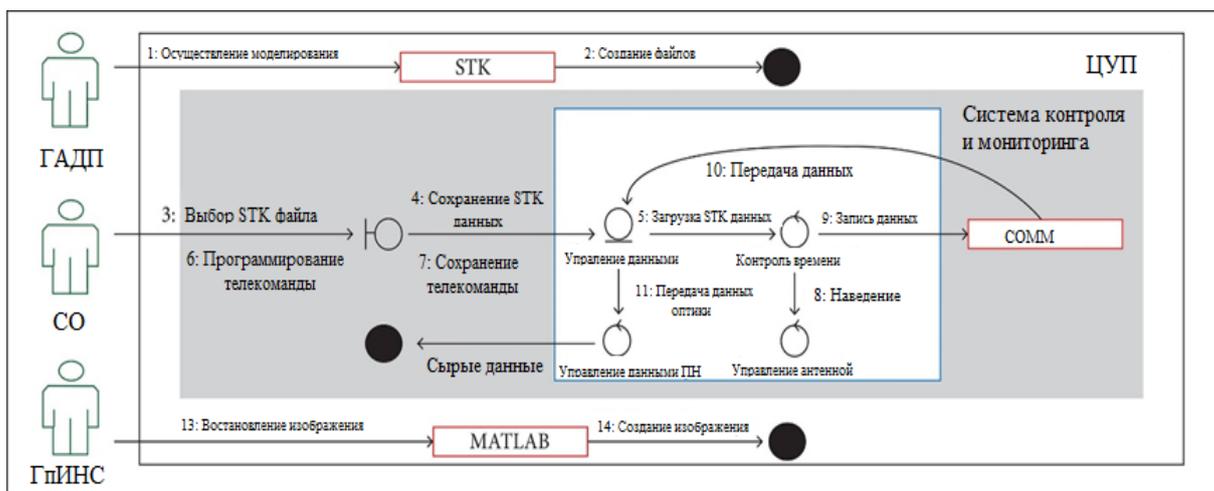


Рисунок 2.5 - Последовательность операций наземный комплекс приема и обработки данных с наноспутников.

Этот орган отвечает за контроль времени выполнения каждой операции в течение жизненного цикла полета через НКПОДН. Операционная система может запрограммировать передачу телекоманд через графический интерфейс пользователя (6), а функция «Управление данными» сохраняет их в БД (7). В нужное время активируются объекты «Контроль времени» и «Управление антенной», так что эти объекты начинают отслеживать как в режиме реального времени (8).

Сразу же после этого объект активирует модуль «СОММ» и передает данные восходящей линии связи, так что этот модуль начинает передачу (9). Параллельно «СОММ» получает данные телеметрии, маяка и оптики и доставляет их в объект «Управление данными» (10), который организует необработанные кадры данных для каждого отдельного изображения (11), а затем генерирует соответствующие файлы в указанном месте файловой системы сервера (12). С помощью этой операции система контроля и мониторинга выполняет задачи наноспутники в реальном времени.

При наличии необработанных файлов на сервере графический интерфейс запускает программу MATLAB и перестраивает образ выбранного файла (13). MATLAB генерирует файл в формате изображения и сохраняет его в новом каталоге. Таким образом, данные, захваченные оптико-электронной системой наноспутника, могут быть выведены на экран системы мониторинга. На рис.6 показан поток основных задач системы мониторинга относительно НКПОДН, с помощью которого можно вывести реконструированные изображения оптико-

электронной системы наноспутника на основе полученных необработанных данных.

Этап построения непосредственно связан с реализацией или кодированием элемента программного обеспечения. Система мониторинга должна использовать приложение, в котором включены все операции, определенные в требованиях, связанных с мониторингом и контролем наноспутников.

2.3 Сжатие и Кодировка/Декодировка данных для контроля и мониторинга

Данные, которые доставляют датчики, бывают сырыми и сжатыми с использованием кодирования по алгоритму Хаффмана, так что обработка будет происходить на земле с помощью различных приложений, таких как MATLAB. Это приложение должно быть частью наземной системы. Данные загружаются из наноспутников по различным частотам, в основном это линии связи S-диапазона которые должны быть интегрированы в УВЧ/ОВЧ. Затем наземные системы должны получить исходные оптические данные и передать их в MATLAB для декодировки.

2.4 Разработка программного обеспечения для контроля за наноспутниками

Для выполнения таких специфических задач, как мониторинг наноспутника, в котором интегрированы траектория предсказания наноспутника и вращение антенн, используются такие приложения, такие как Systems ToolKit (STK) - программное приложение, разработанное компанией Analytical Graphics Incorporated. Поскольку графический интерфейс наземной системы представляет собой основу всего полета, проектируется система, основанное на взаимодействии с трехмерными элементами, с помощью которого оператор может динамически выбирать различные элементы и компоненты наноспутника для отображения их рабочих данных и таким образом осуществлять мониторинг.

Этап построения непосредственно связан с реализацией или кодированием элемента БД.

Для реализации полноценной операции системы контроля и мониторинга используют несколько приложений для разработки. NetBeans используется в качестве интегрированной среды разработки, MySQL был использован в качестве компьютерного программного обеспечения, для того, чтобы построить БД структурированный язык запросов (SQL), и комплектом разработчика Java (JDK) версии 8u51 используется в качестве основного языка. В большинстве

может визуализировать количество настраиваемых диаграмм и список записей компонентов одновременно, как показано на рисунке 2.7.

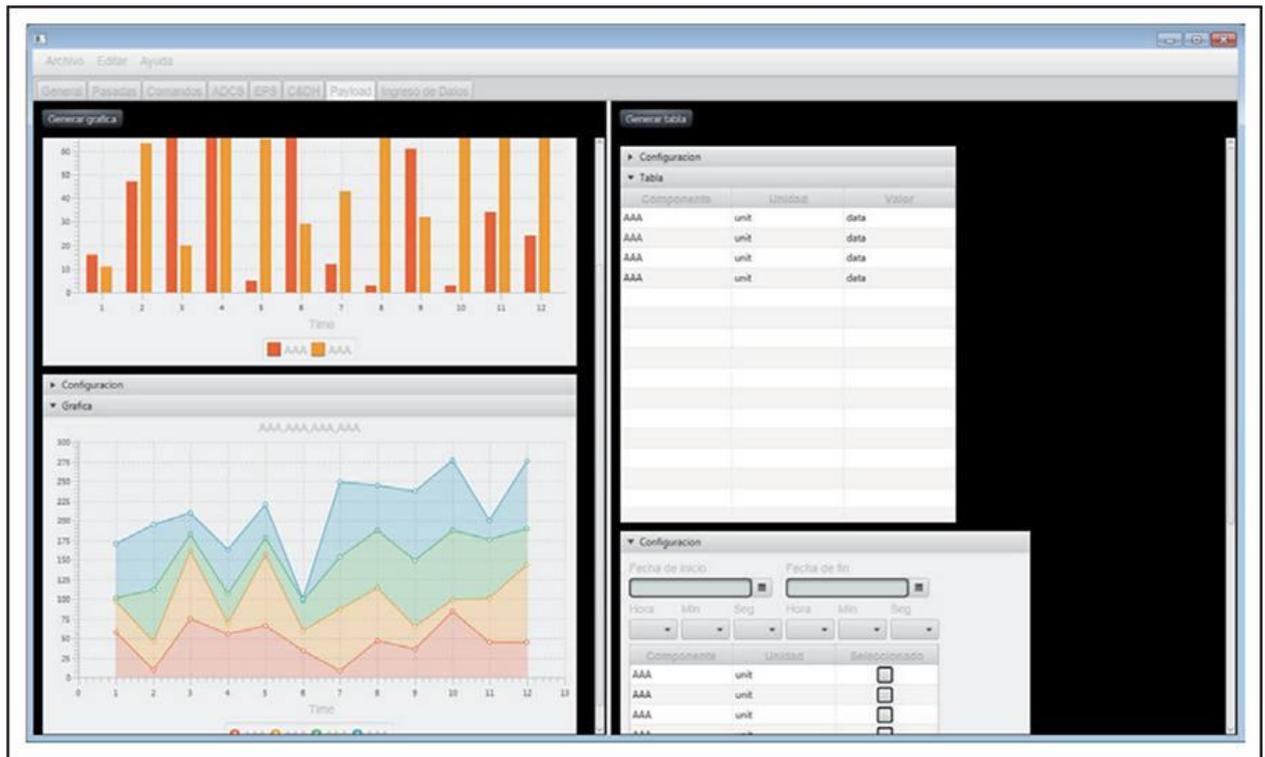


Рисунок 2.7 Представление диаграмм в окне мониторинга

В верхней части имеется ряд вкладок управления, с помощью которых оператор может получить доступ к различным операциям, таким как управление данными передачи STK, планирование телекоманд в соответствии с шестью режимами работы, визуализация данных о поведении в наборе радиоприемников, визуализация данных о поведении в наборе радиоприемников определенного диапазона и, наконец, истории снимков, сделанных оптоэлектронной системой.

3. Сравнение протоколов связи

Таблица 3.1 - Показатели протоколов связи наноспутников

Космодром	Нано спутники	Раз мер	Частота	Мощн ость	Протокол связи	Скорость передачи
1	2	3	4	5	6	7
Minotaur-1 Уоллопс, США	PharmaSat	3U	2.4 GHz	1 Вт	-	12 kbps
	CP6	1U	437 MHz	1 Вт	CC1000 AX.25	15 kbps
	HawkSat-I	3U	425 GHz	1 Вт	MHX-425 NSP	12 kbps
	AeroCube-3	1U	900 MHz	2 Вт	Freewave FHSS	-
	Aggiesat-2	1U	436.25 MHz	1 Вт	AX.25	15 kbps
ISILaunch 01 Индия	SwissCube	1U	437.505 MHz	1 Вт	AX.25	15 kbps
	ITUpSat1	1U	437.325 MHz	1 Вт	AX.25	-
	UWE-2	1U	437.385 MHz	0,5 Вт	AX.25	9,6 kbps
	BeeSat	1U	436 MHz	0,5 Вт	AX.25	4,8 kbps
Japanese H-IIA Япония	Hayato (K-Sat)	1U	13.275 GHz		MHX-425	10 kbps/10 kbps
	Waseda-Sat1	1U	437.485 MHz	1 Вт	AX.25	9,6 kbps
	Negai	1U	427.305 MHz	1 Вт	AX.25	15 kbps
PSV-C15 Индия	TISat-1	1U	437.305 MHz	0,4 Вт	MHX-425	11 kbps
	StudSat	1U	437.505 MHz	0,45 Вт	AX.25	15 kbps
Kodiak, Аляска	O/OREOS	3U	437.305 MHz	1 Вт	AX.25	12 kbps
	RAX1	3U	437.505 MHz / 2.4 GHz	2 Вт / 2 Вт	AX.25	9,6 kbps
	NanoSail-D2	3U	437.275 MHz	1 Вт	AX.25	12 kbps
Falcon 9-002 Сара Канаверал	Perseus (4)	1.5 U	437.305 MHz	1 Вт	AX.25	15 kbps
	QbX (2)	3U	437.305 MHz	1 Вт	AX.25	15 kbps
	SMDC-ONE	3U	437.305 MHz	1 Вт	AX.25	15 kbps
	Mayflower	3U	437.600 MHz	0,9 Вт	AX.25	12 kbps
Tarus XL Ванденберг США	EIP	1U	437.505 MHz	1 Вт	KISS/Custom	9,6 kbps
	Hermes	1U	2.4 GHz	1 Вт	MHX-2420	5.2 kbps
	KySat	3U	436.790 MHz	1 Вт	AX.25	12 kbps
India	JUGNU	3U	437.275 MHz	0,5 Вт	CW	10 kbps
Elana3 Ванденберг, США	DICE-1/2	1.5U	460/465 MHz	2 Вт	PI	5 kbps
	M-Cubed	1U	437.485 MHz	1 Вт	AX.25	9.6 kbps
	RAX-2	3U	437.345 MHz / 2.4 GHz	2 Вт	AX.25	9.6 kbps
	EIP-2	1U	437.505 MHz	0,85 Вт	AX.25	12 kbps
	AubieSat-1	1U	437.475 MHz	0,705 Вт	CW	10 kbps

Протокол связи AX.25 лучше всего подходит для передачи данных с оптико-электронной системы

4. Расчеты аэродинамического углового ускорения наноспутника

При исследовании анализа полета использовались классические уравнения определения траектории, ориентации и стабилизации полета наноспутника.

Полагая, что обтекание наноспутника является свободномолекулярным и удар молекул газа абсолютно неупругий, аэродинамическое угловое ускорение наноспутника можно определить выражением:

$$M_{\alpha}(\alpha, \varphi, H) = m_0(H)(|\cos\alpha| + k_s \sin\alpha(|\sin\varphi| + |\cos\varphi|))\sin\alpha$$

Где:

$$m_0(H) = -\bar{\Delta}x c_0 S l q(H) / J_n$$

k_s – отношение площади одной из боковых поверхностей к характерной площади НС;

$\bar{\Delta}x = \Delta x / l$ – относительный запас статической устойчивости; Δx — запас статической устойчивости;

$q(H) = \rho(H)[V(H)]^2/2$ — скоростной напор

$V(H) = \sqrt{k_3 / (R_3 + H)}$ — скорость полета;

J_n — поперечный момент инерции наноспутника

l — характерная длина наноспутника;

$c_0 = 2,2$ — коэффициент лобового сопротивления;

S — характерная площадь наноспутника;

H – высота полета;

$\rho(H)$ — плотность атмосферы;

Анализ проводился при исходных данных :

$$V(H) = 7.9 \text{ м/с}; \quad q(H) = \frac{p(H) * (V(H))^2}{2}; \quad p(H) = 0.036 \text{ кг/м}^3; \quad J_n = 0.45 \text{ м}^2;$$

$$K_s = 1; \quad C_0 = 2.2; \quad \alpha = 30^\circ; \quad \varphi = 45^\circ;$$

$$S = 0,1^2 * 6 = 0,06 \text{ м}^2$$

$$m_0(H) = \frac{20}{0.1} * 2.2 * 0.06 * 0.1 * \frac{0.0036 * 7.9^2}{2} = 6.59$$

$$M_{\alpha} = 6.59 * (|\cos\alpha| + k_s * \sin\alpha(|\sin\varphi| + |\cos\varphi|))\sin\alpha = 5.18 \text{ рад/с}^2$$

Расчеты производились в программе Excel

В результате аналитических расчетов получены выходные динамические параметры наноспутника (Таблица 2) .

Таблица 4.1 - Вычисление аэродинамического углового ускорения наноспутника

$M\alpha$, рад/с ²	12,79283728	26,979023	2,9977803	0,147526	0,00024508
$m_0(H)$	16,26416064	34,299753	2,4834426	0,187557	0,00033155
α	30	30	45	30	30
φ	45	45	45	45	15
$\Delta\bar{X}$	200	100	200	200	200
ΔX , %	20	20	20	20	20
C_0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
S , м ²	0,06	0,24	0,06	0,06	0,06
l , м	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
$q(H)$, Па	2,77230011	1,4616372	0,4233141	0,0319699	5,6514E-05
J_n	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
k_s	1	1	1	1	1
$\rho(H)$, кг/м ³	0,0889	0,0469	0,0136	0,00103	0,00000192
$V(H)$, м/с	7,897401873	7,8949316	7,8899981	7,8789313	7,6725944
$\cos\alpha$	0,866025404	0,8660254	0,7071068	0,8660254	0,8660254
$\sin\alpha$	0,5	0,5	0,7071068	0,5	0,5
$\cos\varphi$	0,707106781	0,7071068	0,7071068	0,7071068	0,96592583
$\sin\varphi$	0,707106781	0,7071068	0,7071068	0,7071068	0,25881905
k_3 , м ³ /с ²	398600000	398600000	398600000	398600000	398600000
R_3 , м	6371000	6371000	6371000	6371000	6371000
H , v	20000	24000	32000	50000	400000

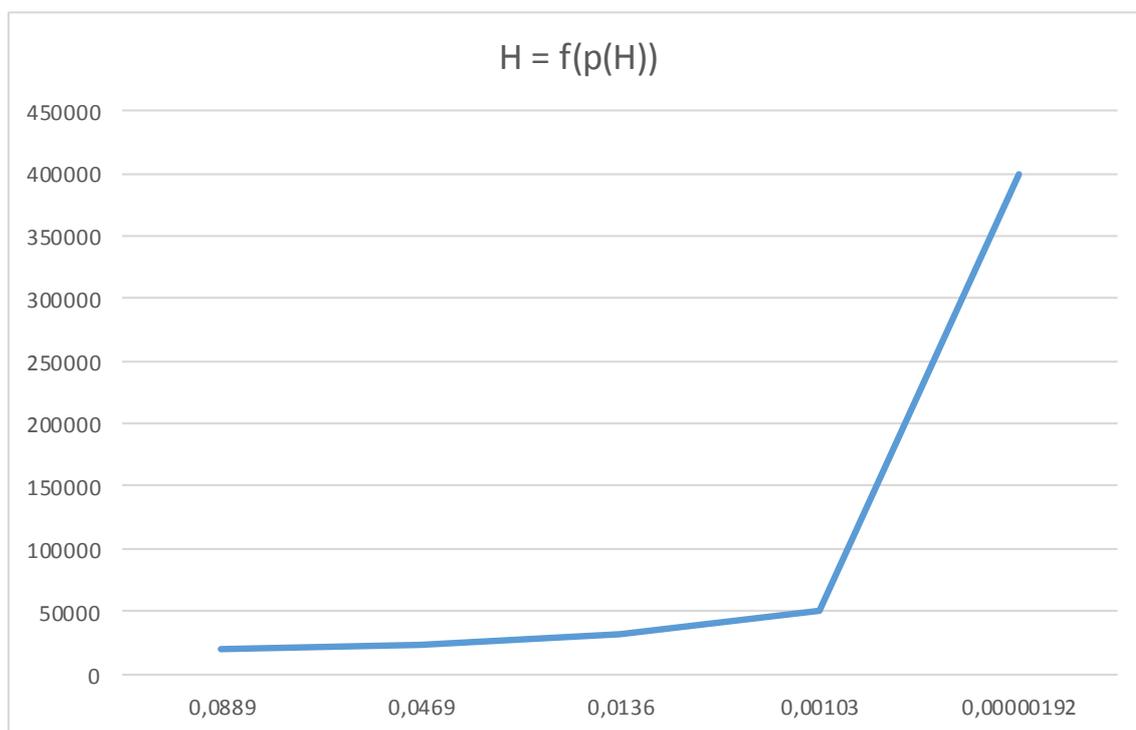


Рисунок 4.1 - График $H = f(p(H))$

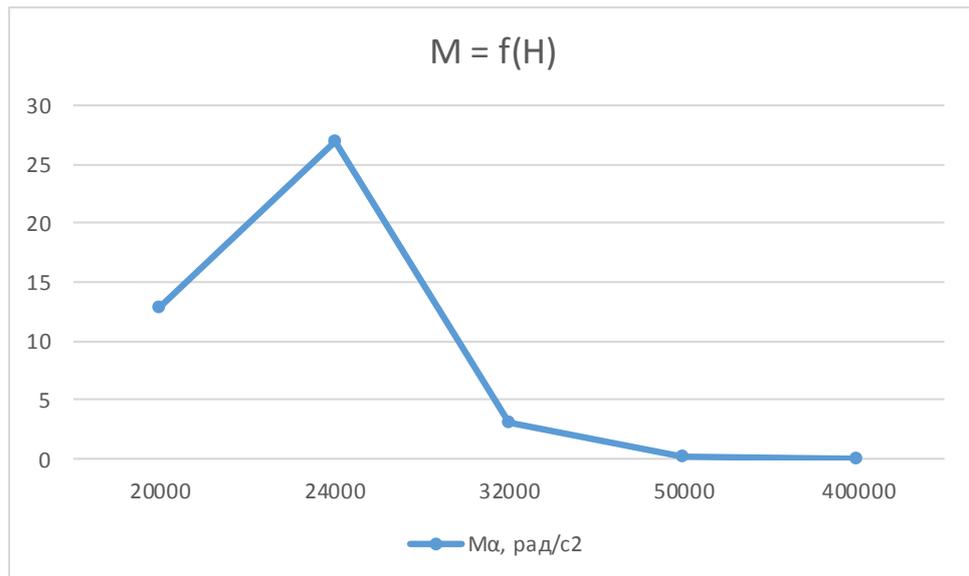


Рисунок 4.2 - График $M = f(H)$

В ходе вычисления, были сделаны следующие выводы:

- 1) При повышении высоты полета аэродинамическое угловое ускорение понижается
- 2) Чем больше габариты наноспутника, тем больше спутник поддается вращению вокруг своей оси

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе была рассмотрена разработка системы наземного слежения и управления полетом наноспутников. Предусмотрены системы мониторинга с использованием БД и 3D модели запущенного КА. Основной целью дипломной работы является построение НКПОДН и определение программ, нуждающихся для полноценного мониторинга полета наноспутников. И проведение аналитических расчетов.

С течением времени наземные постройки стали упрощаться. Появились уровни базы данных по отношению к НКПОДН.

Рассмотрены примеры написанных программ с помощью языков программирования для мониторинга КА. Следовательно, сделан вывод, что это позволяет упрощать работу НКПОДН при мониторинге.

Стоит выделить, что метод использования сжатия данных по алгоритму Хоффмана помогает сократить количество занимаемого объема данными. Что в свою очередь помогает быстрой отправке и получения сообщения от наноспутника.

Были сделаны вычисления аэродинамического углового ускорения.

Проведенные исследования позволяют установить, что главной проблемой для выполнения полноценного мониторинга – это нужда больших и дорогостоящих построек как для системы телеметрии, так и для контроля за наноспутниками.

В заключении стоит отметить, что развитие тенденции простых НКПОДН в будущем приведет к появлениям простых приборов телеметрии с использованием автоматизированных программ мониторинга полета наноспутников.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

НКПОДН - наземный комплекс приема и обработки данных с наноспутников

БД – База данных

КА – Космический аппарат

ПО – Программное обеспечение

UTC - Универсальное Координированное Время (Universal Time Coordinated)

УВЧ – Ультравысокие частоты

ОВЧ – Очень высокие частоты

STK - Systems Tool Kit (Программное обеспечение)

ГАДП - Группа анализа динамики полета

СО - Системный оператор

ГпИНС - Группа по исследованию наноспутниковых снимков

Рук – Руководитель

SQL - Structured query language (язык программирования)

JDK - Java Development Kit (Программное обеспечение)

НС – наноспутник

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Wiley J. Larson. Space Mission Analysis and Design. Third Edition. 2005. 621-642 с.
- 2) Гущин В. Н. Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
- 3) Гущин В. Н. Системы ориентации и стабилизации // Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. 272 с.
- 4) Чеботарев В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учеб. пособие / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. 488 с.
- 5) Brandstätter M, Eckl C (2009) Multi-disciplinary system engineering and the Compatibility Modeling Language. Journal of Systemics, Cybernetics & Informatics. 11 с.
- 6) Dingsoyr T, Nerur S, Balijepally V, Moe NB (2012) A decade of agile methodologies: towards explaining agile software development. J Syst Software 1221 с.
- 7) Funase R, Takei E, Nakamura Y, Nagai M, Enokuchi A, Yuliang C, Nakada K, Nojiri Y, Sasaki F, Funane T, Eishima T, Nakasuka S (2007) Technology demonstration on University of Tokyo's pico-satellite "XI-V" and its effective operation result using ground station network. 707-711 с.
- 8) Lopez DM, Blobel BGME (2009) A development framework for semantically interoperable health information systems. 83-103 с.
- 9) Laizans K, Sünter I, Zalite K, Kuuste H, Valgur M, (2014) Design of the fault tolerant command and data handling subsystem for ESTCube-1. Proc Est Acad Sci. 222-231с.
- 10) Pradels G, Baroukh J, Queyrut O, Sellé A, Malapert JC (2012) CNES solution for a reusable payload ground segment. Acta Astronaut 610-622 с.
- 11) Puschell JJ (2011) Formall requirements definition. In: Wertz JR, Everett DF, Puschell JJ, editors. Space mission engineering the new SMAD. Hawthorne: Space Technology Library. 105-123 с.
- 12) Schilling K (2006) Design of pico-satellites for education in systems engineering. IEEE Aero Electron Syst Mag. 9-14 с.
- 13) Thüm T, Kästner C, Benduhn F, Meinicke J, Saake G, Leich T (2014) FeatureIDE: an extensible framework for feature oriented software development. Sci Comput Program 70-85 с.
- 14) Woellert K, Ehrenfreund P, Ricco AJ, Hertzfeld H (2011) Cubesats: cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations. Adv Space Res. 663-684 с.
- 15) Ziemke C, Kuwahara T, Kossev I (2011) An integrated development framework for rapid development of platform-independent and reusable satellite on-board software. Acta Astronaut 583-594 с.

- 16) <http://students.ces.wustl.edu/~sapphire/> - Стенфордский университет и его микроспутники Sapphire, Opal, Orion, Emerald.
- 17) <http://www.ecss.nl/> - European Cooperation for Space Standardization
- 18) http://lss.mes.titech.ac.jp/ssp/cubesat/index_e.html - CubeSat
- 19) http://www.sp.nps.navy.mil/pansat/danspans/PANSAT_00.pdf - PANSAT
- 20) <http://www.amsat.org/amsat/AmsatHome.html> - описание радиолюбительских спутников.
- 21) <http://www.stensat.org> – Сайт наноспутника StenSat
- 22) <http://www.smad.com/analysis> - моделирование динамики КА
- 23) <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/computers/Part1.html> – сайт НАСА об использовании компьютеров в космосе