

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Политехнический институт  
институт  
Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.В. Кузовников  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Разработка технологии по защите бортовой кабельной сети от острых кромок»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств»  
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технологии производства космических аппаратов»  
код и наименование магистерской программы

Руководитель	_____	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, доцент	<u>Г.В. Двирный</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Д.В. Бабушкина</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	инженер по качеству цех 037 АО «РЕШЕТНЕВ»	<u>Ю.А. Петрова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, доцент	<u>В.Е. Чеботарев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2024



Студенту: Бабушкиной Дарье Валерьевне

Группа: MT22-04M Направление: 15.04.05

номер код  
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

наименование

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка технологии по защите бортовой кабельной сети от острых кромок».

Утверждено приказом по университету от 08.11.2022 № 18281/с

Руководитель ВКР: Г.В.Двирный доктор технических наук, доцент межинститутской базовой кафедры «Прикладная физика и космические технологии»

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР:

ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха.

ГОСТ Р ИСО 14644-2-2001 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия.

ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3.

ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4.

ГОСТ Р 56530-2015 «Совместимость космической техники электромагнитная». Общие требования к бортовой кабельной сети космической техники.

ГОСТ 2.051-2006 «Единая система конструкторской документации». Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052-2006 «Единая система конструкторской документации». Электронная модель изделия. Общие положения.

ОСТ 92-300-92 «Промышленная чистота». Общие требования.

ОСТ 92-8584-2003 «Кабели». Монтаж и способы заделки.

ОСТ 92-8730-82 «Монтаж бортовой кабельной сети». Технические требования.

СТП 107-70-2008 «Система менеджмента качества». Обеспечение культуры производства.

154 ТУ 087 «Монтаж бортовой кабельной сети»

154 ТУ 027 «Кабели». Общие требования к изготовлению, приемке и методам испытаний.

Перечень разделов МД.

1 Конструктивно-компоновочная схема космического аппарата.

2 Чистые помещения.

3 Бортовая кабельная сеть.

4 Проработка новой технологии монтажа бортовой кабельной сети.

Перечень графического материала представлен в виде слайдов презентации в количестве 15 штук.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

Г.В. Двирный  
\_\_\_\_\_

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

Д.В. Бабушкина  
\_\_\_\_\_

инициалы и фамилия

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Разработка технологии по защите бортовой кабельной сети от острых кромок» содержит 73 страницы текстового документа 5 таблиц, 26 иллюстраций и 29 использованных источников.

**КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, ЧИСТОЕ ПОМЕЩЕНИЕ, БОРТОВАЯ КАБЕЛЬНАЯ СЕТЬ, МОНТАЖ КАБЕЛЯ, СТЯЖНЫЕ ХОМУТЫ, 3D МОДЕЛЬ.**

Объект исследования – технология изготовления и монтажа бортовой кабельной сети космического аппарата.

Цель работы:

- проработка технологии изготовления и монтажа бортовой кабельной сети космического аппарата;
- разработка новой технологии монтажа бортовой кабельной сети космического аппарата.

В процессе исследований была проанализирована структура входных данных на стадии разработки конструкции 3D модели бортовой кабельной сети, рассмотрена технология изготовления трехмерной низкочастотной бортовой кабельной сети на полномасштабном макете изделия, а также монтаж трехмерной низкочастотной бортовой кабельной сети.

Была предложена технология монтажа бортовой кабельной сети- с помощью стяжных хомутов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Конструктивно-компоновочная схема космического аппарата.....	10
1.1 Факторы определяющие конструктивно-компоновочную схему космического аппарата.....	10
1.2 Модульное построение космического аппарата.....	12
1.3 Исполнение космического аппарата.....	13
1.4 Сравнение герметичного и не герметичного исполнения космического аппарата.....	21
2 Чистые помещения.....	23
2.1 Основные понятия.....	24
2.2 Создание чистых помещений.....	24
2.3 Требования к чистым помещениям.....	25
2.4 Классификация чистых помещений.....	26
2.5 Этапы создания чистого помещения.....	27
2.6 Обеспечивающее оборудование.....	27
2.7 Оборудование Главного механика.....	28
2.8 Система подачи воздуха.....	28
2.9 Документация для чистых помещений.....	29
2.10 Технологическая одежда.....	32
2.11 Контроль чистых помещений.....	33
2.12 Состояние чистого помещения.....	34
2.13 Требования безопасности в чистых помещениях.....	34
3 Бортовая кабельная сеть космического аппарата.....	36
3.1 Новые требования к изготовлению бортовой кабельной сети.....	36
3.1.1 Новые технологии при изготовлении бортовой кабельной сети.....	37
3.1.2 Этап проектирования бортовой кабельной сети.....	37
3.1.3 Особенности изготовления бортовой кабельной сети.....	38
3.1.4 Возможности при применении новой технологии изготовления бортовой кабельной сети.....	40
3.2 Отработка, предварительный и окончательный монтаж бортовой кабельной сети.....	41
3.2.1 Отработка и макетирование бортовой кабельной сети.....	41
3.2.2 Предварительный монтаж бортовой кабельной сети.....	41
3.2.3 Окончательный монтаж бортовой кабельной сети.....	43
3.3 Проектирование и разработка трехмерной модели низкочастотной бортовой кабельной сети.....	45
3.3.1 Основные положения.....	45
3.3.2 Трехмерное моделирование бортовой кабельной сети.....	46
3.3.3 Входные данные на стадии разработки конструкции	

трехмерной модели низкочастотной бортовой кабельной сети.....	51
3.3.4 Изготовление трехмерной низкочастотной бортовой кабельной сети на полномасштабном макете изделия.....	53
3.3.5 Монтаж трехмерной низкочастотной бортовой кабельной сети на изделие.....	54
3.3.6 Требования к электронным таблицам соединений.....	54
3.3.7 Требования к электронной модели трехмерной низкочастотной бортовой кабельной сети.....	55
3.3.8 Требования к полномасштабному макету изделия.....	56
3.3.9 Экономический эффект.....	56
4 Проработка новой технологии монтажа бортовой кабельной сети.....	58
4.1 Испытание хомутов на допуск к применению в составе летных изделий.....	60
4.2 Оборудование для испытаний.....	61
4.3 Порядок проведение испытаний.....	61
4.4 Результаты проведения испытаний.....	63
4.5 Заключение по результатам испытаний.....	69
Заключение.....	70
Список сокращений.....	71
Список использованных источников.....	72

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с бурным экономическим развитием ряда стран и регионов, интенсивной интеграцией этих стран в мировую экономику появилась тенденция создания региональных и национальных сетей спутниковой связи вещание со средней и малой пропускной способностью.

В настоящее время наблюдается тенденция к снижению массы искусственных спутников. Как известно, первые космические аппараты (КА) имели сравнительно небольшую массу, поскольку она ограничивалась возможностями носителя «Объект ПС-1» весил 80 кг (то есть, по современной классификации, относился к мини-спутникам), а ракета, выводившая его, изначально проектировалась как баллистическая, то есть вообще не предназначалась для вывода чего-либо на орбиту. Жёсткие ограничения по массе в то время ограничивали и номенклатуру размещаемых на КА приборов и аппаратуры, ограничивая тем самым и возможности практического использования спутника. Появление более мощных носителей позволило выводить на орбиту КА значительно большей массы и, соответственно, с большими возможностями. Последующее развитие технологий снизило массу самой используемой аппаратуры, что незамедлило сказаться на массе, габаритах, компоновочных схемах несущих её спутников. Для этого потребовалось усовершенствование платформы КА и переход с герметичной схемы исполнения КА на негерметичную, для установки более современной аппаратуры, работающей в условиях открытого космоса, и отвечающую высоким требованиям, предъявляемыми заказчиками.

Известно, что основным препятствием на пути широкого использования околоземного пространства в интересах общества сегодня являются высокая стоимость как собственно КА, так и выведения его на орбиту. Следующий по значимости фактор - длительное время создания спутника и подготовки к старту. Всё это ведёт к удорожанию конечных результатов космической деятельности. В частности, существующие сегодня программы дистанционного зондирования земли диктуют столь высокие цены на получаемую информацию, что число ее потребителей ограничивается весьма узким кругом специалистов из развитых стран. В то же время стремительное увеличение числа пользователей персональных компьютеров, нуждающихся в информации о погоде и состоянии окружающей среды, обусловили потребность в общедоступном регулярно обновляемом источнике такой информации, создание которого невозможно без использования космических средств.

Современные требования авиационной, космической, судостроительной и других машиностроительных отраслей таковы, что разработчикам, изготовителям и эксплуатантам сложных технических изделий требуется полное электронное описание БКС. Постоянная тенденция увеличению

функциональности и сложности бортовых систем требует детального представления на каждом этапе жизненного цикла БКС.

Производство бортовой кабельной продукции на предприятиях ракетно-космической отрасли в настоящее время осуществляется на основе технологических процессов, материалов, комплектующих изделий, инструментов, технологического и испытательного оборудования, которые разработаны и внедрены 20—25 лет назад для космических аппаратов с ресурсом 3-5 лет. Применяемые в ракетно-космической отрасли технологические процессы изготовления и испытаний бортовых кабелей не позволяют улучшить технические характеристики без увеличения массы, существенно снизить трудоемкость и сократить технологический цикл от разработки до выпуска готовой продукции до 4-6 месяцев, как в западных космических фирмах, например: ThalesAleniaSpace. В ракетно-космической отрасли существует необходимость модернизации производства и монтажа кабельной продукции за счет разработки и внедрения принципиально новой технологии проектирования, крепления, прокладки, изготовления и испытаний, не уступающей технологиям, применяемым западными космическими фирмами. Для решения этой проблемы предлагается при окончательном монтаже бортовой кабельной сети КА, заменить материал для крепления кабелей к элементам конструкции на более технологичный и простой в монтаже.

Одной из важнейших проблем обеспечения конкурентоспособности на мировом рынке ракетно-космической, авиационной и другой техники является минимизация габаритно-массовых характеристик не только космических аппаратов, научной и другой аппаратуры, но и бортовых кабельных сетей. Успехи и достижения в области электронных устройств и систем управления привели к тому, что бортовые кабельные сети на всех без исключения изделиях существенно увеличились в объеме и массе при функциональном усложнении и требовании по надежности.

При создании космической и авиационной техники одной из нерешенных проблем остается кабельная система. От качества кабелей и кабельной сети зависит не только текущее качество изображения, передачи информации, но и общая надежность бортовых электронных систем.

Сегодня коммерческая стоимость выведения в космос 1 кг полезной нагрузки составляет около 34 тыс. долл. Следовательно, модернизация БКС в аэрокосмической отрасли является одной из первостепенных задач. В настоящее время в России нет ни одной фирмы или организации, занимающейся комплексным решением проблем, касающихся бортовых кабелей и жгутов, хотя на Западе такие фирмы успешно работают не один десяток лет.

*Изъято 1 глава стр.10-22, 2 глава стр.23-35, 3 глава стр.36-57, 4 глава стр.58-69, согласно Приложению Б регламента размещения ВКР СФУ, по согласованию с научным руководителем*

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для снижения общей стоимости космического аппарата, предложена технология защиты бортовой кабельной сети при помощи стяжки, которая позволит уменьшить массу, сократить сроки монтажа всей бортовой кабельной сети, защитит БКС КА от порезов об острую кромку, а также надежно зафиксирует кабели на своих местах.

Еще один немаловажный момент, что снижение массы может позволить установить на борту КА дополнительную аппаратуру или увеличить дальность полета космического аппарата.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АФУ – антенно-фидерные устройства;  
БКС – бортовая кабельная сеть;  
БС – батареи солнечные;  
БТК – бюро технического контроля;  
ИД – исходные данные;  
ИИ – ионизирующее излучение;  
КА – космический аппарат;  
КБ – конструкторское бюро;  
КД – конструкторская документация;  
ККС – конструктивно-компоновочная схема;  
КИС – командно-измерительная система;  
МПН – модуль полезной нагрузки;  
МСС – модуль служебных систем;  
НКС – низкочастотная кабельная сеть;  
ОТК – отдел технического контроля;  
ПА – полиамид;  
РБ – разгонный блок;  
РН – ракетоноситель;  
РТР – ретранслятор;  
САС – срок активного существования;  
СИЗ – средства индивидуальной защиты;  
СКК – силовая конструкция корпуса;  
СОС – система ориентации и стабилизации;  
СТР – система терморегулирования;  
ТЗ – техническое задание;  
ТТП – типовой технологический процесс;  
ТУ – технические условия;  
УКИ – ускоренные климатические испытания;  
ЧЗ – чистая зона;  
ЧП – чистое помещение;  
ЭМС – электромагнитная совместимость;  
ЭО – эксплуатирующая организация;  
ЭСР – электростатический разряд.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Анурьев, В.И. справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е издание, переработанное и дополненное/ В.И. Анурьев.- М.: Машиностроение,2001.728с.
- 2 Алферов, Т. К. Технологичность конструкций изделий : справочник / Т. К. Алферов, Ю. Д. Амиров, П. Н. Волков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 368 с.
- 3 АО «ИСС имени академика М.Ф. Решетнёва» [Электронный ресурс]: Официальный сайт – Режим доступа: <http://www.iss-reshetnev.ru>
- 4 Беляков, И. Т. Общие вопросы технологии сборки, монтажа и испытаний ЛА/ под ред. И. Г. Белякова ; Москва авиац. ин-т. – Москва, 1961. – 102 с.
- 5 Беляков, И. Т. Технологическая подготовка производства ЛА / под ред. И. Т. Белякова. - Москва : авиац. Ин-т, 1981. – 280 с.
- 6 Виноградов, В.М. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / В.М. Виноградов НИЦ ИНФРА-М 2014-192с.
- 7 ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. классификация чистоты воздуха.- Введ. 01.04.2004.-Москва:ИПК Издательство стандартов,2003.-20с.
- 8 ГОСТ Р ИСО 14644-2-2001 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия.-Введ. 01.01.2003.- Москва: ИПК Издательство стандартов,2003.- 4с.
- 9 ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы испытаний.- Введ.01.10.2008.- Москва: ИПК Издательство стандартов, 2008.- 22с.
- 10 ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию.- Введ. 01.04.2003.- Москва: ИПК Издательство стандартов, 2008.- 34с.
- 11 ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. эксплуатация.- Введ. 01.01.2006.- Москва: Стандартиформ, 2005.- 30с.
- 12 ГОСТ Р ИСО 14644-6-2010 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 6. термины.- Введ.01.12.2011.- Москва: Стандартиформ,2011.- 19с.
- 13 ГОСТ Р ИСО 14644-7-2007 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 7. изолирующие устройства (укрытия с чистым воздухом, боксы перчаточные, изоляторы и мини-окружения).- Введ. 29.06.2007.- Москва: Стандартиформ, 2007.- 41с.
- 14 ГОСТ Р ИСО 14644-8-2008 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 8. классификация молекулярных загрязнений в воздухе.- Введ. 18.12.2008.- Москва: Стандартиформ,2009.- 32 с.

- 15 ГОСТ Р ИСО 14644-9-2013 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 9. Классификация чистоты поверхностей по концентрации частиц.- Введ. 22.11.2013.- Москва: Стандартиформ, 2014.- 23с.
- 16 ГОСТ 2.052-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия.- Введ. 01.09.2006.- Москва ВНИИНМАШ,2006.- 11с.
- 17 Гуцин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов/ В.Н.Гуцин.-Москва: Машиностроение,2003.-272с.
- 18 Егоров, М. Е. Технология машиностроения Учебник для втузов / М. Е. Егоров. – Москва : «Высш. Школа», 1976. – 534 с.
- 19 Костюков, Н.С. Радиационное электроматериаловедение/ Н.С. Костюков, Н.П. Антонова, М.И. Зильберман-М.: «Атомиздат»,1979
- 20 Крэсснер,Г.Н. Введение в системы космической связи/Г.Н.Крэсснер, Михаелс Дж.В.-Москва:Связь,1967.-392с.
- 21 Кузнецов, А. А. Вибрационные испытания элементов и устройств автоматики / А. А. Кузнецов. – Москва : Энергия, 1976. - 120с.
- 22 Марголит, Р.Б. Технология машиностроения: учебное пособие / Р.Б. Марголит. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 413с.
- 23 Микрин, Е.А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов: учебное пособие / Е.А. Микрин. - Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 245 с.
- 24 Новиков, М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – Москва : Машиностроение, 1960. – 592 с.
- 25 Останин, Л. М. Технологические процессы в машиностроении : курс лекций / Л. М. Останин, М. К. Юлдашев, - Казань : ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2012. – 100с. – ISBN 978-5-7882-0920-3.
- 26 Соустин, Б.П.Системы электропитания космических аппаратов/ Под ред.Решетнёва М.Ф.: учеб.пособие / Б.П.Соустин.-Новосибирск: ВО «Наука», 1994.-318с.
- 27 Тестоедов, Н. А. Экспериментальная отработка космических аппаратов на механические воздействия / Н. А. Тестоедов, Е. А. Лысенко ;Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2008. – 152 с. - ISBN 978-5-86433-354-9.
- 28 Туманов, А.В. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов:учеб.пособие / А.В.Туманов, В.В.Зеленцов, Г.А. Щеглов.-Москва:Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана,2010.-344с.
- 29 Чеботарев, В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учеб.пособие / В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко: Сиб. гос. аэрокосмич. ун–т. – Красноярск, 2011. – 488 с. - ISBN 978-5-86433-510-9

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт  
Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
подпись А.В. Кузовников  
инициалы, фамилия  
« 01 » 07 2024 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Разработка технологии по защите бортовой кабельной сети от острых кромок»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств»  
код и наименование направления

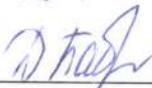
15.04.05.02 «Технологии производства космических аппаратов»  
код и наименование магистерской программы

Руководитель

  
подпись, дата  
профессор МБК ПФиКТ,  
д-р техн. наук, доцент  
должность, ученая степень

Г.В. Двирный  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

Д.В. Бабушкина  
инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата  
инженер по качеству цех  
037 АО «РЕШЕТНЕВ»  
должность, ученая степень

Ю.А. Петрова  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
подпись, дата  
профессор МБК ПФиКТ,  
д-р техн. наук, доцент  
должность, ученая степень

В.Е. Чеботарев  
инициалы, фамилия

Красноярск 2024