

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет инженерно–физический  
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы  
Направление подготовки 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика  
Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно–космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ


Зам.зав. кафедрой

  
В.В. Соловьев  
« 13 » 06 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**


на тему: Проектирование стенда для испытания электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat

Исполнитель  
студента группы 917–об

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)


Д.С. Дубровский

Руководитель  
доцент, канд. физ.-мат. наук.

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Д.В. Фомин

Консультант по БЖД  
доцент, канд. техн. наук

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль  
стар. преп. кафедры СиТРК

  
09.06.2023  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)


М.А. Аревков

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет инженерно–физический  
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зам. зав. кафедрой

 В.В. Соловьев  
« 25 » 05 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента Дубровского Дмитрия Сергеевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование стенда для испытания электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat

(утверждена приказом от 10.04.2023 №825–уч)

2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 15 июня 2023

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: ГОСТы, справочники, нормативные документы.


4. Содержание выпускной квалификационной работы: литературный обзор, проектная часть, безопасность жизнедеятельности, экономическая часть

5. Перечень материалов приложения: структурная схема стенда, общий вид стенда в сборе, общий вид двухосевого подвеса, вид этапов складывания корпуса, структурная электрическая схема двухосевого подвеса, детализированный вид двухосевого подвеса, чертёж двухосевого подвеса, исследование нагрузки на двухосевой подвес, апробация.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе: консультант по БЖД А.В. Козырь, канд. тех. наук., доцент

7. Дата выдачи задания: 25.05.2023г

Руководитель выпускного квалификационного проекта: Д.В. Фомин, канд. физ.-мат. наук, доцент

Задание принял к исполнению (дата): 25.05.2023г 

## РЕФЕРАТ

Настоящая выпускная квалификационная работа содержит 68 страниц, 29 рисунков, 3 таблицы, 28 источника, 1 приложение.

CUBESAT, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ  
ОБОРУДОВАНИЯ, СТЕНД, ДВУХОСЕВОЙ ПОДВЕС, ТРАНСИВЕР,  
АТТЕНЮАТОР, ГЕНЕРАТОР ПОМЕХ, ЭКВИВАЛЕНТ АНТЕННЫ, УКВ  
ГЕНЕРАТОР, БЕЗЭХОВАЯ КАМЕРА

В работе представлены описание этапов проектирования стенда и разработки двухосевого подвеса.

Цель работы – проектирование стенда для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести литературный обзор существующих стендов для проверки ЭМС и методов проведения ЭМС.
2. Спроектировать стенд для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat.
3. Провести экономический расчёт себестоимости изготовления стенда.
4. Определить основные правила по технике безопасности при работе со стендом.

В проектной части представлено описание стенда для проверки ЭМС бортового оборудования спутников стандарта CubeSat.

Подробно рассмотрено устройство разработанного двухосевого подвеса.

Проведён расчёт коэффициента затухания электромагнитной волны передающего устройства спутника в зависимости от расстояния.

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 Общая часть	9
1.1 Объект проектирования	9
1.2 Обзор существующих стендов для проверки электромагнитной совместимости оборудования и методов проверки	10
1.2.1 Обзор стендов для проверки электромагнитной совместимости оборудования	10
1.2.2 Типовая аппаратура стендов	16
1.2.3 Обзор методов для проверки на ЭМС	24
1.3 Обзор систем автоматизированного проектирования	26
2 Проектирование стенда для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CUBESAT	28
2.1 Техническое задание на проектирование стенда	28
2.2 Проектирование стенда	28
2.2.1 Проектирование складывающийся безэховой камеры	32
2.3 Проектирование двухосевого подвеса	33
2.3.1 Основные комплектующие подвеса	39
2.3.2 Исследование нагрузки на двухосевой подвес	42
2.3.3 Программное обеспечение подвеса	44
2.4 Подбор компонентов для реализации стенда	46
2.5 Расчёт коэффициента ослабления передаваемого сигнала	51
3 Безопасность жизнедеятельности	55
3.1 Требование охраны труда при работе со стендом	55
3.2 Основные понятие электробезопасности	56
3.3 Технические меры и средства защиты, обеспечивающие безопасность при работе с электрооборудованием	56
4 Экономическая часть	58

4.1 Затраты на материалы, комплектующие и на услуги по изготовлению	58
4.2 Расчёт основной заработной платы	59
Заключение	62
Библиографический список	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А	69

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГЛОНАСС – Глобальная навигационная спутниковая система;

ЭМС – электромагнитная совместимость;

БО – бортовое оборудование;

УКВ – ультракороткие волны;

ПН – полезная нагрузка;

ПК – персональный компьютер;

ТБ – техника безопасности;

ТС – технические средства;

ЭМП – электромагнитная помеха;

ЭМО – электромагнитная обстановка;

САПР – система автоматического проектирования;

КА – космический аппарат.

## ВВЕДЕНИЕ

С каждым днём космос играет всё более важную роль в повседневной жизни человека. Одним из ярких примеров являются системы спутниковой навигации, такие как “ГЛОНАСС” и “Beidou”, которые позволяют определять местоположение судов, летальных аппаратов и наземного транспорта с высокой точностью.

Разработка и запуск спутников в космос — это одна из наиболее сложных и ответственных задач для инженеров и ученых. Прежде, чем спутник будет запущен на орбиту, ему необходимо пройти серьёзные испытания. Они необходимы для того, чтобы убедиться в корректном функционировании в космическом пространстве и возможности выполнить поставленные задачи, несмотря на множество внешних факторов, таких как солнечное излучение, радиация и другие факторы.

Одни из самых важных наземных тестов, которые проходит спутник — это испытания на электромагнитную совместимость (ЭМС). Они показывают сможет ли спутник стабильно и исправно работать в условиях повышенной нагрузки. Спутниковые системы должны стабильно функционировать в условиях космоса, но они могут сталкиваться с высокими уровнями радиочастотных помех и электромагнитных полей, которые в свою очередь могут нарушить их работоспособность. Также сами приборы могут создавать электромагнитные помехи, что может сказаться на их эксплуатации. Поэтому проектирование и тестирование бортовых систем, учитывающих требования к ЭМС, является одним из главных этапов в разработке и тестировании космических аппаратов.

С увеличением числа пусков спутников, особенно наноспутников стандарта CubeSat, возникает необходимость проведения большего количества испытаний на ЭМС. Спутники стандарта CubeSat являются относительно недорогой и быстрой альтернативой космическим миссиям, традиционно реализуемых на базе космических аппаратов. В настоящее время CubeSat

используется в коммерческих и научных целях, а проведение испытаний на стенде поможет определить, насколько спутник готов к работе в космических условиях. Полученные результаты и выводы помогут убедиться в работоспособности спутника, принять решение о его запуске в космос. Поэтому разработка современных стендов для проведения испытаний на ЭМС является актуальной.

Цель данной работы – проектирование стенда для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести литературный обзор существующих стендов для проверки ЭМС и методов проведения ЭМС.
2. Спроектировать стенд для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat.
3. Провести экономический расчёт себестоимости изготовления стенда.
4. Определить основные правила по технике безопасности при работе со стендом.



## 1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

### 1.1 Объект проектирования

В ВКР объектом проектирования является стенд для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat. Поэтому рассмотрим основные понятия и определения, связанные с ЭМС.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) представляет собой способность электронного оборудования функционировать в определенных электромагнитных окружениях без негативного влияния на другие устройства и без подверженности собственным помехам, вызванным внешними источниками.[1]

Электромагнитная помеха (ЭМП) представляет собой электромагнитные явления, которые могут негативно влиять на работу технических систем (электрических сетей, приборов и устройств потребителей), ухудшая их функциональность. Уровень электромагнитной помехи (ЭМП) определяется как величина помехи, измеренная в соответствии с установленными стандартами и условиями испытаний [2]

Устойчивость к ЭМП, помехоустойчивость – способность оборудования сохранять заданное качество функционирования при воздействии помех.

Далее рассмотрим состав типового испытательного стенда на основе литературных данных.

Стенд для проверки характеристик электромагнитной совместимости устройств включает в себя генератор высокочастотных сигналов, которые последовательно подключаются к испытываемому радиоприемнику. Также на стенде присутствует измеритель нелинейных искажений и испытываемое радиопередающее устройство, которое нагружено на эквивалент антенны. [4-7]

В ходе обзора были использованы следующие патентные базы:

1. ФИПС («Федеральный институт промышленной собственности»). База данных российских и иностранных изобретений;

2. Яндекс. Патенты, созданные при содействии Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатента);
3. EPO - European Patent Office;
4. US Patent and Trademark Office (USPTO);
5. World Intellectual Property Organization (WIPO);
6. DEPATISnet;
7. IBM - Intellectual Property Licensing;
8. USPTO Web Patent Database;
9. US Patent and Trademark Office. Official Gazette;
10. Евразийская патентно-информационная система (ЕАПАТИС).

## **1.2 Обзор существующих стендов для проверки электромагнитной совместимости оборудования и методов проверки.**

В ходе изучения патентных баз были выделены несколько стендов и методов для проверки ЭМС оборудования. Ниже рассмотрены их свойства, характеристики, приборный состав и методы тестирования, которые будут с ними использоваться.

### **1.2.1 Обзор стендов для проверки электромагнитной совместимости оборудования.**

RU 119 963 U1 - Имитационный стенд для испытаний и обеспечения электромагнитной совместимости средств радиосвязи на подвижном объекте. (рисунок 1). [4]

Стенд для проверки электромагнитной совместимости устройств включает в себя генератор высокочастотных сигналов, который последовательно соединен со стандартными сигналами, испытуемым радиоприемником и измерительным прибором для оценки нелинейных искажений. Кроме того, на стенде присутствует испытуемое радиопередающее устройство, которое нагружено на эквивалент антенны. Испытания проводятся посредством последовательного включения источников радиопомех, настройкой частоты радиоприемной аппаратуры до достижения коэффициента нелинейных искажений, которые будут равны допустимому значению на испытуемом радиоприемном устройстве.

Полученные на имитационном стенде параметры электромагнитной обстановки используются для обеспечения электромагнитной совместимости средств радиосвязи на объекте, для повышения качества связи на основе выбора частот, для каналов связи с максимальным отношением сигнал/шум.

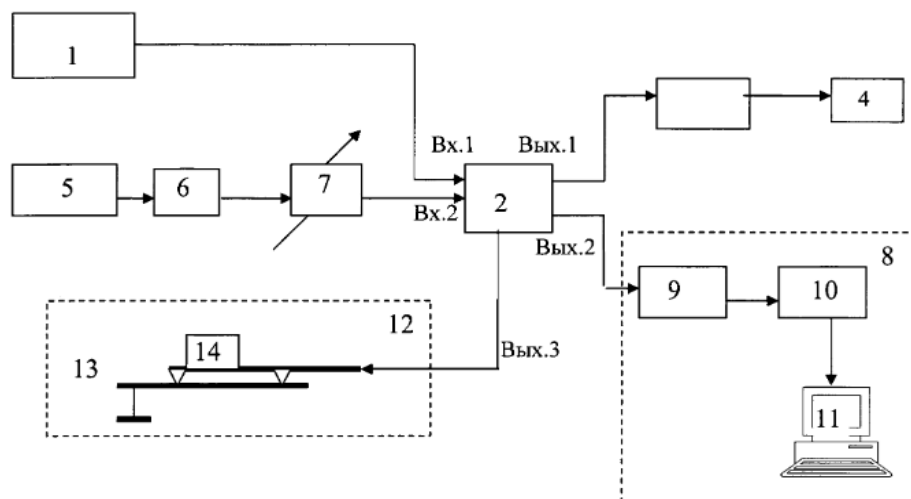


Рисунок 1 – Имитационный стенд для испытаний и обеспечения электромагнитной совместимости средств радиосвязи на подвижном объекте [4]

На рисунке 1 представлена схема стенда для проверки ЭМС оборудования, в состав которого входят [4]:

1. Генератор стандартных сигналов;
2. Согласующее устройство;
3. Испытуемое радиоприемное устройство;
4. Измеритель нелинейных искажений;
5. Испытуемое радиопередающее устройство;
6. Эквивалент антенны;
7. Регулируемый высокочастотный аттенюатор;
8. Устройство контроля и обеспечения электромагнитной совместимости;
9. Сканирующий радиоприемник;
10. Аналого-цифровой преобразователь;
11. Персональная электронно-вычислительная машина (со специальным программным обеспечением);

12. Имитатор контактной радиопомехи;
13. Два металлических листа с непостоянным контактом между ними;
14. Источник вибрации (например, электродвигатель).

Анализируя данный стенд, можно сделать вывод, что он:

1. Позволяет повысить достоверность испытаний за счет измерения тока радиопомех;
2. Требуеет доступа к радиопередающему устройству аппарата для подключения эквивалента антенны с измерительным оборудованием;
3. Имеет большие габариты, что влияет на его мобильность;
4. Требуеет наличие специального экранированного помещения, так как отсутствует безэховая камера.

Стенд оценки электромагнитной совместимости корабельных технических средств, аппаратурный комплекс для его реализации

RU 2 374 654 (рисунок 2). [5]

Устройство применяется в области электротехники, в частности для определения электрических и магнитных характеристик гидроакустических комплексов. Оно представляет собой техническое решение, которое позволяет сократить затраты на обеспечение кораблей техническими средствами (ТС). Это достигается путем измерения характеристик внешнего электромагнитного поля (ЭП) вблизи испытываемого технического средства (ИТС) и их записи в устройство памяти.

На основе этих характеристик определяются параметры ЭП, которое воздействует на ИТС, и его формирование. Также регистрируется отклик ИТС, оценивая вероятностные характеристики его восприимчивости к ЭП. Регистрация характеристик внешнего ЭП и формирование облучающего ЭП, направленного на ИТС, осуществляются циклически. Первая часть цикла включает регистрацию текущей дискретной последовательности уровней внешнего ЭП, а вторая часть цикла - формирование облучающего ЭП, имеющего длительность не меньше первой части цикла. Путем сопоставления текущих соотношений уровней, сформированных в циклах облучающего ЭП, и



текущих значений, а также цифро-аналогового преобразователя. Индикатор поля имеет два канала: один связан с датчиком, а второй - с входом усилителя. Для управления системой присутствуют отключатели, которые разрывают соединение между усилителем и индикатором, а также между датчиком и индикатором. Дополнительно присутствует подключатель датчика к запоминающему устройству.

На рисунке 2 представлена схема стенда для проверки ЭМС оборудования, в состав которого входят [5]:

1. Датчик электромагнитного поля;
2. Подключатель;
3. Запоминающее устройство;
4. Аналоговый-цифровой преобразователь;
5. Регистратор дискретной последовательности текущих значений;
6. Цифроаналоговый преобразователь;
7. Генератор;
8. Усилитель;
9. Регулятор коэффициента усиления;
10. Излучателю электромагнитного поля;
11. Испытываемое техническое средство 11;
12. Индикатор;
13. Канал;
14. Отключатель;
15. Канал;
16. Отключатель.

Анализируя данный стенд, можно сделать выводы, что он:

1. Позволяет проводить испытания ЭМС в условиях специализированных испытательных центров с экранированными помещениями, оснащенными соответствующим защитным оборудованием;
2. Имеет высокую цену закупки материалов на создание;
3. Должен иметь прямой доступ к оборудованию для испытания.

Испытательный стенд ЭМС, включающий в себя испытываемое оборудование, предназначенное для установки на летательном аппарате RU 2 656 095 (смотри рисунок 3). [6]

Данное устройство относится к технике связи и может использоваться в испытываемом оборудовании, установленном на летательном аппарате. Технический результат состоит в обеспечении защищенности оборудования на летательных объектах. Для этого испытательный стенд ЭМС включает в себя: испытываемое оборудование, предназначенное для установки на летательном аппарате. Устройство электрических интерфейсов характерно для противомолевого оборудования и содержит: плату получения и/или генерации сигналов ARINC, подключенную к входам и выходам ARINC испытываемого оборудования; стойку контроля/управления для анализа сигналов контроля, происходящих от устройства электрических интерфейсов, содержащего плату получения/генерации сигналов ARINC; систему преобразования сигналов для защиты стойки контроля/управления, подключенную между упомянутой стойкой контроля/управления и устройством электрических интерфейсов.

Испытательный стенд ЭМС, включает в себя испытываемое оборудование, предназначенное для установки на летательном аппарате. Оборудование подвергается испытаниям по ЭМС и предоставляет электрические интерфейсы ARINC на входах и выходе. Интегрированная система электромагнитной совместимости (ИС ЭМС) также включает устройство электрических интерфейсов, характерное для противомолевого оборудования. Это устройство содержит плату для приема и/или генерации сигналов ARINC, которая подключается к входам и выходам испытываемого оборудования по протоколу ARINC. Кроме того, ИС ЭМС включает стойку контроля/управления для анализа сигналов контроля, поступающих от устройства электрических интерфейсов. Стойка контроля/управления также содержит плату для приема и/или генерации сигналов ARINC.

Для защиты стойки контроля/управления используется система преобразования сигналов (BCC), которая способна преобразовывать

электрический сигнал ARINC в оптический сигнал и обратно. Система преобразования сигналов подключена между стойкой контроля/управления (BCC) и устройством электрических интерфейсов (DIE) и устройством электрических интерфейсов.

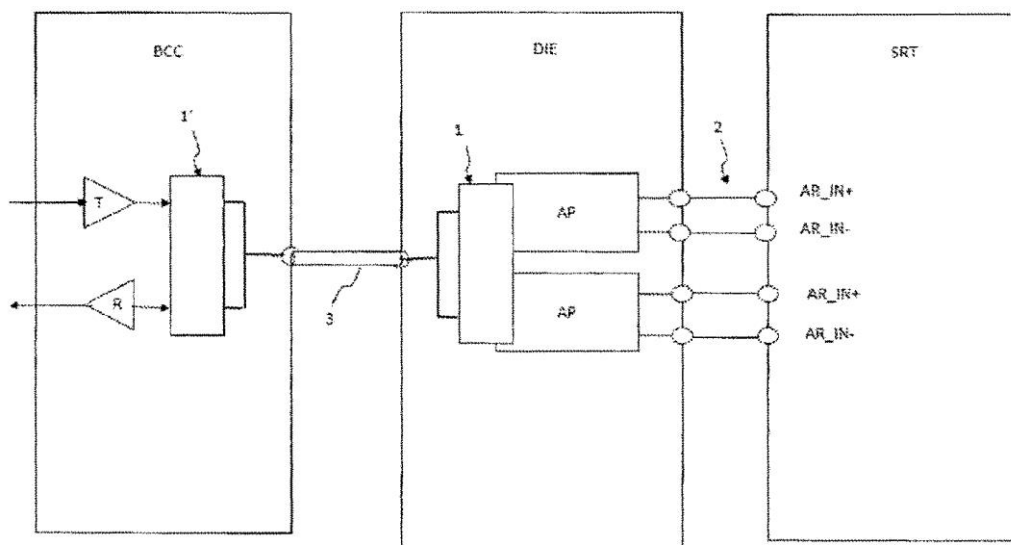


Рисунок 3 – Испытательный стенд ЭМС, включающий в себя испытываемое оборудование [6]

На рисунке 3 представлена схема стенда для проверки ЭМС оборудования [6]:

BCC – стойка контроля/управления;

DIE – устройство электрических интерфейсов;

SRT – испытываемое оборудование.

Анализируя данный стенд, можно сделать выводы, что он:

1. В процессе проведения тестирования может быть использован для преобразования электрических сигналов в оптические сигналы и наоборот.
2. Имеет возможность построить устойчивую связь.
3. Не включает в себя оборудования для проверки других диапазонов излучения, кроме имеющегося.

### 1.2.2 Типовая аппаратура стендов

Ниже, на основе проведённого литературного анализа представлен типовой состав стендов для проверки ЭМС бортового оборудования спутников стандарта CubeSat:



1. Аттenuатор;
2. Эквивалент антенны;
3. Укв генератор;
4. Трансивер;
5. Генератор помех;
6. Микроконтроллер;
7. Согласующее устройство;
8. Персональный компьютер.

Аттenuатор — это электронное устройство, которое уменьшает амплитуду или мощность сигнала без существенного искажения его формы.

Аттenuатор предназначен для поддержания безопасной работы, согласования импеданса отдельных включенных в цепь модулей, благодаря выравниванию мощности между их входом и выходом.

Также использование аттenuатора нужно для обеспечения безопасности антенной системы, когда используются ответвители и когда отсутствуют приборы контроля.

Аттenuаторы позволяют вносить нужное затухание при передаче сигнала на короткие дистанции в одномодовых линиях, понижать перегрузку каскада на входе приемного устройства, предотвращая возможные сбои функционирования сети. Аттenuаторы также применяют в системах WDM мультиплексирования.

Аттenuаторы классифицируются:

1. По набору воспроизводимых значений: фиксированные, ступенчатые (в том числе программируемые), плавные (в том числе электрически управляемые);
2. По диапазону частот: радиоизмерительные и оптические;
  - 2.1 радиоизмерительные делятся по принципу действия на резисторные, ёмкостные, поляризационные, предельные и поглощающие;
3. По способу подключения: коаксиальные, волноводные и волоконно-оптические;
4. Радиоизмерительные делятся по принципу действия на резисторные, ёмкостные, поляризационные, предельные и поглощающие.

В стендах, которые проводят испытания на ЭМС, аттенюаторы используются для регулирования силы выходного и входного сигнала

Плюсы использования аттенюатора:

1. Долгий срок использования;
2. Стабильная степень затухания сигнала;
3. Простота применения;
4. Компактные габариты;
5. Минимальные значения обратного отражения;
6. Высокий уровень надежности;
7. Широкий рабочий диапазон температур.

Эквивалент антенны — радиотехническое устройство, заменяющее реальную антенну при испытаниях и настройке радиопередатчиков и радиоприемников.

Эквивалент антенны является системой, состоящей из активных и реактивных компонентов, помещенных в экранированный корпус и оборудованных разъемами для внешних подключений. Эквиваленты могут имитировать приемную антенну, передающую антенну или комбинировать обе функции.

Так как требования к эквивалентам зависят от конкретных спецификаций, они обычно не являются универсальными устройствами и предназначены для определенных типов приемопередающих устройств или радиостанций. Эквивалент передающей антенны используется для измерения параметров передатчика без фактической передачи сигнала в эфир. В зависимости от типа передатчика, для которого они предназначены, эквиваленты передающей антенны могут иметь согласованное активное входное сопротивление или комплексное входное сопротивление с различными рабочими частотами. Эквиваленты с волноводным входом представляют собой участок волновода с поглотителем электромагнитного излучения.

Часто в эквивалентах встроены измерители мощности, тока или индикаторы, позволяющие приблизительно определить уровень сигнала. Точные

измерения производятся с помощью внешних приборов. Некоторые эквиваленты оснащены встроенными модуляторами. В случае работы с мощными передатчиками (десятки — тысячи ватт) эквиваленты имеют системы принудительного охлаждения для активных элементов нагрузки.

Эквивалент приемной антенны предназначен для измерения чувствительности и селективности радиоприемников. Он представляет собой активную, реактивную или активно-реактивную цепь, которая подключается к входу приемника и используется с измерительным генератором. Генератор сигналов ультравысокой частоты предназначен для проверки и налаживания различных высокочастотных устройств в диапазоне частот от 75 до 450 МГц.

Ультракороткие волны (УКВ) широко применяются в системах радиосвязи (мобильной, любительской и профессиональной), радиовещания и телевидения. Большинство таких систем работают в пределах зон прямой видимости. Увеличение дальности связи между стационарными объектами достигается применением радиорелейных линий. УКВ используются также в системах радиолокации, ближней радионавигации, в спутниковой и космической радиосвязи.

Трансивер — это комплекс устройств для передачи информации посредством радиоволн и (или) её приёма.

Каждый трансивер работает в определенном диапазоне частот. Условно все частоты можно разделить на 2 большие категории: безлицензионные (не требуют регистрации рации и разрешают свободное пользование) и лицензионные (требуют получение специальной лицензии).

Современные трансиверы работают на различных рабочих частотах, которые можно разделить на несколько категорий. Ниже приведены основные из них:

1. СВ (27 МГц) — это гражданские частоты, на которых трансиверы могут работать с выходной мощностью до 10 Вт без необходимости регистрации или лицензирования (в России). Эти частоты часто используются дальнобойщиками или таксопарками.

2. UHF (400-520 МГц) - это диапазон, предназначенный для городского использования. Если вы хотите общаться по радию в городе, то лучше выбрать частоты этого диапазона. Однако на открытой местности прием и передача существенно ухудшаются из-за естественных преград, таких как леса или крутые рельефы.

3. LPD (433,075-434,775 МГц) — это безлицензионный диапазон, предназначенный для использования маломощными радиостанциями.

4. PMR (446,000-446,100 МГц) — это один частотный диапазон, не требующий лицензии, и широко распространенный в Европе. Он часто используется на открытой местности, так как радиоволны плохо преодолевают препятствия. Радиостанции PMR должны иметь мощность не более 0,5 Вт и являются популярным средством повседневной коммуникации.

5. VHF (136-174 МГц) — это наиболее универсальный диапазон, который хорошо работает как на открытой местности, так и в городских условиях с плотной застройкой.

Генератор помех — это специальное устройство, предназначенное для создания контролируемых помех в определенном диапазоне частот с целью защиты конфиденциальной информации от несанкционированного доступа. Существуют два основных типа генераторов помех: синфазные и белые.

Синфазные генераторы помех используются для защиты персональных компьютеров. Они генерируют случайные импульсы, синхронизированные с формой и продолжительностью полезных сигналов, чтобы создать помехи, мешающие несанкционированному доступу.

Белые генераторы помех являются более распространенными, так как они создают широкополосные помехи, которые могут быть использованы в различных системах. Они могут надежно защитить телекоммуникационные сети, звуковые каналы, серверные установки и другие системы. Белые генераторы помех широко применяются в современных службах безопасности. К основным характеристикам генераторов помех относятся:

1. Диапазон рабочих частот;

2. Мощность излучения;
3. Спектральная плотность помех.

Во многом, именно от этих параметров зависит цена устройства, а также его эксплуатационные возможности. Однако, нельзя не отметить, что очень важным элементом установки является антенна. Для наибольшей эффективности они изготавливаются слабонаправленными, чтобы обеспечить работу сразу в нескольких плоскостях. Благодаря этому, плотность покрытия значительно увеличивается, следовательно, эффективность установки возрастает.

Микроконтроллер — микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами.

Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит оперативную запоминающую память (ОЗУ) и (или) постоянно запоминающее устройство (ПЗУ). По сути, это однокристалльный компьютер, способный выполнять относительно простые задачи.

Отличается от микропроцессора интегрированными в микросхему устройствами ввода-вывода, таймерами и другими периферийными устройствами.

Ниже приведён неполный список периферийных устройств, которые могут использоваться в микроконтроллерах, включает в себя:

1. Универсальные цифровые порты, которые можно настраивать как на ввод, так и на вывод;
2. Различные интерфейсы ввода-вывода, такие, как UART, I<sup>2</sup>C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet;
3. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи;
4. Компараторы;
5. Широтно-импульсные модуляторы (шим-контроллер).
6. Таймеры.
7. Контроллеры бесколлекторных двигателей, в том числе шаговых.
8. Контроллеры дисплеев и клавиатур.

9. Радиочастотные приемники и передатчики;
10. Массивы встроенной флеш-памяти;
11. Встроенные тактовый генератор и сторожевой таймер.

Антенное согласующее устройство (АСУ) представляет собой техническое устройство, которое устанавливается у входа антенны и служит для настройки параметров антенны, чтобы они соответствовали параметрам передатчика, приемника или фидерной линии. АСУ может также выполнять симметрирование антенны при необходимости. Основная цель согласования состоит в преобразовании входного или выходного сопротивления антенны таким образом, чтобы оно было согласовано с волновым сопротивлением питающего фидера или соответствовало оптимальным параметрам выходного устройства передатчика или входного устройства приемника.

Виды АСУ:

1. С неперестраиваемыми параметрами, для узкого диапазона частот;
2. Узкодиапазонные на дискретных LC-элементах;
3. На основе цепей с распределёнными параметрами (на отрезках линий);
4. С ручной настройкой;
5. С автоматической настройкой.

Перестраиваемые АСУ используются вместе с элементами с постоянными параметрами, такими как конденсаторы переменной ёмкости, вариометры (переменные индуктивности) и регулируемые автотрансформаторы. Они также могут включать высокочастотные переключатели или реле для переключения различных участков цепи. Настройка перестраиваемых АСУ выполняется оператором с использованием таблицы или показаний приборов. В отличие от неперестраиваемых АСУ, перестраиваемые могут быть использованы в широком диапазоне частот и с различными типами антенн.

АСУ на отрезках линий являются простыми устройствами согласования, которые чаще всего используются в метровом и дециметровом диапазонах волн. Они представляют собой комбинацию отрезков линий определенной длины и волнового сопротивления. Для преобразования сопротивлений в них

используются различные виды коаксиальных трансформаторов, а для устранения реактивной составляющей импеданса применяются реактивные шлейфы. Для симметрирования могут быть использованы различные устройства, такие как U-колени, четвертьволновый стакан, симметрирующий мостик, симметрирующая щель и другие.

Персональный компьютер (ПК) — однопользовательская (предназначенная для использования одним пользователем) ЭВМ, имеющая эксплуатационные характеристики бытового прибора и универсальные функциональные возможности. ПК может быть стационарным (чаще всего настольным) или портативным (ноутбук, планшет).

Согласно ГОСТ 27201-87, ПК применяются как средства массовой автоматизации (в основном для создания на их основе автоматизированных рабочих мест) в социальной и производственных сферах деятельности в различных областях народного хозяйства и предназначены для пользователей, не обладающих специальными знаниями в области вычислительной техники и программирования.

Изначально компьютер был создан как вычислительная машина, но ПК также используется в других целях — как средство доступа в информационные сети, как платформа для мультимедиа, компьютерных игр и персональная рабочая станция.

Персональный компьютер является основным устройством управления и контроля испытательного стенда. Он подключен к радиостанции и используется для настройки параметров передачи данных, а также для обработки полученных данных. ПК обычно имеет установленное специализированное программное обеспечение для управления стендом и анализа данных.

### **1.2.3 Обзор методов для проверки на ЭМС**

В данной части ВКР описаны методы для проверки ЭМС различных устройств на основе анализа патентных баз.

Оценка электромагнитной совместимости бортового оборудования в составе летательного аппарата RU 2 497 282 C9 (Рисунок 4). [7]

Рассмотрим методику проведения оценки ЭМС, представленную в патенте RU 2 497 282 С9. Эта методика состоит в последовательном включении источников электромагнитных помех, которые постепенно воздействуют радиопомехами на тестируемое бортовое оборудование. После активации источника радиопомех измеряются наведенные помехи, которые вызываются в электрических цепях испытуемого оборудования. Для этого используется индукционный датчик тока, расположенный на расстоянии пяти сантиметров от входного разъема на электрической цепи испытуемого оборудования.

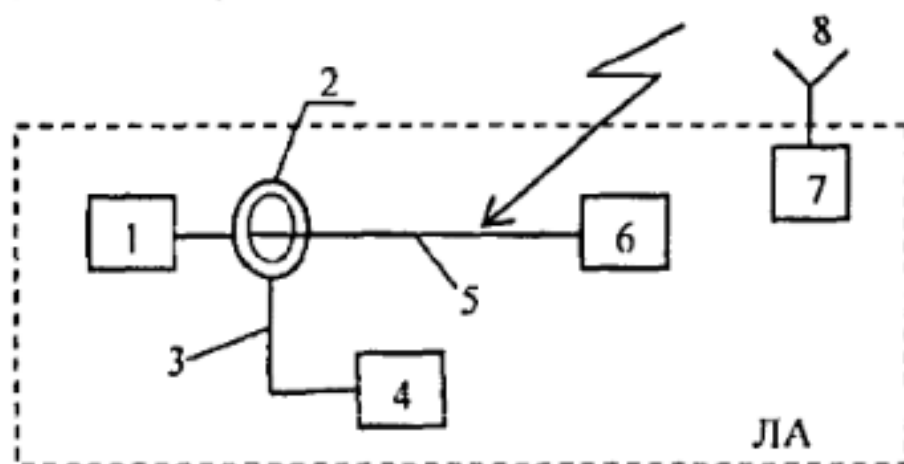


Рисунок 4 – Стенд для отработки методики оценки электромагнитной совместимости [7]

На рисунке 4 представлено [7]:

1. Испытуемое оборудование;
2. Измерительный датчик тока;
3. Высокочастотный кабель;
4. Анализатор спектра;
5. Бортовая электрическая цепь;
6. Нагрузка;
7. Бортовые радиопередатчики;
8. Передающие антенны.

Анализируя данный метод, можно сделать выводы о том, что:



1. Эта методика позволяет повысить достоверность испытаний за счет измерения тока радиопомех;
2. Методика требует частичной разборки аппарата для доступа к платам бортовой аппаратуры;
3. В методике отсутствует проверка оборудования на другой диапазон излучения.

Способ оценки электромагнитной совместимости бортового радиоэлектронного оборудования RU 2 697 810 С9 (Рисунок 5). [8]

Рассмотрим ещё одну методику проведения оценки ЭМС, представленную в патенте RU 2 697 810 С9. Она предполагает оценку электромагнитной совместимости без частичной разборки испытуемого бортового радиоэлектронного оборудования.

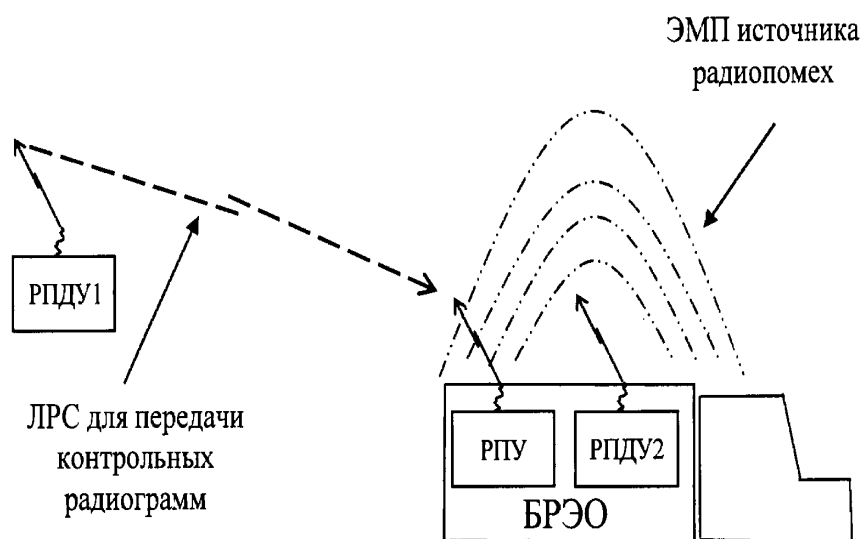


Рисунок 5 – Стенд для отработки методики электромагнитной совместимости бортового радиоэлектронного оборудования [8]

Способ оценки электромагнитной совместимости бортового оборудования основан на передаче радиограмм из таблицы звуков или слов, и последовательного включения источников радиопомех. Принятые радиограммы анализируются и сравниваются значения разборчивости речи, как разность значения разборчивости речи, вычисленного в условиях радиопомех, и значения разборчивости речи, вычисленного в условиях отсутствия радиопомех,

выраженных в процентах. Из полученных результатов тестирования делается заключение об успешном прохождении бортового оборудования испытания на электромагнитную совместимость в случае, если результат не превысил заданного допустимого значения.

Анализируя данный метод, можно сказать о том, что:

1. Методика ориентирована преимущественно на аппараты, использующие передачу речевых радиограмм;
2. Испытания проводятся без разборки испытуемого оборудования;
3. Методика требует создания специального аппаратного комплекса.

### **1.3 Обзор систем автоматизированного проектирования**

Рассмотрим системы автоматизированного проектирования (САПР), имеющиеся в Амурском государственном университете, и их характеристики. Данный обзор необходимо выполнить в рамках ВКР для выбора САПР при дальнейшем проектировании и разработки стенда для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat.

С точки зрения разработки наиболее оптимально подходят системы автоматизированного проектирования SolidWorks, Компас-3D и AutoCad, имеющиеся в Амурском государственном университете.

Среди преимуществ программы SolidWorks можно выделить возможность проведения различных видов испытаний, таких как испытания на собственные частоты и испытания на растяжение, и другие. Однако, среди недостатков программы можно отметить сложность создания некоторых конструктивных элементов и общую сложность изучения программы.

Достоинства SolidWorks:

1. Построение модели;
2. Построение опытного образца конструкции;
3. Эксплуатационное испытание опытного образца;
4. Оценка результатов эксплуатационных испытаний;

5. Изменение конструкции на основании результатов эксплуатационных испытаний.

Среди преимуществ САПР Компас-3D можно выделить легкость проектирования деталей любой сложности и высокое качество оформления этих деталей согласно стандартам ЕСКД и СПДС. Однако, недостатком Компас-3D является отсутствие возможности проведения различных видов испытаний над спроектированными деталями. Также стоит отметить, что данная САПР разработана в России и широко используется на местных производствах.

К достоинствам САПР AutoCad можно отнести возможность работы с зарубежными чертежами, поскольку AutoCad используется почти во всех странах ЕС. Преимущество – простота работы в программе. Недостаток – программа зарубежная и не используется в РФ, так же недостатком является невозможность получения лицензии для использования программы на территории РФ.

Исходя из вышеописанного, можно сказать, что программа САПР SolidWorks будет наиболее подходящей в рамках данной ВКР для проектирования стенда, так как максимально отвечает заданным требованиям:

1. Построение модели;
2. Построение опытного образца конструкции;
3. Оценка результатов эксплуатационных испытаний.

Таким образом, в данной главе были рассмотрены различные способы реализации стендов для проверки ЭМС различных систем и методы проведения ЭМС. Определён типовой состав стенда и его составляющих, рассмотрен принцип работы составляющих. Были проанализированы системы автоматизированного проектирования и выбрана система SolidWorks.

## 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СПУТНИКОВ СТАНДАРТА CUBESAT

### 2.1 Техническое задание на проектирование стенда

Для решения поставленных задач по разработке стенда для проверки ЭМС бортового оборудования спутников стандарта CubeSat были сформулированы следующие требования к проектируемому стенду, который должен:

1. Включать в свой состав безэховую камеру;
2. Поддерживать возможность проведения тестирования в диапазоне частот от 430 МГц до 440 МГц; [11]
2. Работать без технических неполадок при температуре от 10°C до 30°C, влажности воздуха от 20% до 45%;
3. Быть мобильным;
4. Иметь суммарную массу, не превышающую 20 кг;
5. Включать в свой состав двухосевой подвес, который должен соответствовать следующим требованиям:
  - а) Обеспечивать вращение спутника от 0 до 360 градусов и регулировку наклона спутника на угол от 0 до 70 градусов;
  - б) Управляться при помощи микроконтроллера;
  - в) Напряжение питания не должно превышать 7 В.

### 2.2 Проектирование стенда

В ходе работы были пройдены этапы проектирования:

1. Составление задач и целей для проектирования стенда;
2. Сбор исходной разрешительной документации (ГОСТы);
3. Выполнение инженерных изысканий в ход этого этапа была изучена и проанализирована литературы на тему стенд для проверки электромагнитной совместимости оборудования;
4. Разработка основных технических решений при проектировании стенда;

5. Разработка проектной документации при проектировании и создании чертежей;

6. Экспертиза проектной документации при оформлении заявки на патент для экспертной оценки;

7. Разработка рабочей документации при написании выпускной квалификационной работы.

Результатом основного технического решения стал стенд для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat, который представляет из себя металлическую камеру кубической формы, образуя клетку Фарадея, это позволяет исключить влияние внешних радиоэлектронных помех. Внутренние стенки камеры покрыты радиопоглощающим покрытием, что предотвращает отражение электромагнитных волн внутри камеры. Камера изготавливается из секторов, монтируемых на специальную складную фурнитуру, что обеспечивает компактность и мобильность.

Внутри камеры предусмотрено крепление для приемопередающей антенны, которая подключается к радиостанции. Внизу камеры устанавливается двухосевой подвес для фиксации спутника CubeSat. Фиксирующее устройство универсально и позволяет закреплять на подвесе спутник форматов от U1 до U3, но не более максимального допустимого веса для используемого двухосевого подвеса.

Кроме того, в камеру помещается антенна, которая подключается к имитатору помех – радиооборудованию, способному создавать электромагнитные помехи в УКВ диапазоне. Место и расположение выбираются в соответствии с постановкой испытаний.

Комплексное тестирование спутника включает в себя:

1. Испытания бортового оборудования на отказоустойчивость под воздействием электромагнитного излучения УКВ диапазона;

2. Испытания бортового приемопередающего оборудования на помехоустойчивость радиоканала.

Отличия от ближайших аналогов заключаются в нижеследующем:

1. Стенд для испытания и обеспечения электромагнитной совместимости на спутниках стандарта CubeSat, содержащий приемопередающую антенну, подключаемую к высокочастотному аттенюатору, который в свою очередь подключается к высокочастотному коммутатору, позволяющему переключать источник сигнала, одним из которых является УКВ генератор, вторым – радиостанция; а также излучающую антенну имитатора помех, отличается от RU 2 656 095 тем, что испытания проводятся в безэховой камере, помещенной в клетку Фарадея, в которую помещается малый космический аппарат стандарта CubeSat;

2. Испытательный стенд отличается от RU 119 963 U1 тем, что включает в себя безэховую камеру, выполненную в виде складной конструкции по типу «гармошки»;

3. Испытательный стенд отличается от RU 2 656 095 тем, что используется моторизованный двухосевой подвес для крепления спутника;

4. Испытательный стенд отличается от RU 2 374 654 тем, что содержит в своём составе высокочастотный коммутатор с электронным управлением для автоматизации процесса испытаний.

В ходе проектирования стенда так же была разработана структурная схема стенда, изображённая на рисунке 6 и общий вид стенда, изображённый на рисунке 7.

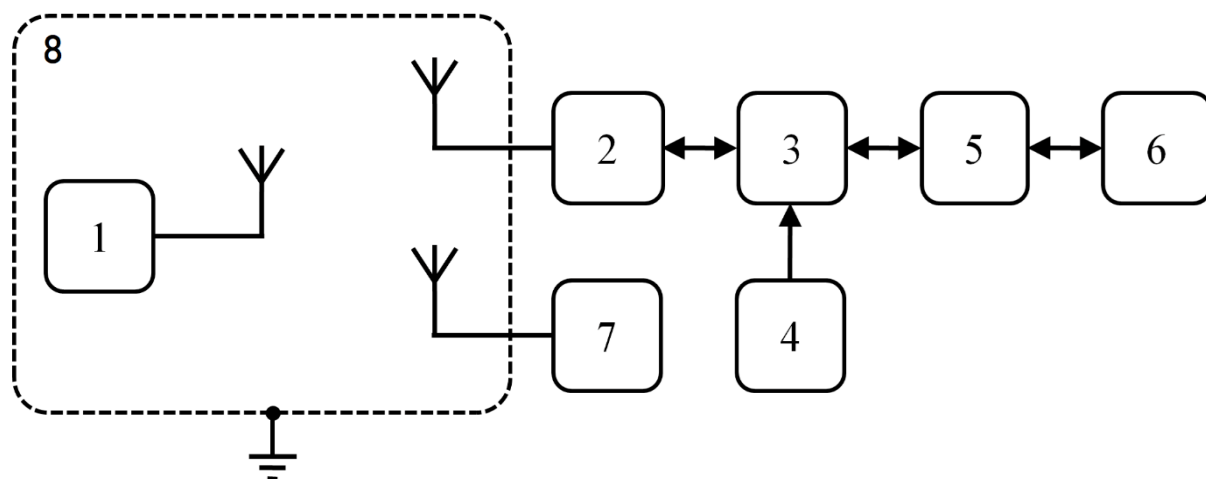


Рисунок 6 – Структурная схема стенда

На рисунке 6 изображена структурная схема разрабатываемого стенда, в состав которого входят:

1. Спутник стандарта CubeSat;
2. Аттенюатор (для уменьшения сигнала);
3. Высокочастотный коммутатор (для переключения источников сигнала);
4. УКВ генератор (для генерации УКВ сигнала);
5. Трансивер (для приёма сигнала);
6. ПК;
7. Антенна, подключаемая к имитатору помех (создание помех в УКВ диапазоне);
8. Безэховая камера.

На рисунке 7 изображен общий вид стенда в сборе.

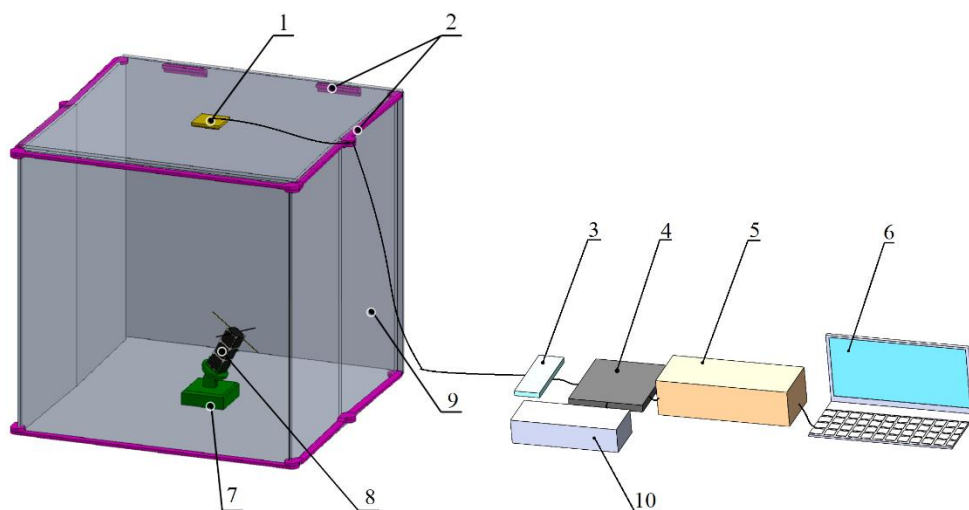


Рисунок 7 – Общий вид стенда в сборе

На рисунке 7 изображён общий вид стенда, в состав которого входят:

1. Крепление для антенны;
2. Элементы для складывания камеры;
3. Аттенюатор;
4. Высокочастотный коммутатор;
5. Трансивер;
6. ПК;
7. Двухосевой подвес;

8. Спутник стандарта CubeSat;
9. Безэховая камера;
10. УКВ генератор.

Спутник стандарта CubeSat, находящийся в клетке Фарадея, может взаимодействовать с приемопередающей антенной, подключенной к высокочастотному аттенюатору, позволяющему регулировать силу выходного и входного сигналов, который соединяется с высокочастотным коммутатором, дающим возможность переключать источник сигнала между УКВ генератором и радиостанцией, управляемой персональным компьютером. Также в камеру помещается антенна, подключаемая к имитатору помех, позволяющим создавать электромагнитные помехи в УКВ диапазоне различной мощности в процессе тестирования сеанса радиосвязи со спутником на помехоустойчивость.

### **2.2.1 Проектирование складывающийся безэховой камеры**

Безэховая камера является одним из компонентов стенда, предназначенного для проведения испытаний. Она позволяет исключить отражение электромагнитных волн внутри и проникновение излучения извне, что обеспечивает возможность проведения испытаний в ограниченных пространствах. Камера имеет форму куба и изготавливается из металла, образуя клетку Фарадея, с целью исключения влияния внешних радиоэлектронных помех. Внутренние стенки камеры покрыты радиопоглощающим материалом, предотвращающим отражение электромагнитных волн внутри камеры. В качестве радиопоглощающего материала будет использоваться графитовая краска марки МАХ54. Краска обладает достаточной степенью прочности и гибкости, чтобы выдерживать небольшие деформации, такие как складывание камеры. Камера состоит из секторов, которые монтируются на специальную складную фурнитуру, обеспечивающую компактность и мобильность. На рисунке 8 изображены этапы складывания безэховой камеры.



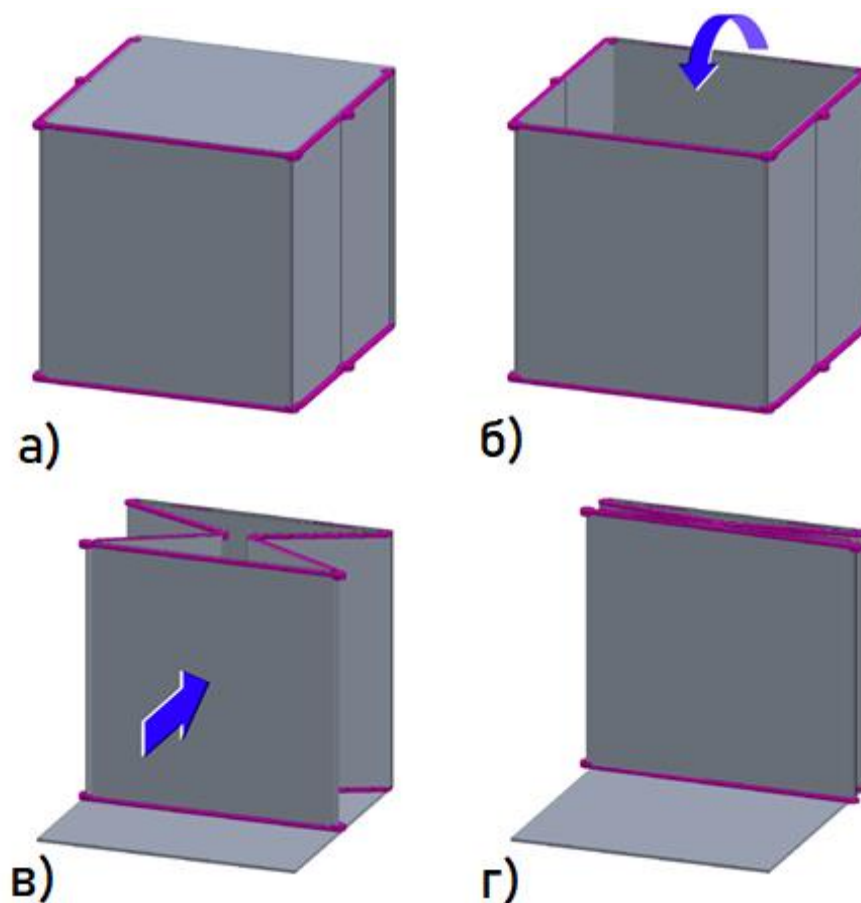


Рисунок 8 – Вид этапов складывания корпуса  
 а) разложенный вид; б) складывание верхней стенки;  
 в) складывание боковых стенок; г) сложенный вид

На рисунке 8 изображены этапы складывания конструкции безэховой камеры. Сначала демонтируются двухосевой подвес и приемопередающая антенна. Затем складывается верхняя панель, после чего конструкция сжимается по принципу “гармошки”. Нижняя стенка отсоединяется, после чего конструкция может транспортироваться.

### 2.3 Проектирование двухосевого подвеса

Подвес необходим для проведения наземных испытаний спутников при проверке на электромагнитную совместимость их бортового оборудования. При этом спутник, закреплённый на подвесе, должен поворачиваться сервоприводами подвеса на 360 градусов в горизонтальной плоскости и линейно на  $\pm 70$  градусов в вертикальной плоскости, перпендикулярно направлению своего вращения. Линейное изменение положения спутника, осуществляемое с

помощью подвеса, должно фиксироваться независимым датчиком. В целом, подвес должен имитировать отклонение положения спутника относительно Земли во время нахождения на орбите.

На рисунке 9 изображена структурная схема подвеса. При помощи ПК задаётся уклон наклона и поворота. Микроконтроллер контролирует работу верхнего и нижнего сервомотора. Датчик угла наклона фиксирует насколько градусов наклонена платформа от своего исходного положения.

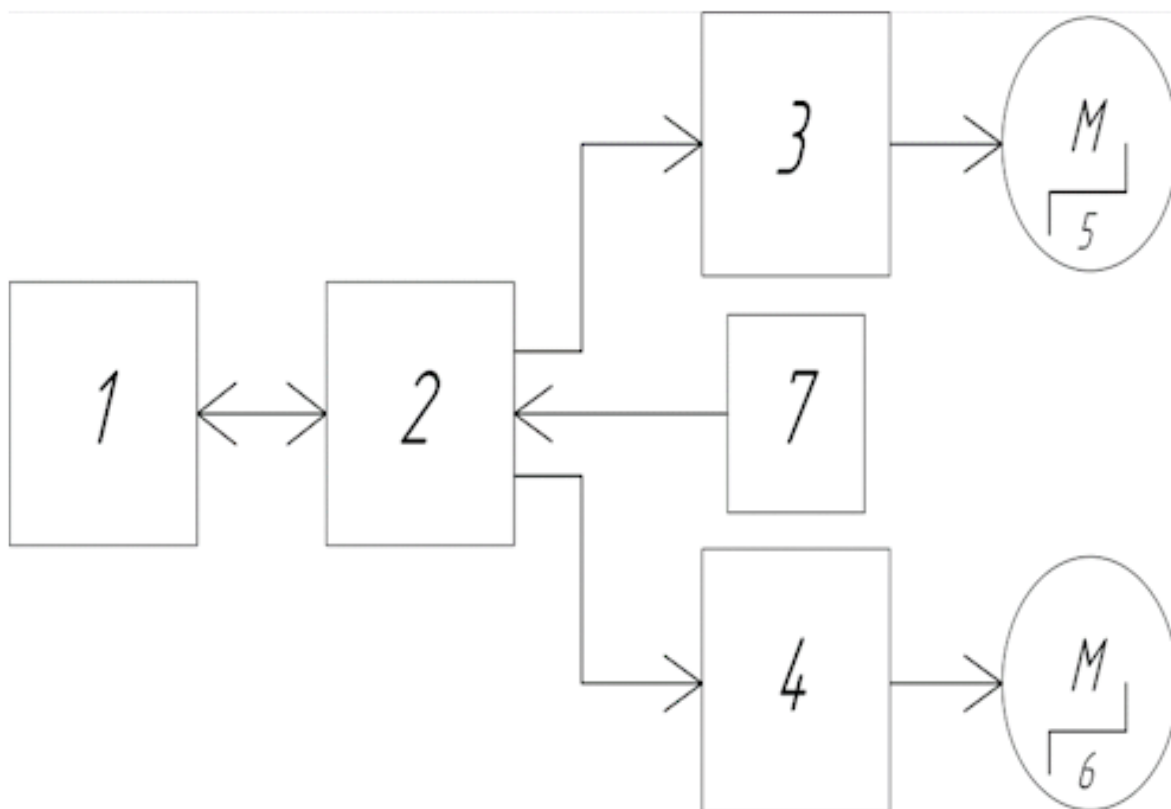


Рисунок 9 – Структурная схема подвеса

На рисунке 9 изображена структурная схема разрабатываемого подвеса, в состав которого входят:

1. ПК;
2. Микроконтроллер;
3. Модуль сервопривода верхней платформы;
4. Модуль сервопривода нижней платформы;
5. Сервопривод верхней платформы;

6. Сервопривод нижней платформы;

7. Датчик угла наклона.

На рисунке 10 представлен общий вид двухосевого подвеса.

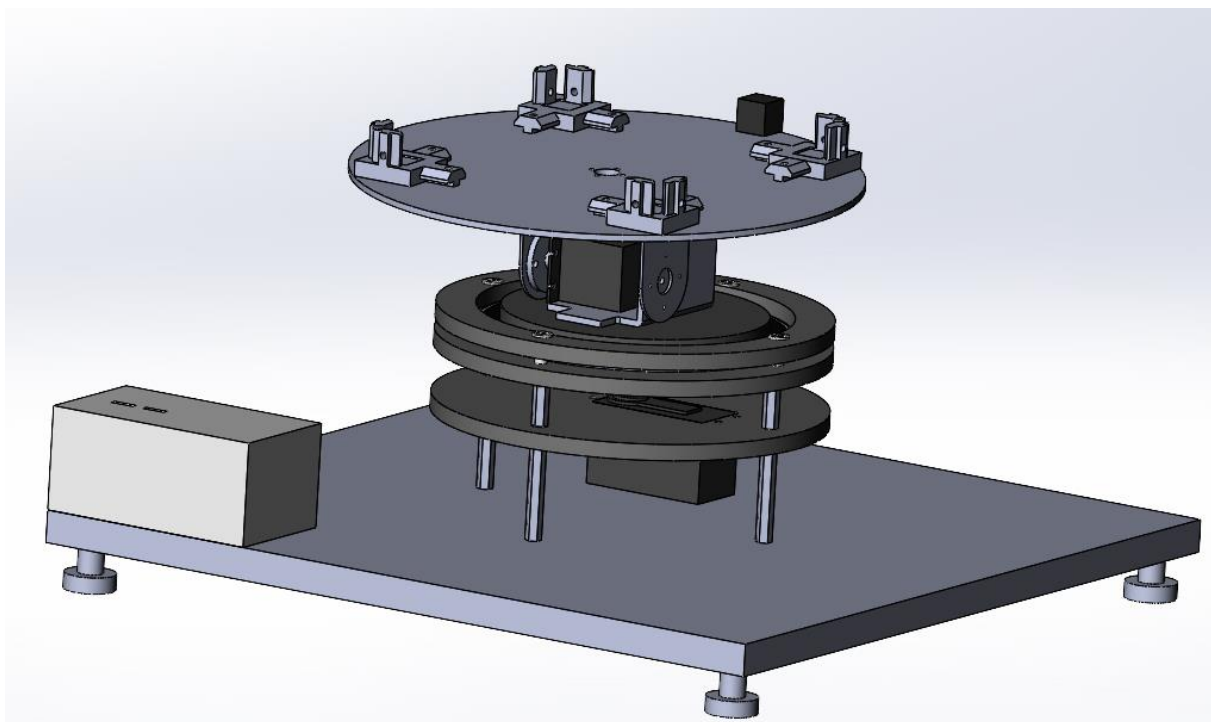


Рисунок 10 – Общий вид спроектированного двухосевого подвеса

Устройство состоит из моторизованной платформы и оснастки, предназначенной для закрепления и удержания спутника. Моторизованная платформа крепится на жестких стойках, которые находятся на основании и имеют регулируемые по высоте ножки. Это позволяет регулировать положение подвеса спутника относительно горизонтальной плоскости стола, на котором установлено устройство.

В состав моторизованной платформы входит площадка, на которой закреплен сервопривод основания, позволяющий платформе вращаться на 360 градусов. На этой площадке также установлен сервопривод плеча, который отвечает за перемещение подвижной скобы. Кольца на площадке служат для удерживания подшипника.

Оснастка для закрепления и удержания спутника включает в себя площадку, которая закреплена на подвижной скобе. С помощью сервопривода плеча оснастка осуществляет линейное перемещение спутника. Уголки

используются для фиксации спутника, а также имеется датчик для измерения угла наклона спутника.

Устройство представлено на следующих чертежах:

Рисунок 11 – Детализированный вид двухосевого подвеса;

Рисунок 12 – Вид сбоку двухосевого подвеса.

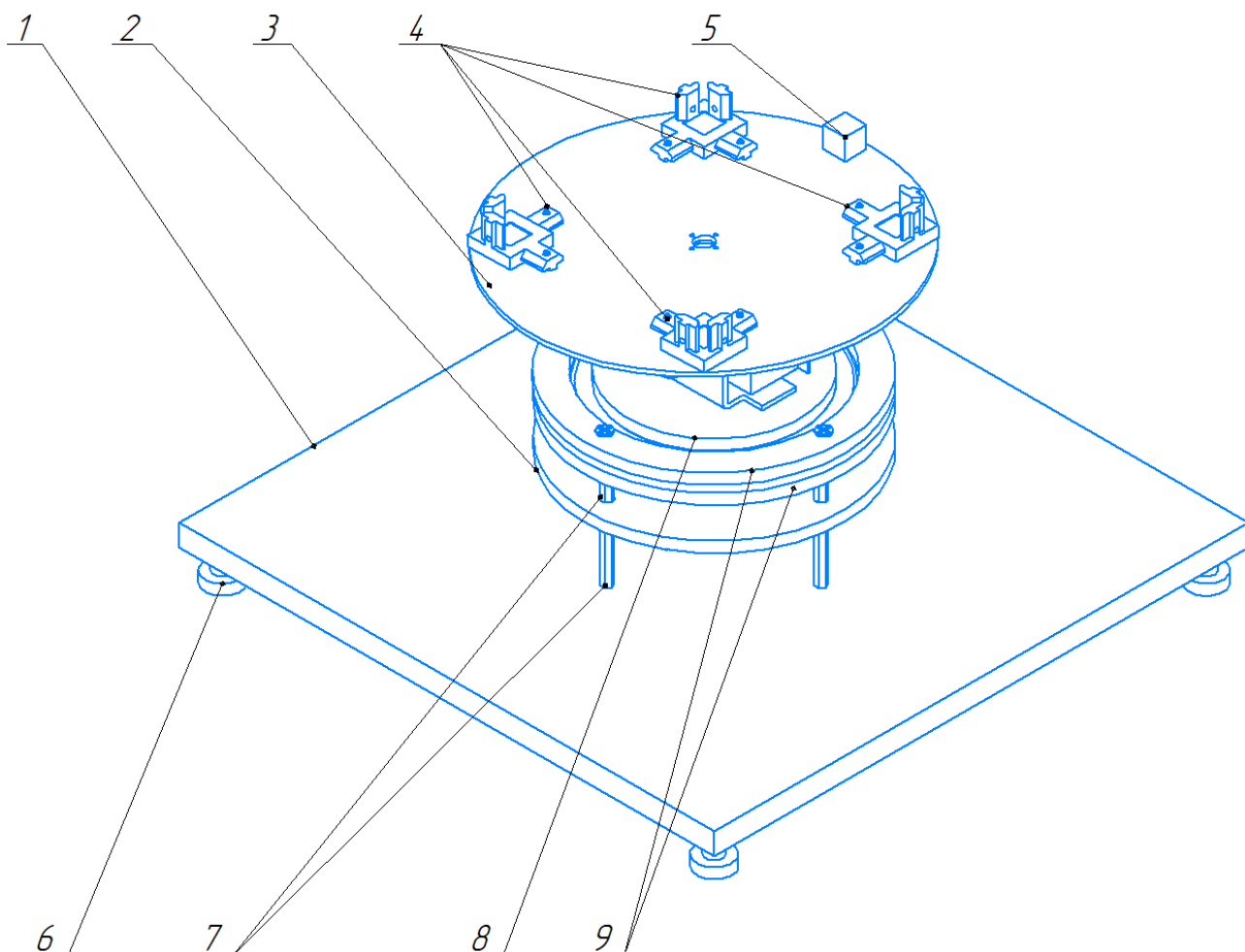


Рисунок 11 – Детализированный вид двухосевого подвеса

На рисунке 11 изображён вид детализированного двухосевого подвеса в его состав входят:

1. Станина;
2. Площадка для крепления сервопривода;
3. Платформа для установки спутника;
4. Крепёжные элементы;
5. Датчик угла наклона;

6. Ножки станины;
7. Стойки;
8. Верхняя платформа подшипника;
9. Кольца крепление подшипника.

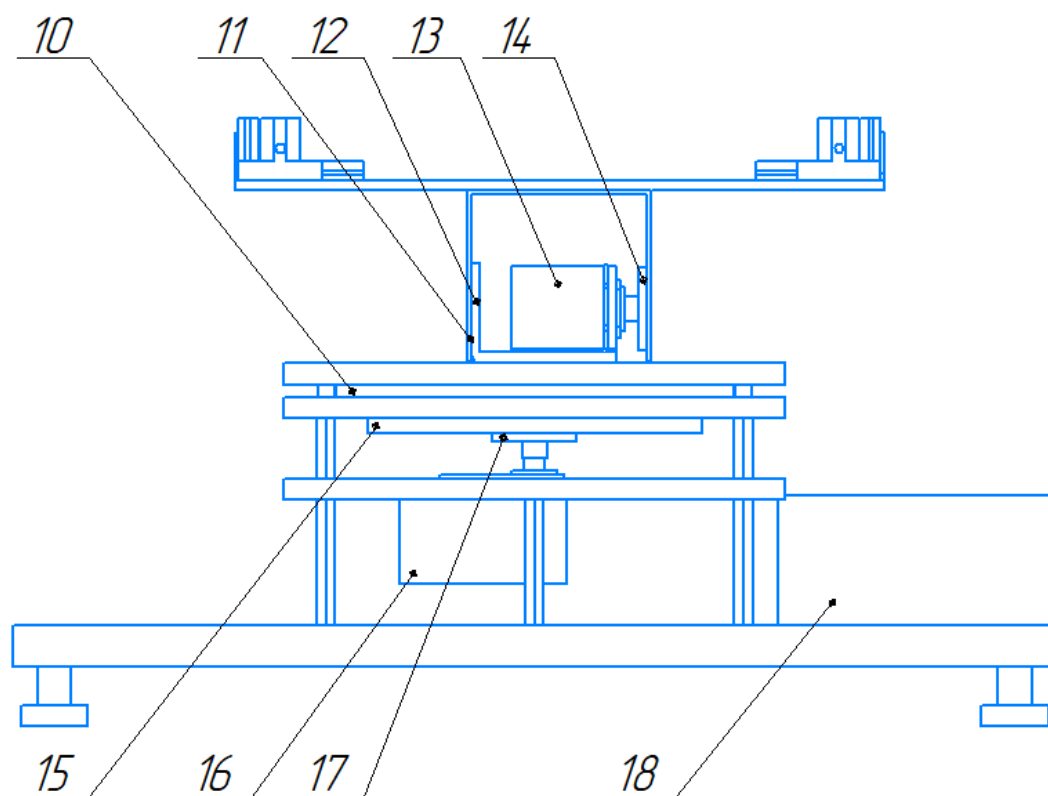


Рисунок 12 – Вид сбоку двухосевого подвеса

На рисунке 12 изображён вид сбоку детализированного двухосевого подвеса в его состав входят:

10. Подшипник;
11. Подвижная скоба;
12. Крепление сервопривода;
13. Сервопривод наклона;
14. Муфта сервопривода наклона;
15. Нижняя платформа подшипника;
16. Сервопривод поворота;
17. Муфта сервопривода поворота;

## 18. Блок управления.

В ходе проектирования подвес был сконструирован в лабораторных условиях. Вид реализованного двухосевого подвеса представлен на рисунке 13.

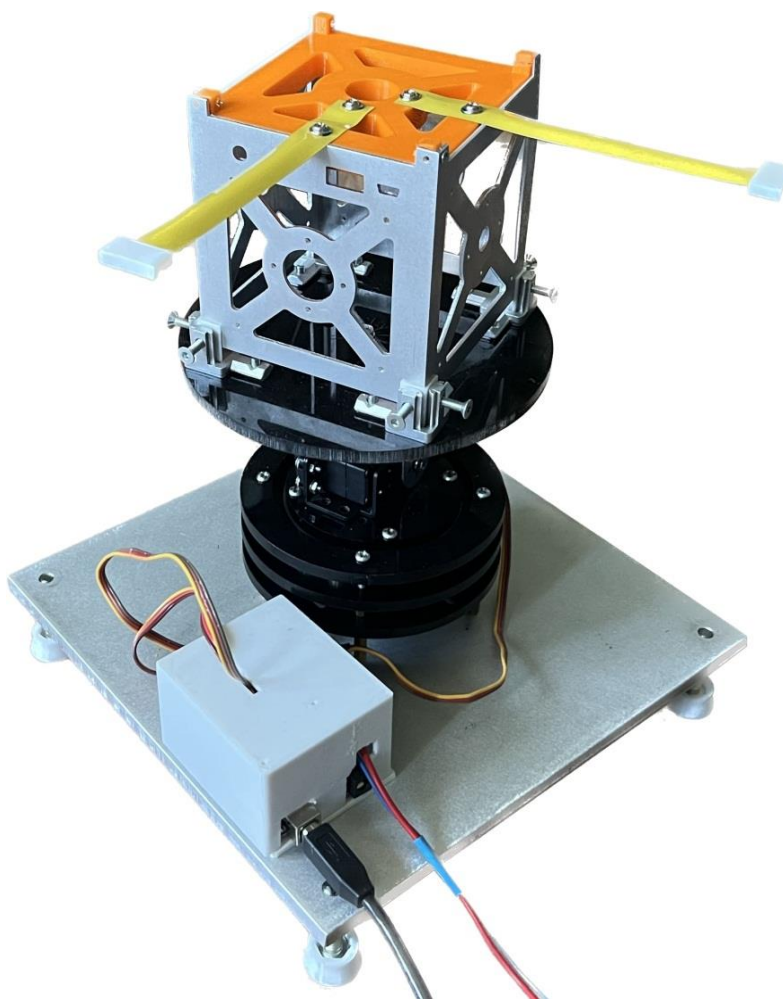


Рисунок 13 – Вид лабораторного прототипа подвеса

Подвес используется следующим образом. Спутник стандарта CubeSat устанавливается на площадку подвеса, содержащую уголки, и фиксируется с помощью винтов. Устройство управления, на основе микроконтроллера и его программы, задает необходимые углы для кругового и линейного перемещения спутника, осуществляемые с помощью сервоприводов основания и плеча соответственно. Независимый датчик измерения угла наклона спутника, расположенный на площадке вместе со спутником, используется для калибровки сервопривода плеча и для независимого контроля за углом наклона космического аппарата.

### 2.3.1 Основные комплектующие подвеса

В качестве моторов для подвеса были выбраны сервоприводы JX Servo 5521MG-180. Для передачи движения был выбран подшипник HCN 604-2RS. В качестве крепёжного элемента были выбраны 3-х сторонние соединители 20x20 мм, предназначенный для угловых соединений 3-х профилей.

Подвес может осуществлять наклон и поворот закреплённого на нём спутника. На рисунке 14 изображён вид механизма движения подвеса. Верхний сервопривод обеспечивает наклон спутника, нижний сервопривод – поворот спутника.

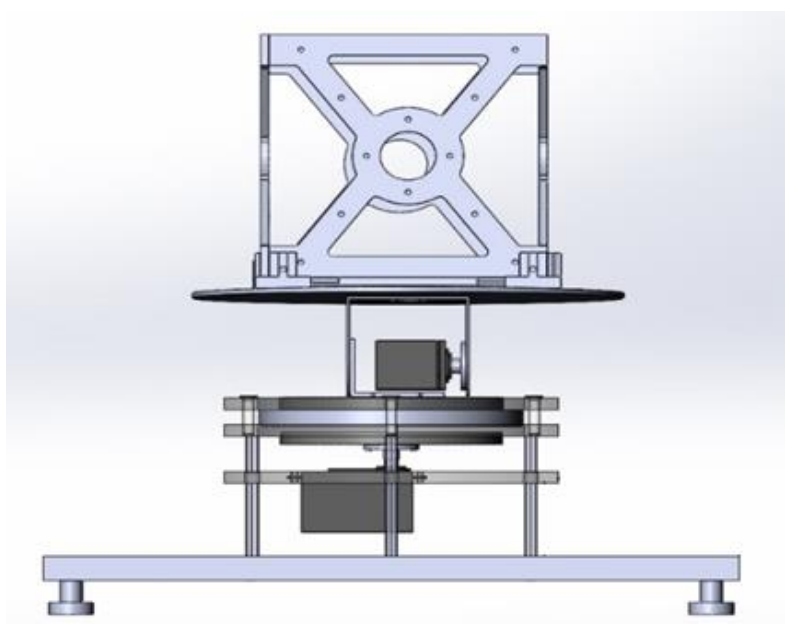


Рисунок 14 – Вид механизма движения подвеса

На рисунке 15 отдельно изображён вид механизма поворота подвеса. Нижний сервопривод JX Servo 5521MG-180 с размерами 40,5 x 20,2 x 40 мм, через муфту передаёт движение нижней платформе подшипника, на которой установлен подшипник HCN 604-2RS наружным диаметром 12 мм и внутренним диаметром 4 мм. Он передаёт движение верхней платформе подшипника диаметров 16 мм. Благодаря этому и осуществляется поворот стенда.

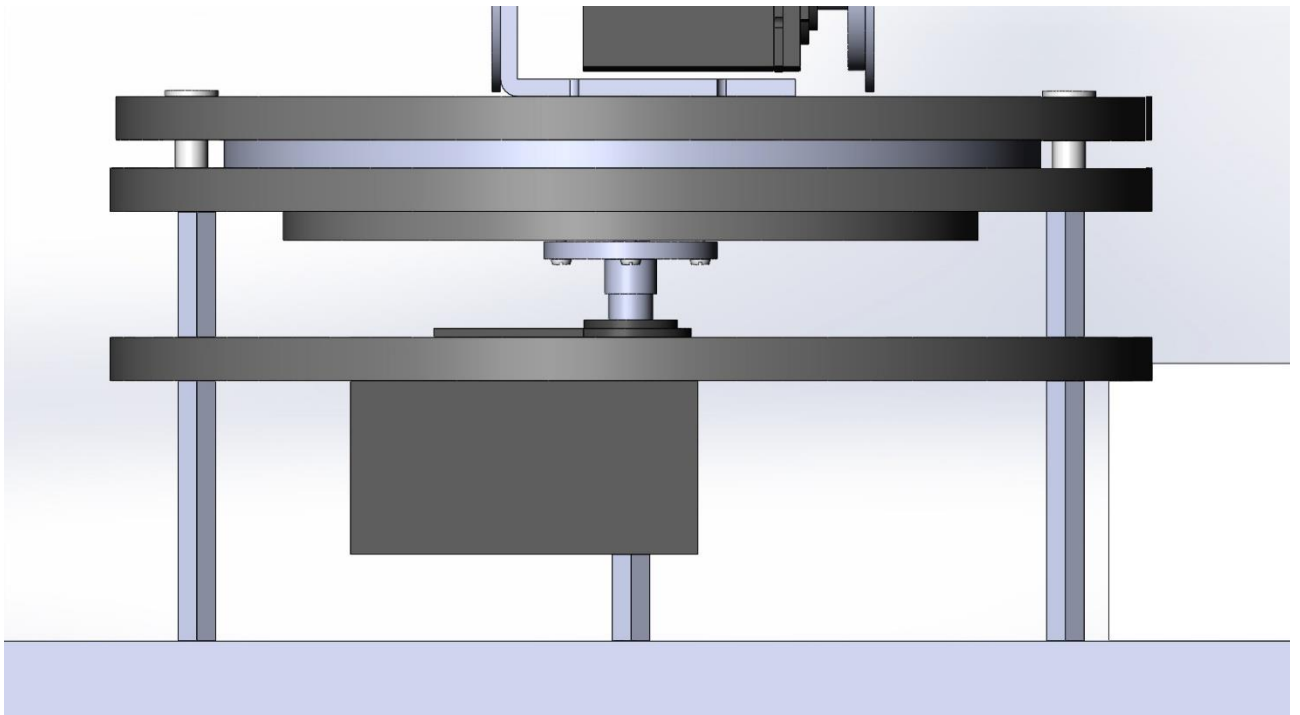


Рисунок 15 – Вид механизма поворота подвеса

На рисунке 16 изображён вид механизма наклона подвеса. Верхний сервопривод передаёт движение при помощи муфты диаметром 2 мм платформе, на которую крепится спутник при помощи крепёжных элементов. Таким образом осуществляется наклон спутника.

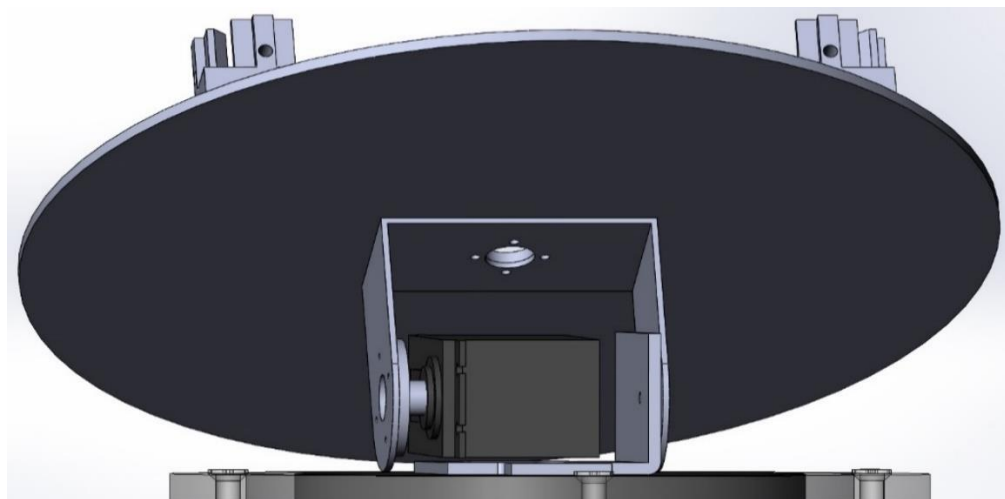


Рисунок 16 – Вид механизма наклона подвеса

На рисунке 17 изображён крепёжный элемент, благодаря которому осуществляется фиксация спутника на платформе. Он выполнен в виде 3-стороннего соединителя 20x20 мм, предназначенного для угловых соединений 3-



х профилей под углами 90 градусов с отверстиями диаметром 4 миллиметра, что обеспечивает надёжную фиксацию для спутника во время его тестирования.

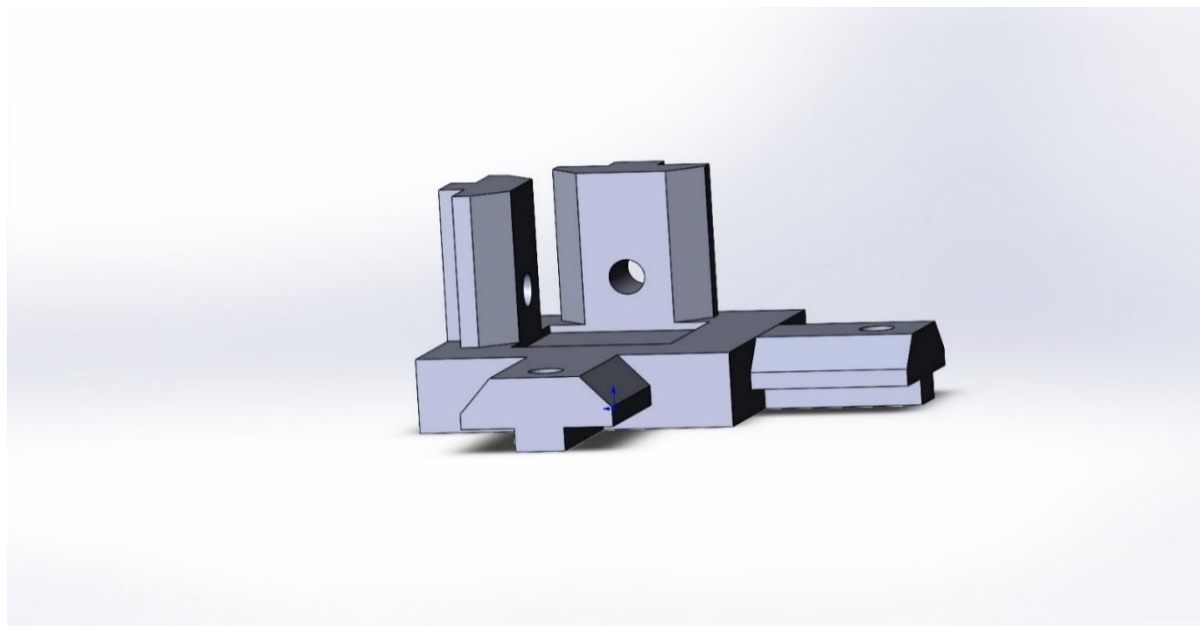


Рисунок 17 – Вид 3-х стороннего соединителя

На рисунке 18 изображён пример закрепления корпуса спутника стандарта CubeSat на двухосевой подвес при помощи болтов М4.

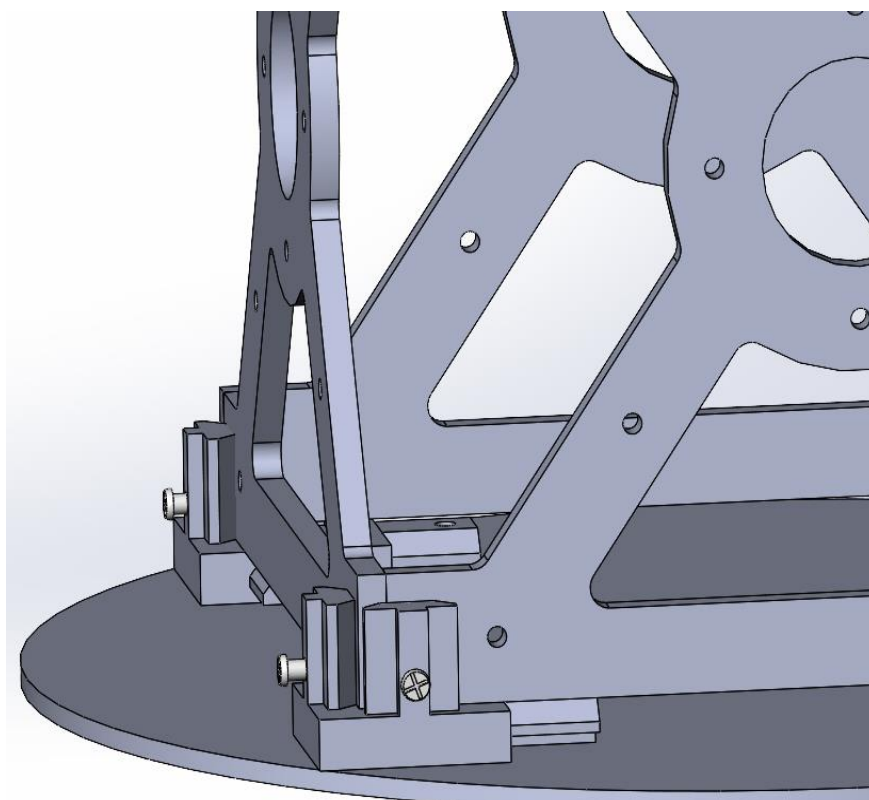


Рисунок 18 – Вид крепления корпуса на подвес

Благодаря механизму движения подвес может совершать наклон до 60 градусов и поворот на 360 градусов. Крепёжные элементы удерживают спутник во время тестирования, что даёт провести более точные испытания.

### **2.3.2 Исследование нагрузки на двухосевой подвес**

Подвес должен обладать достаточным запасом прочности. Он должен выдерживать нагрузку от спутников стандарта CubeSat 3U. Поэтому в ходе проектирования в программе SolidWorks была проведена симуляция нагрузки на подвес. Для выполнения исследования была создана программным путём сетка исследования на основе, воздействующей на подвес нагрузки (Рисунок 19).

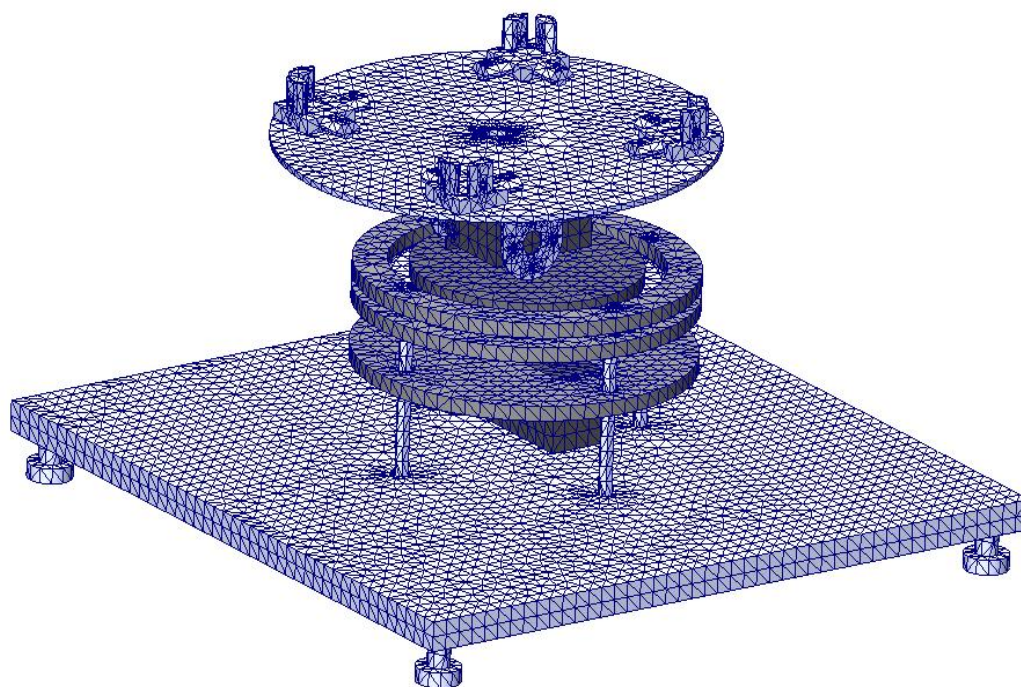


Рисунок 19 – Вид нанесения сетки исследования на 3D модель подвеса в САПР SolidWorks

На подвес воздействовала нагрузка равной нагрузке от спутника стандарта CubeSat 3U. Результат симуляции изображён на рисунке 20.

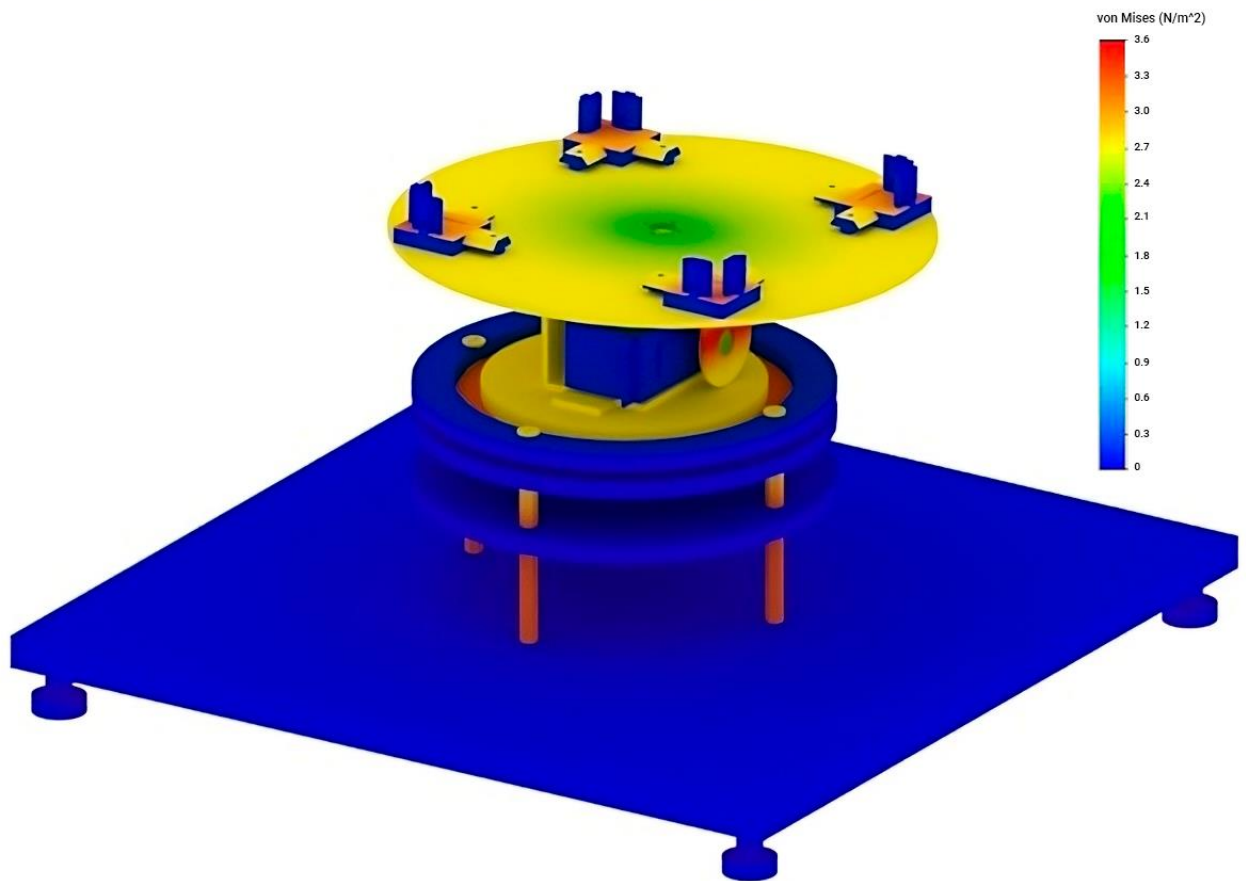


Рисунок 20 – Вид результирующей нагрузки на подвес полученный в САПР SolidWorks

Подвес не подвергся деформации и остался с запасом прочности. Можно сделать вывод, что подвес способен выдержать нагрузку от спутника CubeSat 3U.

Таблица 1 – Результаты проведения анализа нагрузки на двухосевой подвес

Режим	Нагрузка, Н/м <sup>2</sup>	Направление Y, %
1	3,007	0,001105
2	2,021	0,000782
3	3,291	0,001228
4	2,501	0,000810
5	3,191	0,001199
6	2,781	0,000861
7	1,632	0,000378
8	0,456	0,000011
9	0,467	0,0000012
10	0,389	0000001
11	1,009	0,000192
12	1,106	0,000198
11	0,007	1,76E-05

Представленная таблица содержит информацию о нагрузках, которые возникают в подвесе по оси Y. Эти данные отражают реальные нагрузки, с которыми сталкивается спроектированное устройство. Максимальная нагрузка, которая была зафиксирована, составляет всего 0,001228% от полного диапазона частот.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что нагрузка на подвес не превышает запаса его прочности, из этого следует что, подвес не подвергнется деформации. Таким образом, данная конструкция отвечает прочностным требованиям.

### 2.3.3 Программное обеспечение для управления подвеса

Для управления работы подвеса был выбран микроконтроллер типа Atmega328P. При помощи него осуществилась связь между ПК и сервоприводами, которые установлены на подвесе. Программное обеспечения было разработано на основе существующих библиотек платформы Arduino. Для программирования использовалось одноименное программное обеспечение, позволяющее в режиме оконного редактора (рисунок 21) писать код для управления подвесом.



```
rotation_table | Arduino 1.8.19
Файл Правка Скetch Инструменты Помощь

rotation_table
1 #include <Servo.h>
2
3 Servo myservo1,myservo2;
4 void setup() {
5   myservo1.attach(9);
6   myservo2.attach(10);
7 }
8
9 void loop() {
10  rotate(myservo1,0,45);
11
12  rotate(myservo2,90,30);
13  rotate(myservo2,30,90);
14
15  rotate(myservo1,45,90);
16
17  rotate(myservo2,90,30);
18  rotate(myservo2,30,90);
19
20  rotate(myservo1,90,135);
21
22  rotate(myservo2,90,30);
23  rotate(myservo2,30,90);
24
25  rotate(myservo1,135,180);
26
27  rotate(myservo2,90,30);
28  rotate(myservo2,30,90);
29
30 }
```

Рисунок 21 – Вид оконного редактора Arduino

Также использовалась бесплатная программа Pronterface, благодаря которой контролируются движения двухосевого подвеса (рисунок 22).

Pronterface – приложение с открытым исходным кодом для Windows, позволяющее настроить параметры работы 3D принтера.

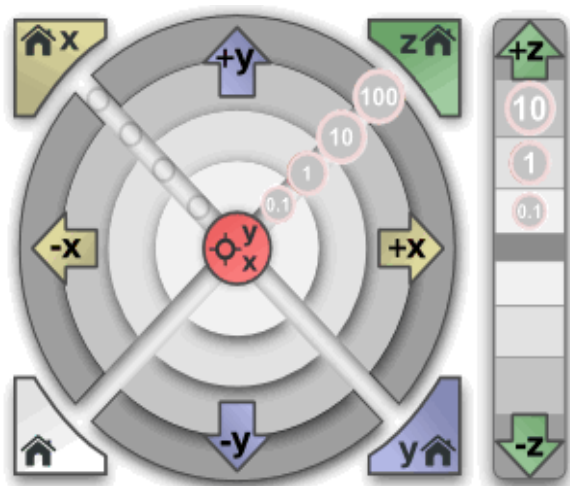


Рисунок 22 – Вид интерфейса программы Pronterface для управления подвесом

При помощи кнопок на интерфейсе происходит управление подвесом. Кнопки +X и -X управляют поворотом подвеса от 0 до 360 градусов. Кнопки +Y и -Y управляют наклоном подвеса от 0 до 45 градусов. Угловые кнопки X и Y возвращают подвес в его начальное положение. Кнопки с 0.1, 1, 10 и 100 позволяют более точно задать угол наклона или поворота для подвеса.

Для датчика угла наклона выводится отдельный интерфейс (рисунок 23), где отображается, на какой угол наклонён подвес.

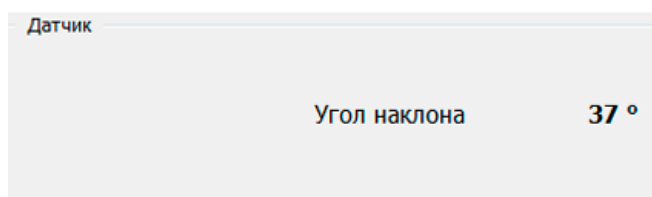


Рисунок 23 – Вид интерфейса датчика угла наклона

Таким образом для управления наклоном и поворотом двухосевого подвеса используется программа Pronterface. Выводится отдельный интерфейс независимого датчика угла наклона, где отображается угол наклона подвеса, что позволяет более точно контролировать его угол наклона.

## 2.4 Подбор компонентов для реализации стенда

Для реализации подвеса в сборе был осуществлён подбор элементов на рынке оборудования. Главной характеристикой была частота, в диапазоне которой работают спутники стандарта CubeSat. Частота находится в пределах от 430 до 440 МГц [11]. Дополнительно для аттенюатора рассматривалась способность изменять коэффициент затухания, чтобы выставлять затухания для нужной высоты на который находится спутник. Так же учитывалось электрическое сопротивление, которым обладают компоненты стенда. Исходя из этого был произведён подбор на рынке приборов для следующих компонентов:

1. Аттенюатор;
2. Эквивалент антенны;
3. Высокочастотный коммутатор;
4. УКВ генератор;
5. Трансивер.

В качестве аттенюатора были рассмотрены различные модели, но наиболее подходящей является модель AT-108 RF ESC (Рисунок 24). Выбор основывается, на том, что данный образец обладает особенностью регулировки затухания и подходящим диапазоном частот.



Рисунок 24 – Вид аттенюатора AT-108 RF ESC

Характеристики аттенюатора АТ-108 RF ESC:

1. Рабочее напряжение: 5 В;
2. Напряжение управления: 0-5 В;
3. Диапазон частот: 200-2300 МГц;
4. Вносимое затухание: 10 дБ;
5. Сопротивление: 50 Ом.
6. Способность изменять коэффициент затухания.

В ходе подбора различных эквивалентов антенны была выбрана модель DL-30A (рисунок 25). Выбор остановлен на этой модели в соответствии с подходящим диапазоном частот.



Рисунок 25 – Вид эквивалента антенны DL-30A

Характеристики эквивалента антенны DL-30A:

1. Тип товара: DL-30A;
2. Модель: DL-30A;
3. Размер: 7,2x3,4 см/2,8x1,3 дюйма;
4. Частота: 0-600 МГц;
5. Мощность: 15 Вт (AVG)/100 Вт (пиковая);
6. Сопротивление: 50 Ом;
7. КСВ: менее 1,15;
8. Разъем: PL259-M;
9. Применимые модели: для NISSEI RS-50 RS-40 RX-503 RX-502.

При подборе высокочастотного коммутатора была выбрана модель HPSW-HP (рисунок 26) из-за наличия подходящего диапазона частот и сопротивления, которым обладает прибор.

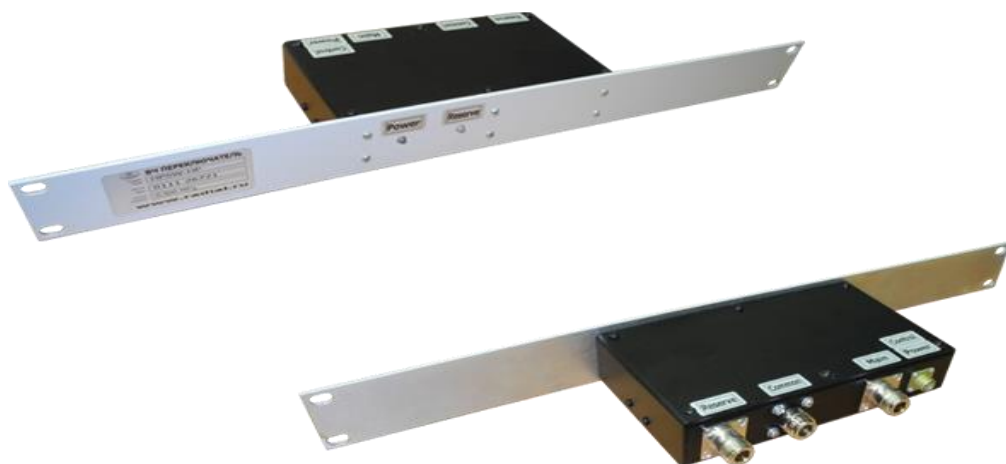


Рисунок 26 – Вид высокочастотного коммутатора HPSW-HP

Характеристики высокочастотного коммутатора HPSW-HP:

1. Модель: HPSW-HP;
2. Рабочая полоса: 0 – 500 МГц;
3. Сопротивление: 50 Ом;
4. Затухание (потери): не более 0.2 Дб;
5. Развязка: не менее, 30 Дб;
6. Ксв: не более 1.2;
7. В диапазоне: 0-700 МГц;
8. Время переключения: не более, 50 мс;
9. Масса: 0,76 кг.

В результате рассмотрения различных моделей в качестве УКВ генератора был выбран TZT FM (рисунок 27) так как он обладает подходящим диапазоном частот.





Рисунок 27 – Вид УКВ генератора TZT FM

Характеристики УКВ генератора TZT FM:

1. Измерение частоты: 10 м - 900 м;
2. Измерение CTCSS: 50 МГц - 1260 МГц, стандартный цифровой и аналоговый CTCSS;
3. Частотный диапазон генератора радиочастотных сигналов: 1 м - 470 м;
4. Тоновая Модуляция: 50 МГц ~ 1260 МГц CTCSS;
5. Рабочий ток: 8-12 В постоянного тока;
6. Рабочий ток: 200 мА;
7. Размер: 160x160x65 мм;
8. Сопротивление: 50 Ом.

В качестве трансивера была выбрана модель ICOM IC-R75 (рисунок 28), входящая в состав Амурского центра управления полётом, который работает в Амурском государственном университете.



Рисунок 28 – Вид трансивера ICOM IC-R75

Характеристики трансивера ICOM IC-R75:

1. Диапазон: 0.03-1060 МГц с шагом от 1 Гц;
2. Виды модуляции: SSB (USB, LSB), CW, RTTY, AM, S-AM, FM;
3. Количество каналов памяти 101 (99 стандартных, 2 границы сканирования);
4. Потребляемый ток: 2.0 А;
5. Диапазон рабочих температур: от 0 до 50. С;
6. Габариты и вес: 241х94х229 мм, 3.0 кг;
7. Имеет 2 антенных разъема: SO-239 и RCA;
8. Имеет часы и таймер автоматического выключения.

На основе осуществлённого подбора представлена схема стенда на рисунке 29.

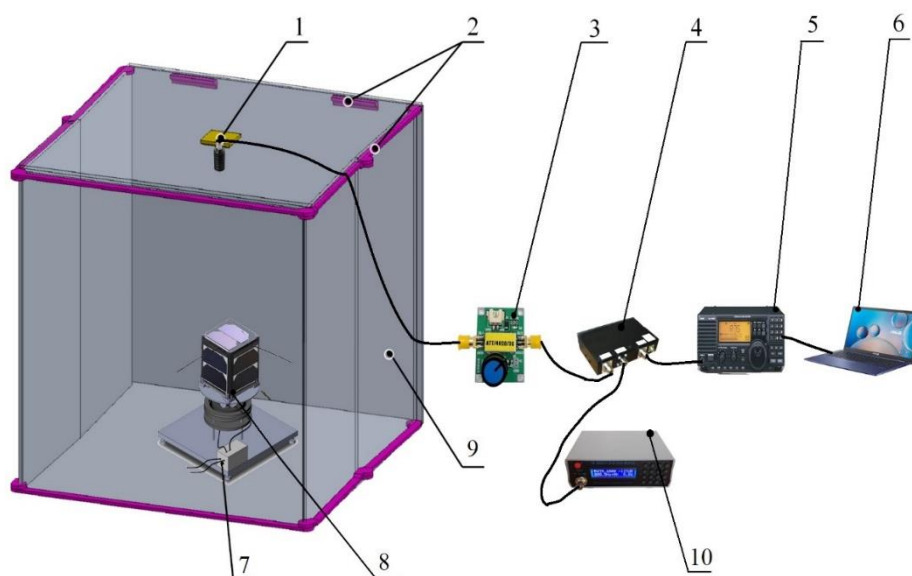


Рисунок 29 – Общий вид стенда на основе выбора компонентов

На рисунке 29 изображён общий вид стенда, в состав которого входят:

1. Крепление для антенны;
2. Элементы для складывания камеры;
3. Атенюатор AT-108 RF ESC;
4. Высокочастотный коммутатор HPSW-HP;
5. Трансивер ICOM IC-R75;
6. ПК;

7. Двухосевой подвес;
8. Спутник стандарта CubeSat;
9. Безэховая камера;
10. УКВ генератор TZT FM.

## 2.5 Расчет коэффициента ослабления передаваемого сигнала

Проектируемый стенд для проверки ЭМС должен имитировать расстояние, на котором находится спутник, поэтому для определения кратности ослабления сигнала аттенюатором, необходимо рассчитать коэффициент ослабления сигнала, исходя из условий, что спутник будет находиться на орбите. Для этого использована формула расчета коэффициента ослабления передаваемого сигнала:

$$K_{oc} = P_{изл} - (P_{пр} + G_a + G_p), \quad (1)$$

где  $K_{oc}$  – коэффициента ослабления передаваемого сигнала;

$P_{изл}$  – излучаемая мощность (Данные трансивера);

$P_{пр}$  – принимаемая мощность (Расчётные значения);

$G_a$  – коэффициент затухания от антенны (Данные антенны);

$G_p$  – коэффициент затухания на расстоянии (Расчётные значения).

Для расчета коэффициента затухания на расстоянии, использована формула:

$$G_p = 20 * \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(f) + 20 * \log_{10}(4 * \pi / c), \quad (2)$$

где:

$d$  – расстояние;

$f$  – частота;

$c$  – скорость света.

Формула принимаемой мощности:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{изл}} + G_{\text{ya}} - G_{\text{a}} - G_{\text{p}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{пр}}$  – принимаемая мощность (мощность, которую приемник получает от источника сигнала);

$P_{\text{изл}}$  – излучаемая мощность (мощность, с которой источник сигнала излучает сигнал);

$G_{\text{ya}}$  – коэффициент усиления передающей антенны (затухание сигнала, вызванное антенной передатчика);

$G_{\text{a}}$  – коэффициент затухания от антенны приемника (затухание сигнала, вызванное антенной приемника).

Для расчёта коэффициента ослабления передаваемого сигнала принята в расчёт орбита в 600 километров и трансивер NSL EyeStar S4 с частотой 420 МГц.

$$G_{\text{p}} = 20 * \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(f) + 20 * \log_{10}(4 * \pi / c), \quad (4)$$

где  $d = 600$  км,  $f = 420$  МГц, и  $c$  примерно равно 299,792 км/с.

$$G_{\text{p}} = 20 * \log_{10}(600) + 20 * \log_{10}(420) + 20 * \log_{10}(4 * \pi / 299792) \quad (5)$$

$$G_{\text{p}} = 32.24 \text{ дБ}$$

Таким образом, коэффициент затухания на расстоянии составляет приблизительно 32.24 дБ.

Для измерения отношения или разницы между двумя мощностными уровнями используются децибелы, поскольку позволяют выразить изменение мощности в логарифмической форме. Более высокое значение в децибелах

указывает на большую мощность, а более низкое значение – на меньшую мощность.

Значение 32.24 дБ эквивалентно приблизительно 0.00005012 Вт.

Принимаемую мощность:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{изл}} + G_{\text{ya}} - G_{\text{a}} - G_{\text{p}} \quad (6)$$

$$P_{\text{пр}} = 1.4 \text{ Вт}$$

Расчет коэффициента ослабления передаваемого сигнала

$$K_{\text{ос}} = P_{\text{изл}} - (P_{\text{пр}} + G_{\text{a}} + G_{\text{p}}) \quad (7)$$

$$K_{\text{ос}} = 7.5$$

Таким образом, был проведён расчёт коэффициента ослабления передаваемого сигнала. Исходными данными послужила орбита 600 км и частота трансивера 420 МГц; коэффициент составляет 7.5.

В данной главе был спроектирован стенд для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat, который включает в себя безэховую камеру, двухосевой подвес, аттенюатор, УКВ генератор, трансивер, высокочастотный коммутатор и генератор помех. Стенд позволяет проводить комплексные испытания спутников стандарта CubeSat.

В результате выполненного проектирования был разработан двухосевой подвес для стенда. Подвес позволяет контролировать угол наклона спутника от 0 до 60 градусов и угол поворота от 0 до 360 градусов. Для управления подвесом используется программа Pronterface.

Была проведена симуляции нагрузки на подвес в программе SolidWorks. Из результатов можно сделать вывод, что изделие не подвергается деформации и максимальная нагрузка составляет 12,28% на всем диапазоне частот. Из этого

следует что нагрузка на подвес не превышает запаса его прочности. Таким образом, данная конструкция отвечает прочностным требованиям.

Для определения во сколько раз аттенюатор должен ослабить сигнал был проведён расчёт коэффициента ослабления передаваемого сигнала. Он составил 7.5 для орбиты 600 км и частоты трансивера 420 МГц.

### 3 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Помещения, рабочее место и оборудование должны соответствовать правилам безопасности и требованиям для обеспечения безопасных условий труда.

#### **3.1 Требования охраны труда при работе со станком**

Персонал, работающий за станком, должен пройти обучение по технике безопасности для работы с электрооборудованием, иметь допуск не менее 2-го разряда по электробезопасности. Допускающий работу, который является старшим смены, должен иметь не менее 3-го разряда по электробезопасности.

Перед началом работы специалист должен выполнить следующие шаги:

1. Расписаться в журнале техники безопасности;
2. Сообщить старшему по смене о начале подготовки;
3. Подготовить станок в соответствии с инструкцией эксплуатации, формуляром и другими требованиями;
4. Убедиться в устойчивости станка на столе;
5. Убрать с рабочего стола предметы, не относящиеся к работе со станком;
6. Проверить контакты на плотность соединения и наличие повреждений в электропроводах станка;
7. Надеть средства индивидуальной защиты, резиновые перчатки и рабочий халат;
8. Разместить диэлектрический коврик для коллективной защиты.

В случае нарушения указанных требований необходимо сообщить о несоответствиях старшему по смене, устранить неполадки с помощью ремонтной оперативной бригады. Работу можно начинать только после получения разрешения от старшего по смене.

После включения станка необходимо соблюдать следующие требования охраны труда:

1. Запрещается приближаться к станку без головного убора;
2. Запрещается работать за станком без специальной рабочей одежды;

3. Запрещается прикасаться к движущимся деталям стенда;
4. Запрещается снимать спутник с платформы;
5. Запрещается класть любые предметы на работающий стенд;
6. Запрещается выключать стенд без указания от старшего по смене.

В случае аварийной ситуации требуется немедленно отключить стенд от электропитания и при необходимости, оказывайте помощь работнику.

По завершении испытаний необходимо выключить программу и затем отключить стенд от электросети.

### **3.2 Основные понятия электробезопасности**

Электробезопасность – это система мероприятий и правил, направленных на предотвращение травм и несчастных случаев, связанных с использованием электроустановок.

Зона контроля – область, где возможно присутствие напряжения и где необходимо соблюдать особые меры предосторожности.

Изоляция – процесс разделения электрических частей от окружающей среды или от других частей установки для предотвращения возникновения опасности при контакте.

Заземление – установка надежного соединения между электрической системой и землей для предотвращения накопления опасного напряжения.

Изоляционные средства – материалы или приспособления, используемые для предотвращения проникновения электрического тока, такие как изоляционные перчатки, коврики и штанги.

### **3.3 Технические меры и средства защиты, обеспечивающие безопасность при работе с электроустановками**

Перед началом работы с электроустановкой оператор должен освободить рабочее место от ненужных объектов. Затем необходимо проверить целостность изоляции электропроводов и убедиться, что они не перекручены или в натянутом состоянии.

При работе со стендом разрешается находиться на любом расстоянии от электрического оборудования, но контакт с ним должен быть исключен. Кроме



того, электропровода должны быть расположены вне досягаемости оператора.

Для исключения прямого контакта принимают ряд следующих мер:

1. Изоляция токоведущих частей;
2. Ограждения и установка барьеров;
3. Отведение проводов в зону недосягаемости;
4. Применение дополнительной изоляции силовой линии;
5. Применение материалов изоляции, выдерживающей большое количество циклов сгибания;
6. Применение изоляции, препятствующей скручиванию проводов;
7. Использование средств индивидуальной защиты и диэлектрических покрытий.

В данной главе были изложены требования по обеспечению безопасности труда при работе со стендом. Подробно описан процесс взаимодействия работника с данным оборудованием, а также представлены технические меры и средства защиты, направленные на обеспечение безопасной работы с электрооборудованием.

#### 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

В данной главе будет представлен расчёт себестоимости изготовления двухосевого стендового подвеса для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat.

##### 4.1 Затраты на материалы, комплектующие и на услуги по изготовлению

В этот пункт входят затраты на покупку материалов, комплектующих и расходы на услуги для создания стенда.

Таблица 2 – Затраты на материалы и комплектующие.

№	Наименование товара	Количество	Сумма, у.е.
1	Сервомотор JX Servo 5521MG-180	2	2060
2	Подшипник HCN 604-2RS	1	500
3	Пластмассовые платформы	5	1600
4	3-х стороннего соединители	4	1800
5	Микроконтроллер Arduino	1	2050
6	Драйвер моторов Arduino	2	870
7	Стенки камеры 2000x2000	6	27 000
8	Экранирующая краска МАХ54	5	40 000
9	Аттенюатор AT-108 RF ESC	1	2500
10	УКВ генератор TZT FM	1	21 500
11	Высокочастотный коммутатор HPSW-HP	1	15 000
12	Эквивалента антенны DL-30А	1	4500
13	Фурнитурные соединения камеры	12	18 000
Итого:			137 380

В итоговую стоимость затрат на покупку комплектующих не вошли трансивер и ПК, которые уже имеются в амурском центре управления полётами. Для изготовления отдельных деталей стенда были заказаны услуги у частной компании по фрезерованию, нарезанию резьбы, сверлению. Стоимость данной услуги составила 35000 у.е.

#### 4.2 Расчёт основной заработной платы

В данном пункте описан расчет основной заработной платы научных и инженерно-технических работников, которые приняли участие в данной работе.

Научный руководитель работает в течение пяти рабочих дней в неделю по 8 часов в день.:

$$T_m = N_m \cdot N_n \cdot N_d = 4 \cdot 5 \cdot 8 = 160(\text{ч.}), \quad (8)$$

где  $N_m$  – количество недель за месяц;

$N_n$  – количество рабочих дней в недели;

$N_d$  – количество рабочего времени в одном дне;

Оклад за месяц научного руководителя определяется:

$$Z_M = Z_6 \cdot k_p = 18000 (\text{у.е.}), \quad (9)$$

где  $Z_6$  – базовый оклад равный 15000(у.е.);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,2 (для Благовещенска).

Научный руководитель затратил 30 дней работы над данным проектом, тогда основная заработная плата составила:

$$Z_{\text{осн(рук.)}} = k_p \cdot t_{\text{изд}} \cdot Z_ч = 1,2 \cdot 160 \cdot 400 = 57\,600(\text{у.е.}), \quad (10)$$

где  $k_p$  – 1,2 - коэффициент, который учитывает премии;

$t_{\text{изд}}$  – трудоемкость изготовления изделия;

$Z_{\text{ч}}$  – тарифная ставка за час работы.

Так же нужно учитывать дополнительную заработную плату, которая составляет 8% от основной ЗП:

$$Z_{\text{доп}} = 0,08 \cdot Z_{\text{осн}} = 0,08 \cdot 57600 = 4\,608(\text{y. e.}) \quad (11)$$

Определим сумму отчислений на социальное страхование, которое равняется 14% от суммарной ЗП:

$$Z_{\text{от}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,14 = 8\,709,12(\text{y. e.}) \quad (12)$$

Также определим оклад для работников НОЦ, инженер I категории ракетно-космической отрасли имеет часовую тарифную ставку 370 у.е. Отталкиваясь от этого, произведем расчет его заработной платы:

$$Z_{\text{осн}} = k_p \cdot t_{\text{изд}} \cdot Z_{\text{ч}} = 1,2 \cdot 72 \cdot 370 = 31\,968(\text{y. e.}), \quad (13)$$

где  $k_p$  – 1,2 - коэффициент, который учитывает премии;

$t_{\text{изд}}$  – трудоемкость изготовления изделия;

$Z_{\text{ч}}$  – тарифная ставка за час работы.

Так же нужно учитывать дополнительную заработную плату рабочим, которая составляет 8% от основной ЗП:

$$Z_{\text{доп}} = 0,08 \cdot Z_{\text{осн}} = 0,08 \cdot 31\,968 = 2\,557(\text{y. e.}) \quad (14)$$

Определим сумму отчислений на социальное страхование, которое равняется 14% от суммарной ЗП:

$$Z_{\text{от}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,14 = 4\,833(\text{y. e.}) \quad (15)$$

Все затраты разгруппированы по пунктам и представлены в таблице 3

Таблица 3 – Общая сумма затрат

Пункты затрат	Сумма, у.е.
1. Затраты на материалы и комплектующие	137 380
2. Затраты на услуги	35 000
3. Основная заработная плата	96 733
<b>Итого:</b>	<b>269 133</b>

Таким образом, в данной главе был проведен расчёт себестоимости изготовления двухосевого подвеса, показавший, что затраты на материалы и комплектующие составили 137 380 у.е., затраты на услуги сторонних организаций составили 35000 у.е., основная заработная плата работников за всё время работы над изготовлением стенда составила 96 733 у.е. Общая себестоимость составила 269 133 у.е.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были представлены различные способы реализации стендов для проверки ЭМС и методы проведения таких испытаний. Также был определен типовой состав стенда и его составляющие, рассмотрены принципы работы этих компонентов. Были проанализированы системы автоматизированного проектирования и выбрана система SolidWorks для разработки стенда.

В проектной части работы был спроектирован стенд, включающий безэховую камеру и двухосевой подвес для поворота и наклона спутника. В рамках данного проектирования были выполнены поставленные технические задачи. Был реализован двухосевой подвес в лаборатории и написан программный код для его работы. Также был проведен расчет коэффициента ослабления для заданной орбиты и частоты, он составил 7,5, а также проведена симуляция нагрузки на подвес по результатам, которой можно сделать вывод что стенд обладает достаточным запасом прочности. Для стенда были подобраны и рассмотрены комплектующие на рынке приборов.

В БЖД части работы были рассмотрены требования к охране труда при работе со стендом, а также технические меры и средства защиты, обеспечивающие безопасность при работе с электроустановками и электрооборудованием. Это позволяет обеспечить безопасные условия для работника, взаимодействующего со стендом.

В экономической части работы был проведен расчет себестоимости изготовления двухосевого подвеса. Затраты на материалы и комплектующие составили 137 380 у.е., затраты на услуги сторонних организаций составили 35000 у.е., а основная заработная плата работников за время работы над изготовлением стенда составила 96 733 у.е. Общая себестоимость проекта составила 269 113 у.е.

На основе анализа результатов выполнения ВКР можно сделать следующие выводы:

1. Был разработан стенд для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat включающий в себе складывающуюся безэховую камеру, двухосевой подвес позволяющий осуществлять наклон спутника до 70 градусов и вращение на 360 градусов. Осуществлён подбор радиоэлектронных компонентов стенда работающие в диапазоне от 430 МГц до 440 МГц. Для определения во сколько раз аттенюатор должен ослабить сигнал был проведён расчёт коэффициента ослабления передаваемого сигнала, он составил 7.5.

2. Проведён расчёт нагрузки на подвес. Максимальная задействованная нагрузка составляет 0,001228 %. Из этого следует что подвес обладает достаточным запасом прочности, чтобы выдержать нагрузку от спутника.

3. Экономический расчет затрат на изготовление спроектированного стенда для проверки электромагнитной совместимости бортового оборудования спутников стандарта CubeSat составил 269 113 у.е., что является приемлемой стоимостью.

Таким образом, цель данной выпускной квалификационной работы достигнута.

Мероприятия, в рамках которых проводилась апробация бакалаврской работы представлены в приложении А.

На двухосевой подвес подана заявка на полезную модель 2023114805 от 06.06.2023 г.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электромагнитная совместимость [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://newpribor.ru/art/elektromagnitnaya-sovmestimost-\(.html](https://newpribor.ru/art/elektromagnitnaya-sovmestimost-(.html) (Дата обращения 28.05.2023).

2. Электромагнитная совместимость технических средств [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://portal.tpu.ru/SHARED/u/ULTRATONE/uchebnaya\\_rabota/Tab/Lecture.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/u/ULTRATONE/uchebnaya_rabota/Tab/Lecture.pdf) (Дата обращения 28.05.2023).

3. Испытания на ЭМС, электромагнитная совместимость технических средств [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pribor-test.ru/ems.html> (Дата обращения 28.05.2023).

4. Патент на полезную модель № 119963 U1 Российская Федерация, МПК H04B 17/00. Имитационный стенд для испытаний и обеспечения электромагнитной совместимости средств радиосвязи на подвижном объекте: № 2011135520/07: заявл. 25.08.2011: опубл. 27.08.2012 / В. Н. Ершов, В. И. Васильев, А. М. Иванов [и др.] ; заявитель Закрытое акционерное общество "Проектно-конструкторское бюро "РИО", Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Военный учебно-научный центр Военно-морского флота "Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского союза Н.Г.Кутузова". – EDN OFNFRQ.

5. Патент № 2374654 C2 Российская Федерация, МПК G01R 29/08. Способ оценки электромагнитной совместимости корабельных технических средств и аппаратурный комплекс для его реализации: № 2007149436/09 : заявл. 27.12.2007: опубл. 27.11.2009 / А. И. Горшков, Е. А. Свядоц, А. М. Вишневский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский институт имени акад. А.Н. Крылова (ФГУП ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова). – EDN ZJWMKD.



6. Патент № 2656095 С2 Российская Федерация, МПК H04B 10/25. Испытательный стенд ЭМС, включающий в себя испытываемое оборудование, предназначенное для установки на летательном аппарате : № 2015150462 : заявл. 25.04.2014 : опубл. 31.05.2018 / Р. Сальватж, С. Лэр. – EDN VTUDXQ.

7. Патент № 2497282 С9 Российская Федерация, МПК H04B 17/00. Способ оценки электромагнитной совместимости бортового оборудования в составе летательного аппарата в диапазоне частот от 10 кГц до 400 МГц : № 2012107837/07 : заявл. 02.03.2012 : опубл. 27.10.2013 / В. С. Абрамов, С. В. Исаков, Е. А. Куравская, Н. В. Федорова ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России). – EDN FYXMFV.

8. Патент № 2697810 С2 Российская Федерация, МПК G01R 31/00. Способ оценки электромагнитной совместимости бортового радиоэлектронного оборудования : № 2017139707 : заявл. 14.11.2017 : опубл. 20.08.2019 / С. В. Дворников, Я. А. Домбровский, С. А. Егоров [и др.] ; заявитель федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного" Министерства обороны Российской Федерации, Федеральная служба по техническому и экспериментальному контролю Федеральное государственное унитарное предприятие "ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ". – EDN AUGJZL.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611015 Российская Федерация. Метод оценки электромагнитной совместимости бортового оборудования РСБН и посадки РЭС сотовых систем СПР общего пользования федерального стандарта GSM-900 : № 2021610261 : заявл. 11.01.2021 : опубл. 20.01.2021 / Д. Н. Евсеенко, В. Ю. Лакиза, Д. И. Лампига, Н. А. Пинаев. – EDN GSUDBV.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021681701 Российская Федерация. Программа расчета экрана бортовой

кабельной сети в интересах электромагнитной совместимости: № 2021681302 : заявл. 20.12.2021 : опубл. 24.12.2021 / А. В. Малеев, М. А. Караваев. – EDN KEGGYZ.

11. Государственная комиссия по радиочастотам [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://digital.gov.ru/ru/documents/4776/?utm\\_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f#tdocumentcontent](https://digital.gov.ru/ru/documents/4776/?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f#tdocumentcontent) (Дата обращения 28.05.2023).

12. ГОСТ ИЕС/TS 61000-1-2-2015 Издания. Методология достижения функциональной безопасности электрических и электронных систем, включая оборудование, в отношении электромагнитных помех Межгосударственный Стандарт 2016 год.

13. ГОСТ 30318-95 Издания. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков Межгосударственный стандарт 1996 год.

14. ГОСТ Р 50414-92 Издания. Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для испытаний. Камеры экранированные. Классы, основные параметры, технические требования и методы испытаний Межгосударственный Стандарт 1997 год.

15. ГОСТ Р 50652-94 Издания. Совместимость технических средств электромагнитная устойчивость к затухающему колебательному магнитному полю Межгосударственный Стандарт 1995 год.

16. Атенюатор АТ-108 RF ESC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://baltic-signal.ru/catalog/accessories/attenuators/> (Дата обращения 28.05.2023).

17. Атенюаторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://modultech.ru/opticheskie-attenyuatory/> (Дата обращения 28.05.2023).

18. Сервопривод JX Servo PDI-5521MG-180 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://supereyes.ru/catalog/Servoprivodi/Servoprivod\\_JX\\_Servo\\_PDI\\_6221MG\\_180\\_20\\_35\\_kg\\_s\\_sm/](https://supereyes.ru/catalog/Servoprivodi/Servoprivod_JX_Servo_PDI_6221MG_180_20_35_kg_s_sm/) (Дата обращения 28.05.2023).

19. МАХ54 экранирующая краска [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neokip.ru/max54-ekraniruyushchaya-kraska-s-maksimalnym-ekranirovaniem/> (Дата обращения 28.05.2023).

20. Эквивалента антенны DL-30А [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sicom.ru/catalog/antenny-i-afu/filtr/sirus-dl30a.html> (Дата обращения 28.05.2023).

21. Патент № 2071224 С1 Российская Федерация, МПК Н04В 1/72, Н01Р 1/24. Настраиваемый эквивалент антенны : № 94008988/09 : заявл. 15.03.1994 : опубл. 27.12.1996 / В. Ю. Бабков, А. А. Петухов, В. А. Подымов ; заявитель Военная академия связи. – EDN ZNSTCA.

22. Авторское свидетельство № 327544 А1 СССР, МПК Н01Q 1/26. Эквивалент антенны : № 1307663/26-9 : заявл. 03.03.1969 : опубл. 26.01.1972 / А. Г. Зраковский. – EDN CNGWRC.

23. Полезный и простой эквивалент нагрузки антенны для настройки радиопередатчиков и антенно-фидерных систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hobby.wikireading.ru/15357> (Дата обращения 28.05.2023).

24. Ультракоткие волны (УКВ) радиоволны с длиной волны от 1 до 10 м [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mobilradio.ru/information/vocabulary/ultra-short-waves.htm> (Дата обращения 28.05.2023).

25. Высокочастотный коммутатор НPSW-HP [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://radial.ru/catalog/accessories/sw/hpsw-hp/> (Дата обращения 28.05.2023)

26. Антенный эквивалент [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://polislov.ru/antennyj-ekvivalent/> (Дата обращения 28.05.2023).

27. Стецук, О. С. Проблема электромагнитной совместимости, оценка зон влияния и электромагнитной совместимости методом виртуальных трехмерных структур / О. С. Стецук // Инновационные проекты и технологии в транспортной отрасли и промышленности : сборник научных статей аспирантов и студентов университета / Под редакцией В. Т. Черемисина. Том Выпуск 11. – Омск :

Омский государственный университет путей сообщения, 2009. – С. 73-78. – EDN VLEVJG.

28. Гайнутдинов, Р. Р. Методология обеспечения внутрисистемной электромагнитной совместимости бортового оборудования беспилотных летательных аппаратов / Р. Р. Гайнутдинов, С. Ф. Чермошенцев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2016. – № 4. – С. 155-160. – EDN YFSUZR.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Апробация выпускной квалификационной работы:

1. Конференция «День науки – 2023» Амурского государственного университета.
2. Конференция «Молодежь XXI века: шаг в будущее – 2023» Амурского государственного университета.