

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
« _____ » _____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического
аппарата с использованием фазочастотного регулирования
ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ»

тема

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

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, профессор	<u>А.К. Шатров</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Ю.А. Семейных</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	начальник конструкторского отдела, АО «НПО ПМ – Малое Конструкторское Бюро»	<u>В. В. Белоусов</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, доцент	<u>В.Е. Чеботарев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2021

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
« _____ » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Семейных Юлии Андреевне

Группа МТ 19-04М

Направление 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Специализированная программа подготовки: 15.04.05.02 «Технология космических аппаратов».

Тема магистерской диссертации (МД): «Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического аппарата с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности».

Утверждена приказом по университету № 3961/с от «22» марта 2021 г.

Руководитель МД: А.К. Шатров, д-р техн. наук, профессор, профессор МБК МБК ПФиКТ.

Исходные данные для МД: анализ основных параметров существующих систем обеспечения теплового режима (далее СОТР) космических аппаратов (далее КА) при наземной экспериментальной отработке на основе опыта создания таких систем АО «НПО ПМ МКБ» в период с 2016 г. по 2019 г. и патентов РФ №№ 2144893, 2233773, 2286291.

Перечень разделов МД:

1 Система обеспечения теплового режима космических аппаратов при наземной экспериментальной отработке.

2 Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического аппарата с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности.

3 Подтверждение полученных расчетных параметров спроектированной СОТР на готовом изделии СОТР XXXXXX.XXXX зав. № 015.

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов: слайды презентации в количестве 18 штук.

Руководитель ВКР _____ А.К. Шатров
подпись

Задание принял к исполнению _____ Ю.А. Семейных
подпись

«18» марта 2021 г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме: «Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического аппарата с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности» содержит 73 страницы текстового документа и 12 использованных источников, 2 формулы, 37 иллюстраций.

НАЗЕМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА, РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА, СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА, КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, ФАЗОЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Цель данной работы - проектирование новой системы регулирования холодопроизводительности без использования нагревателей путем введения фазочастотного регулирования в СОТР при проведении наземных испытаний и экспериментальной отработки бортовой аппаратуры КА.

Основные задачи:

1) изучение типовой структурной схемы СОТР, работы составных частей, анализ основных параметров; 2) проектирование новой СОТР с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности; 3) расчет энергоэффективности спроектированной СОТР; 4) подтверждение полученных расчетных параметров.

Актуальность темы заключается в обеспечении безаварийной работы приборов, при проведении наземных испытаний КА.

Научная новизна - применение способа регулирования холодопроизводительности в СОТР путем изменения частоты вращения электродвигателя компрессора.

Практическая значимость - усовершенствованная конструкция может быть применена при разработке новых СОТР для проведения наземных испытаний и экспериментальной отработки КА, что продлит рабочий ресурс использования системы и экономит финансовые ресурсы потребителя.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Система обеспечения теплового режима космических аппаратов при наземной экспериментальной отработке	Error! Bookmark not defined.
1.1 Структурная схема системы обеспечения теплового режима	Error! Bookmark not defined.
1.2 Устройство и работа систем	Error! Bookmark not defined.
1.3 Описание и работа составных частей.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Система управления системой обеспечения теплового режима.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Анализ существующих систем обеспечения теплового режима	Error! Bookmark not defined.
2 Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического аппарата с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности	Error! Bookmark not defined.
2.1 Исходные данные для проектирования системы обеспечения теплового режима	Error! Bookmark not defined.
2.2 Подбор фреонового охладителя и канального вентилятора для системы обеспечения теплового режима.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Подбор фреонового охладителя.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Подбор канального вентилятора.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Подбор оборудования в программе «BITZER-Software 6.15.2»	Error! Bookmark not defined.
2.4 Подбор конденсатора воздушного охлаждения в программе Ostrov Select 1.0.....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Создание модели новой ХМ в САД-системе «КОМПАС-3D v16»	Error! Bookmark not defined.
2.6 Теоретический расчет энергоэффективности	Error! Bookmark not defined.

3 Подтверждение полученных расчетных параметров спроектированной системы обеспечения теплового режима на готовом изделии СОТР XXXXXX.XXXX зав. № 015**Error! Bookmark not defined.**

3.1 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению эксперимента**Error! Bookmark not defined.**

3.2 Требования безопасности**Error! Bookmark not defined.**

3.3 Определяемые показатели (характеристики) и точность их измерения**Error! Bookmark not defined.**

3.3.1 Перечень определяемых показателей (характеристик) СОТР XXXXXX.XXXX зав. № 015**Error! Bookmark not defined.**

3.3.2 Перечень испытательного оборудования и средств измерений **Error! Bookmark not defined.**

3.4 Проведение эксперимента и измерений показателей (характеристик) СОТР XXXXXX.XXXX зав. № 015**Error! Bookmark not defined.**

3.4.1 Внешний осмотр СОТР XXXXXX.XXXX зав. № 015..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.2 Проверка потребляемой мощности СОТР XXXXXX.XXXX зав.№ 015.....

.....**Error! Bookmark not defined.**

3.5 Отчет по результатам проведенного эксперимента**Error! Bookmark not defined.**

Заключение 10

Список сокращений 13

Список использованных источников 14

ВВЕДЕНИЕ

При нахождении космического аппарата в космосе и его эксплуатации, тепловой режим бортовой аппаратуры осуществляется за счет излучения тепла от радиационных панелей в космическое пространство. В то время как, при проведении наземных испытаний и экспериментальной отработки, тепло, выделяемое от оборудования не полностью отводится естественным излучением и термоконвекцией, что может привести к выходу из строя приборов и аппаратуры. Поэтому, при проведении наземных испытаний космических аппаратов (КА), необходимо применение систем забора тепла и охлаждения воздуха, чтобы тепло, передаваемое на поверхности приборных панелей, отводилось с помощью созданной системы по охлаждению воздуха [1; 2].

Основные задачи систем обеспечения теплового режима заключаются в обеспечении безаварийной работы приборов [9], аппаратуры КА и повышении эффективности использования оборудования при проведении наземных испытаний и экспериментальной отработки.

Объектом исследования магистерской диссертации являются системы обеспечения теплового режима космических аппаратов (далее – КА) при наземной экспериментальной отработке, изготавливаемые АО «НПО ПМ МКБ».

Предмет исследования – методы и способы разработки проекта СОТР КА с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности.

Цель данной работы состоит в проектировании новой системы регулирования холодопроизводительности без использования нагревателей путем введения фазочастотного регулирования в СОТР при проведении наземных испытаний и экспериментальной отработки бортовой аппаратуры КА в сравнении с традиционным способом регулирования температуры на основе опыта создания подобных систем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1 Рассмотреть типовую структурную схему СОТР. Описать работу составных частей СОТР.

2 Проанализировать основные параметры СОТР, изготавливаемых АО «НПО ПМ МКБ» в период с 2016 г. по 2019 г. и патентов РФ №№ 2144893, 2233773, 2286291. Предложить рекомендации по усовершенствованию конструкции СОТР.

3 Сформулировать основные исходные данные для проектирования СОТР.

4 Спроектировать новую СОТР с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности.

5 Провести расчет энергоэффективности спроектированной СОТР. Сравнить полученные расчетные параметры с аналогичными характеристиками, изготавливаемых АО «НПО ПМ МКБ» в период с 2016 г. по 2019 г.

6 Подтвердить полученные расчетные параметры спроектированной СОТР на готовом изделии СОТР XXXXXX.XXXX зав. № 015.

При разработке проекта новой системы регулирования холодопроизводительности без использования нагревателей в конструкции СОТР, для выполнения поставленной цели, необходимо использовать подходы электротехники и обратного цикла Карно.

Для расчета и подбора оборудования требуются навыки обработки информации из каталогов производителей и работы в программах:

- BITZER-Software 6.15.2;
- Ostrov Select 1.0;
- САD-система «КОМПАС-3D v16».

Научная новизна магистерской диссертации заключается в применении способа регулирования холодопроизводительности в СОТР путем изменения частоты вращения электродвигателя компрессора. Увеличение

энергоэффективности СОТР за счет снижения затрат на электроэнергию сможет повысить конкурентоспособность подобных систем.

Практическая значимость состоит в том, что усовершенствованная конструкция может быть применена при разработке новых СОТР для проведения наземных испытаний и экспериментальной отработки КА, что продлит рабочий ресурс использования системы и сэкономит финансовые ресурсы потребителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования на тему: «Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического аппарата с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности» была достигнута поставленная цель по проектированию новой системы регулирования холодопроизводительности в СОТР при проведении наземных испытаний и экспериментальной отработки бортовой аппаратуры КА.

В настоящей магистерской диссертации были решены следующие задачи:

1 Рассмотрена типовая структурная схема СОТР, изготавливаемых АО «НПО ПМ МКБ» в период с 2016 г. по 2019 г. Представлена работа составных частей СОТР: холодильной машины, с установленными канальными воздухоохладителями и вентилятором, системы управления, принципами их работы.

2 Проведен анализ параметров СОТР, изготавливаемых АО «НПО ПМ МКБ» в период с 2016 г. по 2019 г. и патентов РФ №№ 2144893, 2233773, 2286291, который выявил недостатки существующих методов регулирования холодопроизводительности.

3 Предложены рекомендации по проектированию новой системы регулирования холодопроизводительности без использования нагревателей путем введения фазочастотного регулирования в СОТР.

4 На основе характеристик СОТР, разработанных АО «НПО ПМ МКБ» в период с 2016 г. по 2019 г., сформулированы основные исходные данные для проектирования новой СОТР.

5 Проведен расчет и выбор фреонового охладителя ОКФ 1000x500-3, канального вентилятора WRW 90-50/45.8D новой СОТР.

6 Используя программу BITZER SOFTWARE (на основе обратного цикла Карно), были подобраны компрессоры 2DES-3Y-40S в ХМ с частотным преобразователем FDU+12 и горизонтальным ресивером F402H.

7 В программе «Ostrov Select 1.0» был определен конденсатор воздушного охлаждения CRS-250A-Q, соответствующий производительности компрессора.

8 В CAD-системе «КОМПАС-3D v16» смоделирован проект новой СОТР без использования нагревателей путем введения фазочастотного регулирования путем использования компрессора с частотным преобразователем. Разработана полная гидравлическая схема работы новой СОТР.

9 Сделан расчет энергоэффективности спроектированной СОТР. При расчете использовались усредненные параметры СОТР, изготовленных АО «НПО ПМ МКБ» в период с 2016 г. по 2019 г. и расчетные данные потребления электроэнергии в Вт/ч оборудования в новой СОТР.

10 Проведен эксперимент и подтверждены полученные расчетные параметры спроектированной СОТР на готовом изделии СОТР XXXXXX.XXXX зав. № 015.

Проведенный в данной работе эксперимент доказал, что оборудование, подобранное в новую СОТР, рассчитано и выбрано правильно, в соответствии с исходными данными, заданными при проектировании. Эксперимент подтвердил работоспособность и соответствие расчетных параметров спроектированной СОТР фактическим.

Расчетная экономия на энергопотреблении составляет до 49 220 кВт за 2000 часов работы СОТР в год.

Оценка энергоэффективности после проведенного эксперимента доказала, что потребляемая мощность спроектированной СОТР в четыре раза ниже существующих аналогичных СОТР при одинаковых выходных параметрах.

На основании вышесказанного, сделан вывод, что усовершенствование конструкции СОТР с применением способа регулирования холодопроизводительности путем изменения частоты вращения электродвигателя компрессора позволит увеличить энергоэффективность

подобных систем за счет снижения затрат на электроэнергию, продлить ресурс использования ХМ СОТР, а соответственно, сэкономить финансовые ресурсы предприятия-потребителя.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АИ – автономные испытания;
- АИК - автоматизированный испытательный комплекс;
- ЗИП – запасные части, инструмент и принадлежности;
- КА – космический аппарат;
- КА – космический аппарат;
- ОИ – объект испытаний;
- ПО – программное обеспечение;
- ПУ – пульт управления;
- ПЭВМ– персональная электронно-вычислительная машина;
- РМ – рабочее место;
- СОТР - систем обеспечения температурного режима;
- СУ – система управления;
- ТО – техническое обслуживание;
- ТРВ – терморегулирующий вентиль;
- ХМ – холодильная машина;
- ШУ – шкаф управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Авдеевский, В.С., и др. Основы теории полета космических аппаратов / В.С. Авдеевский, Б.М. Антонов, Н.А. Анфимов и др. / под ред. Г.С. Нариманова, М.К. Тихонравова.- Москва: Машиностроение, 1972.- 607 с.

2 Чеботарев, В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб. пособие / В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко. - Красноярск : изд-во Сиб. гос. аэрокосм. ун-та им. М. Ф. Решетнева, 2011.- 487 с.

3 Пат. 2144893 Рос. Федерация N 98108971/28 Система обеспечения теплового режима / В.П. Акчурин, Ю.М. Голованов, А.Е. Дюдин, О.В. Загар, В.И. Халиманович, О.В. Шилкин; заявл. 18.05.1998; опубл. 27.01.2000.

4 Пат. 2233773 Рос. Федерация N Система обеспечения теплового режима / 2002104523 Г.В. Дмитриев, Ю.М. Голованов, А.Е. Дюдин, О.В. Загар, А.В. Томчук, О.В. Шилкин, 11; заявл. 19.02.2002; опубл. 10.08.2004.

5 Пат. 2286291 Российская Федерация N 2005107384 Система обеспечения теплового режима / А.Г. Козлов, В.А. Бартенев, Г.Д. Кесельман, В.Г. Шелудько, В.И. Халиманович, В.П. Акчурин и др; заявл. 16.03.2005; опубл. 27.10.2006.

6 АО «НПО ПМ – Малое Конструкторское Бюро» [Электронный ресурс] // Официальный сайт, 2019. - Режим доступа: <http://www.nprom-mkb.ru/show/text/11> (дата обращения 13.12.2019).

7 Суховольская, Ю.П. Космические вехи: сб. науч. тр., посвященный 50-летию создания ОАО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва».- Красноярск: ИП Суховольская Ю.П., 2009.- 704 с.

8 Семейных, Ю.А. Комплектующие систем обеспечения теплового режима элементов узлов, агрегатов космических аппаратов при проведении наземных испытаний / Ю.А. Семейных, В. В. Двирный // Материалы XXIII Международной научно-практической конференции «Решетневские чтения». – Красноярск, 2019. - в 2 частях. Ч. 1. – С. 491-492.

9 Семейных, Ю.А. Методы и инновации в обеспечении надежности и безопасности сложных технических систем, машин, оборудования / В. В. Двирный, М. А. Елфимова, Г. В. Двирный, Ю. П. Похабов, Ю. А. Семейных, А. А. Шевчук // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации-современные концепции», Т.2. – Красноярск, 2020. – С. 73-81.

10 Семейных, Ю.А. Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического аппарата с использованием фазочастотного регулирования холодопроизводительности / Ю. А. Семейных, А. Г. Герилевич, В. В. Двирный // Материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2020, в 2 частях. Ч. 1. – С.116-118.


11 Козлов, Л.В. Моделирование тепловых режимов КА и его окружающей среды / Л. В. Козлов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1971. – 382 с.

12 Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов: учебник / Н. А. Тестоедов, М. М. Михнев, А. Е. Михеев и др. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2009. – 216 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра


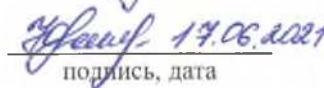

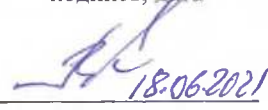
УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« 18 » 06 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка проекта системы обеспечения теплового режима космического
аппарата с использованием фазочастотного регулирования
холодопроизводительности»
тема

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

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	 подпись, дата	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, профессор должность, ученая степень	<u>А.К. Шатров</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>Ю.А. Семейных</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	начальник конструкторского отдела, АО «НПО ПМ – Малое Конструкторское Бюро» должность, ученая степень	<u>В. В. Белоусов</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	 подпись, дата	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, доцент должность, ученая степень	<u>В.Е. Чеботарев</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2021