



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  
В.Е. Косенко  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

**в форме магистерской диссертации**

Красноярск 2023

Студенту Желтовой Валентине Олеговне

фамилия, имя, отчество

Группа MT21-04M Направление (специальность) 15.04.05

номер

код

«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

наименование

Тема выпускной квалификационной работы «Совершенствование конструкции межблочных кабелей модулей аппаратуры радионавигации космического аппарата»

Утверждена приказом по университету № 16535/с от 29.10.2021

Руководитель ВКР: А. А. Хвалько, доцент МБК ПФ и КТ, канд. физ-мат. наук

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР: конструкторская документация на межблочные кабели и жгуты для бортовой аппаратуры, конструкторская документация аппаратуры радионавигации, расчет показателей надежности аппаратуры радионавигации.

Перечень разделов ВКР:

- анализ существующих конструкций межблочных кабелей и жгутов бортовой аппаратуры. Анализ документации по расчету показателей надежности бортовой аппаратуры;
- разработка усовершенствованной конструкции межблочных кабелей модулей аппаратуры радионавигации;
- корректирующая (уточняющая) методика расчета надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов с учетом паяных соединений;
- испытания усовершенствованной конструкции межблочных кабелей в составе аппаратуры радионавигации в объеме конструкторско-доводочных испытаний.

Перечень графического материала представлен в виде слайдов презентации в количестве 17 штук.

Руководитель ВКР

подпись

А.А. Хвалько

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

В.О. Желтова

инициалы и фамилия

« 06 » сентября 2021 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) по теме «Совершенствование конструкции межблочных кабелей модулей аппаратуры радионавигации космического аппарата» содержит 79 страниц текстового документа, 23 иллюстрации, 9 таблиц, 2 приложения, 20 использованных источников.

**БОРТОВАЯ АППАРАТУРА, МЕЖБЛОЧНЫЙ КАБЕЛЬ, ГИБКИЙ ПЕЧАТНЫЙ КАБЕЛЬ, ГИБКО-ЖЕСТКАЯ ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА, КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ.**

Целью диссертационного исследования является разработка усовершенствованной конструкции межблочного кабеля модуля аппаратуры радионавигации космического аппарата.

Задачи диссертационного исследования:

- анализ существующих конструкций межблочных кабелей бортовой аппаратуры, анализ документации по расчету показателей надежности бортовой аппаратуры;
- создание усовершенствованной конструкции межблочного кабеля модуля аппаратуры радионавигации;
- развитие методики расчета надежности бортовой аппаратуры с учетом паяных соединений, апробация методики расчета с учетом паяных соединений;
- проведение испытаний усовершенствованной конструкции в составе аппаратуры радионавигации в объеме конструкторско-доводочных испытаний (КДИ).

В результате выполнения ВКР была разработана усовершенствованная конструкция межблочного кабеля модуля аппаратуры радионавигации, предложена уточненная методика расчета надежности с учетом паяных соединений, проведена апробация предложенной методики, проведены испытания усовершенствованной конструкции в составе аппаратуры радионавигации в объеме КДИ. Подтверждена надежность усовершенствованной конструкции межблочного кабеля и целесообразность внедрения при разработке бортовой аппаратуры в АО «РЕШЕТНЁВ».

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Анализ существующих конструкций межблочных кабелей и жгутов бортовой аппаратуры. Анализ документации по расчету показателей надежности бортовой аппаратуры.....	10
1.1 Анализ конструкции модулей бортовой аппаратуры.....	10
1.2 Анализ конструкции жгутов бортовой аппаратуры.....	12
1.3 Анализ конструкции плоских межблочных кабелей бортовой аппаратуры.....	14
1.4 Испытания кабелей и жгутов.....	17
1.5 Особенности конструкции аппаратуры радионавигации.....	19
1.6 Принципы обеспечения надежности бортовой аппаратуры.....	21
1.7 Расчет надежности бортовой аппаратуры космического аппарата. Моделирование надежности бортовой аппаратуры космического аппарата.....	23
1.8 Принимаемые допущения при расчете надежности.....	24
1.9 Структурные схемы надежности бортовой аппаратуры космического аппарата с учетом принятого резервирования. Структурная схема надежности аппаратуры радионавигации.....	26
1.10 Анализ расчета надежности аппаратуры радионавигации.....	29
1.11 Выводы по главе.....	33
2 Разработка усовершенствованной конструкции межблочных кабелей модулей аппаратуры радионавигации .....	34
2.1 Гибко-жесткие печатные платы.....	36
2.2 Усовершенствованная конструкция.....	39
2.3 Выводы по главе.....	41
3 Корректирующая (уточняющая) методика расчета надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов с учетом паяных соединений.....	42

3.1 Структурная схема надежности прототипа и усовершенствованной конструкции с учетом паяных соединений.....	45
3.2 Математические модели эксплуатационной интенсивности отказов прототипа и усовершенствованной конструкции с учетом паяных соединений. Расчет надежности.....	48
3.3 Выводы по главе.....	50
4 Испытания усовершенствованной конструкции межблочных кабелей в составе аппаратуры радионавигации в объеме конструкторско-доводочных испытаний.....	51
4.1 Цели и задачи конструкторско-доводочных испытаний.....	51
4.2 Объем и последовательность испытаний.....	52
4.3 Результаты испытаний.....	53
4.4 Выводы по главе.....	68
Заключение.....	69
Список сокращений.....	71
Список использованных источников.....	72
Приложение А Методика расчета надежности по программе «Автоматизированная система расчета надежности» в режиме эксплуатации.....	75
Приложение Б Результаты расчета надежности составных частей по программе «Автоматизированная система расчета надежности».....	77

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность работы.* Бортовая аппаратура (БА) является важной частью космического аппарата (КА), предназначенной для его управления, поддержания обеспечивающих систем и использования по целевому назначению на протяжении срока активного существования. Конструктивно унифицированная бортовая аппаратура состоит из набора функциональных модулей, соединённых между собой межблочными кабелями или жгутами [1].

Тип применяемых в межблочных кабелях и жгутах соединителей, способ их монтажа и заделки, тип и сечение монтажных проводов, выбор пути их прокладки и крепления оказывает существенное влияние на надежность, габариты и массу БА. Внешний вид БА с кабелями и жгутом представлен на рисунке 1.

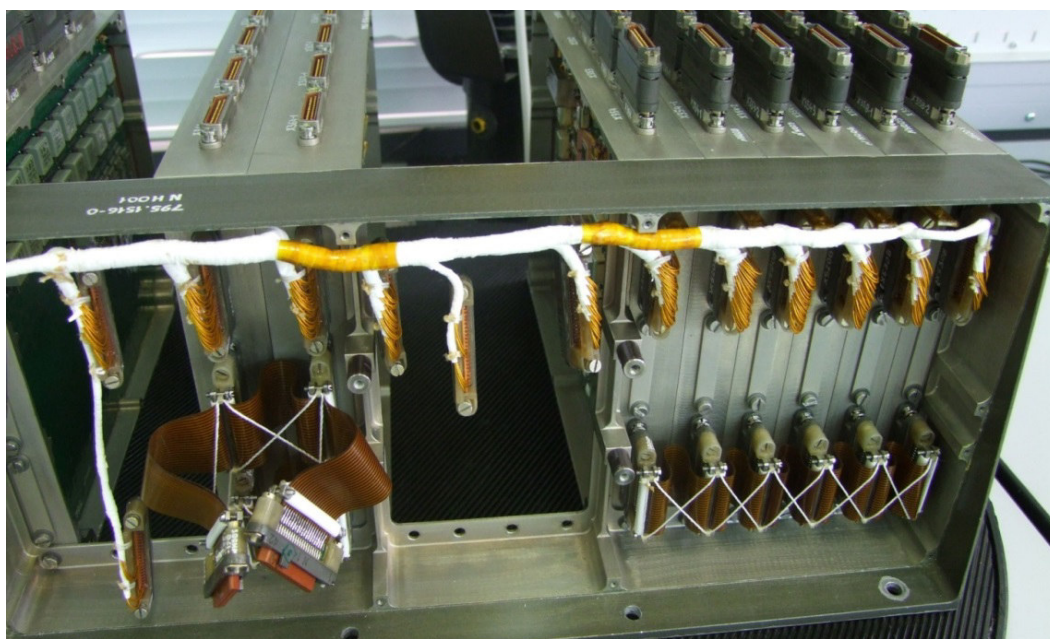


Рисунок 1 – Внешний вид БА с кабелями и жгутом

Современные тенденции развития космических систем предъявляют к КА все более высокие требования в части:

- повышения надежности и увеличения срока активного существования;
- снижения массогабаритных характеристик;
- улучшения электрических характеристик;
- снижения стоимости создания.

Эти требования определяют необходимость поиска и применения новых подходов, методов и технологий, используемых при создании БА [2].

*Целью* диссертационного исследования является разработка усовершенствованной конструкции межблочного кабеля модуля аппаратуры радионавигации космического аппарата

*Задачи* диссертационного исследования:

- анализ существующих конструкций межблочных кабелей бортовой аппаратуры, анализ документации по расчету показателей надежности бортовой аппаратуры;
- создание усовершенствованной конструкции межблочного кабеля модуля аппаратуры радионавигации;
- развитие методики расчета надежности бортовой аппаратуры с учетом паяных соединений, апробация методики расчета с учетом паяных соединений;
- проведение испытаний усовершенствованной конструкции в объеме КДИ.

*Практическая значимость* ВКР состоит в *повышении надежности* за счет уменьшения количества паяных соединений и числа соединителей, *снижения массы, сокращения производственного цикла*, за счет исключения изготовления и проведения испытаний непосредственно самих межблочных кабелей, *бортовой аппаратуры* космических аппаратов в АО «РЕШЕТНЁВ».

*Научная новизна* диссертационного исследования состоит в созданной усовершенствованной *конструкции* межблочного кабеля модуля аппаратуры



радионавигации (АРН) и аппаратуры навигации и синхронизации (АНС), разработанных уникальных авторских *топологических моделях многослойных печатных плат* в ECAD-системе Altium Designer, созданных *математических моделях расчета* вероятности безотказной работы для межблочных соединителей модуля АРН прототипа и усовершенствованной конструкции с учетом паяных соединений.

[Изъято 1 глава стр. 10 – 33, 2 глава стр. 34 – 41, 3 глава стр. 42 – 50, 4 глава стр. 51 – 68, приложение А стр. 75 – 76, приложение Б стр. 77 – 79 в соответствии с заявлением Б по согласованию с руководителем ВКР]

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования были решены следующие задачи:

- проведен анализ существующих конструкций межблочных кабелей и жгутов бортовой аппаратуры. Проанализирована документация по расчету показателей надежности бортовой аппаратуры на примере АРН;
- разработана усовершенствованная конструкция межблочных кабелей модулей АРН;
- определена корректирующая (уточняющая) методика расчета надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов с учетом паяных соединений, проведен расчет надежности прототипа и усовершенствованной конструкции с учетом паяных соединений;
- проведены испытания усовершенствованной конструкции межблочных кабелей в составе АРН и АНС в объеме КДИ, начаты предварительные испытания (При) АНС: завершены механические испытания и испытания на воздействие пониженной и повышенной температур.

Надежность усовершенствованной конструкции подтверждена, принято решение об изготовлении приборов АРН и АНС с усовершенствованной конструкцией для 11Л до завершения При. АНС для 11Л изготовлена.

Проведенный расчет надежности, как по стандартной методике, принятой для бортовой аппаратуры в АО «РЕШЕТНЁВ» в соответствии с СТП154-41-2008, так и по уточненной методике с учетом паяных соединений, показал, что надежность усовершенствованной конструкции выше, чем у прототипа. Результаты расчета надежности и сравнения усовершенствованной конструкции и прототипа представлены в таблице 9.

Усовершенствованная конструкция позволяет:

- повысить надежность бортовой аппаратуры;
- снизить массу;

- сократить производственный цикл, исключив изготовление и проведение испытаний непосредственно самих межблочных кабелей.

В ходе диссертационного исследования были опубликованы две статьи [1, 3].

Таблица 9 – Сравнение прототипа и усовершенствованной конструкции

Конструкция	R <sub>МБС ПВМ</sub>		Масса, кг	Количество	
	Стандартная методика (СТП154-41-2008)	Уточненная методика (с учетом паяных соединений)		паяных соединений, шт	СНП339-76, шт
Усовершенствованная	0,9998632	0,9845516	0,615	76	1
Прототип	0,9997912	0,8621387	0,755	380	3

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АНС - аппаратура навигации и синхронизации;

АРН - аппаратура радионавигации;

АСРН - «Автоматизированная система расчета надежности»;

ВБР - вероятность безотказной работы;

ВКР - выпускная квалификационная работа;

БА - бортовая аппаратура;

ГЖПП - гибко-жесткая печатная плата;

ГПК - гибкий печатный кабель производства АО «НПО «СПЛАВ»,

г. Тула;

ГСО – геостационарная орбита;

КА - космический аппарат;

КД - конструкторская документация;

КДИ - конструкторско-доводочные испытания;

КПА - контрольно-проверочная аппаратура;

КПЭО - комплексная программа экспериментальной отработки;

МНП - модуль навигационного приемника;

МБС ПВМ - межблочные соединители приемо-вычислительного модуля;

НУ - нормальные условия;

ПВИ - предъявительские испытания;

При - предварительные испытания;

ПО - программное обеспечение;

ПМ1- программа и методика отработочных испытаний;

Р12 – расчет надежности;

ТЗ - техническое задание;

ТУ - технические условия;

ЭД - эксплуатационная документация;

ЭСР - электростатический разряд;

ЭРИ - электрорадиоизделие.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Желтова, В. О. Совершенствование конструкции межблочных кабелей модулей бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / В. О. Желтова, Д. В. Алексеева, А. А. Хвалько // Решетнёвские чтения: материалы XXV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. В 2 частях. Ч. 1 / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2021. – С. 331–332.

2 Технология производства космических аппаратов: учебник для вузов / Н. А. Тестоедов, М. М. Михнев, А. Е. Михеев, А. К. Шатров [и др] ; Сибирский государственный аэрокосмический университет. – Красноярск, 2009. – 352 с. – ISBN 978-5-86433-404-1.

3 Желтова В.О. Совершенствование конструкции блоков бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / В. О. Желтова, Д. В. Алексеева, О.А. Климкин // Электронные средства и системы управления: материалы XVII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Ч. 1 / ТУСУР. – Томск, 2021. – С. 59–60.

4 ОСТ 92-0286-2000 Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры. Общие технические требования : взамен ОСТ 92-0286-80: дата введения III квартал 2000. – М Москва: ФГУП НИИТП, 2000 – 200 с.

5 Патраев, В. Е. Анализ надежности космических аппаратов информационного обеспечения: методические указания / В. Е. Патраев, Л. А. Семенова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2016. – 50 с.

6 Патраев, В. Е. Надежность космических аппаратов информационного обеспечения: учебное пособие / В. Е. Патраев, В. И. Халиманович; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2016. – 208 с.

7 Автоматизированная система расчета надежности электрорадиоизделий, 22 ЦНИИИ МО РФ, 2006.

8 Справочник. Надежность электрорадиоизделий. – 22 ЦНИИ МО РФ, 2006. – 641 с.

9 Справочник. Надежность ЭРИ ИП. – 22 ЦНИИ МО РФ. 2006. – 52 с.

10 СТП154-41-2008. Система менеджмента качества. Оборудование радиоэлектронное бортовое. Методика расчета надежности: дата введения 2008 / разработана АО «РЕШЕТНЁВ». – 2008. – 52 с.

11 Патент № RU 2 308 177 С2 Российская Федерация, МПК H05K 1/11 (2006.01), H01R 12/24 (2006.01). Печатный кабель (варианты) : № 2005134079/09 : заявл. 03.11.2005 : опубл. 10.10.2007 / Макаровец Н. А., Мясников А. Ю., Фанин Н. И., Красина Т. М. ; заявитель ФГУП "Государственное научно-производственное предприятие "СПЛАВ". – 8 с.

12 Патент № RU 2 554 114 С1 Российская Федерация, МПК H05K 1/11 (2006.01). Печатный кабель : № 2014111567/07 : заявл. 27.03.2014 : опубл. 27.06.2015 / Мясников А. Ю. ; заявитель ОАО "Научно-производственное объединение "СПЛАВ". – 5 с.

13 Патент № RU 112578 U1 Российская Федерация, МПК H05K 3/36 (2006.01), H05K 3/34 (2006.01), H05K 3/40 (2006.01), Соединение гибкого печатного кабеля жесткой печатной платой : № 2011131032/07 : заявл. 25.07.2011 : опубл. 10.01.2012 / Полутов А. Г., Самойлов А. Н. ; заявитель ОАО Научно-производственный комплекс "ЭЛАРА имени Г.А. Ильенко" (ОАО "ЭЛАРА"). – 12 с.

14 Патент № RU 2 435 338 С1 Российская Федерация, МПК H05K 1/11 (2006.01), H05K 3/34 (2006.01). Паяное соединение печатных плат : № 2010110923/07 : заявл. 22.03.2010 : опубл. 27.11.2011 / Долгов А. С., Архипов В. А., Архипов А. В., Сурский С. А., Краснов М. А., Смирнов П. В. ; заявитель ОАО Научно-производственный комплекс "ЭЛАРА имени Г.А. Ильенко" (ОАО "ЭЛАРА"). – 10 с.

15 Медведев А. Конструирование гибких и гибко-жестких печатных плат / А. Медведев, Г. Мылов, П. Семенов // Компоненты и технологии. –2008. – №6. – С. 147-160.

16 Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / под общ. ред. А. М. Медведева, Г. В. Мылова. М.: Группа ИДТ, 2008. 266 с.

17 Гибко-жесткие платы\_AD / Altium Designer Documentation : [сайт] – 2021. – URL: <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/designing-rigid-flex-pcb?version=21> (дата обращения: 02.10.2021).

18 154.ВВК003. Ведомость входного контроля: дата введения 1976 / разработана АО «РЕШЕТНЁВ». – 1976. – 11 с.

19 154.ТБ074. Перечень материалов, разрешенных к применению на КА, разрабатываемых АО «РЕШЕТНЁВ», и комплектующем оборудовании смежных организаций: дата введения 1998 / разработана АО «РЕШЕТНЁВ». – 1998. – 295 с.

20 154.ТБР073. Таблица гарантийных сроков на материалы: дата введения 1996 / разработана АО «РЕШЕТНЁВ». – 1996. – 46 с.



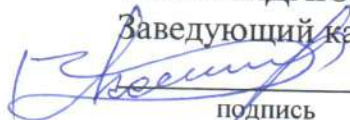
Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт .

Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



В.Е. Косенко

подпись

инициалы, фамилия

« 20 » 06 2023 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Совершенствование конструкции межблочных кабелей модулей аппаратуры  
радионавигации космического аппарата»

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

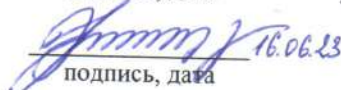
доцент МБК ПФиКТ,  
канд. физ-мат. наук

должность, ученая степень

А.А. Хвалько

инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

В.О. Желтова

инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата

ГК-начальник отделения 600  
АО «РЕШЕТНЁВ», канд. техн. наук

должность, ученая степень

И.Н. Тульскийкий

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
подпись, дата

профессор МБК ПФиКТ,  
д-р техн. наук, доцент

должность, ученая степень

В.Е. Чеботарев

инициалы, фамилия

Красноярск 2023