

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 методики изготовления цельного рефлектора диаметром 3,5 метра  
из полимерных композиционных материалов»  
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

<u>Научный руководитель</u>	_____	доцент МБК ПФ и КТ канд. техн. наук	<u>В.Н. Наговицин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
<u>Выпускник</u>	_____		<u>М.А. Дремухин</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
<u>Рецензент</u>	_____	Начальник группы цеха 039 АО «ИСС»	<u>В.Е. Чичурин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
<u>Нормоконтролер</u>	_____		<u>Е.С. Сидорова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2021



Студенту: Дремухину Максиму Андреевичу.

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 методики изготовления цельного рефлектора диаметром 3,5 метра из полимерных композиционных материалов».

Утверждено приказом по университету от 22.03.2021 № 3961/с

Руководитель МД: В.Н. Наговицин, канд. техн. наук, доцент МБК ПФ и КТ

Перечень разделов МД:

1 Методы и особенности изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов.

2 Изготовление неметаллической формообразующей оснастки для формования композиционного рефлектора.

3 Разработка методики изготовления цельного рефлектора из полимерных композиционных материалов.

Перечень графического материала представлен в виде слайдов презентации в количестве 20 штук.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_  
подпись

В.Н Наговицин  
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_  
подпись

М.А. Дремухин  
инициалы и фамилия

11.01.2021

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему «Разработка методики изготовления цельного рефлектора диаметром 3,5 метра из полимерных композиционных материалов» содержит 92 страницы текстового документа, 31 использованных источника, 51 рисунок, 10 таблицы.

ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, РЕФЛЕКТОР, ФОРМООБРАЗУЮЩАЯ ОСНАСТКА, КОНЕЧНО – ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПРОЧНОСТЬ, 3D-ПЕЧАТЬ.

Объект – параболический рефлектор из полимерных композиционных материалов.

Цель:

– разработка методики изготовления цельного рефлектора диаметром 3,5 метра из полимерных композиционных материалов с применением неметаллической формообразующей оснастки.

Задачи ВКР:

– рассмотреть уже существующие технологии и оборудование, используемые для изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов;

– разработать конструкцию формообразующей оснастки;

– смоделировать процесс нагрузки на формообразующую оснастку при изготовлении рефлектора;

– разработать технологию изготовления формообразующей оснастки с применением аддитивных технологий;

– разработать методику изготовления цельного рефлектора из полимерных композиционных материалов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	7
1 Методы и особенности изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Применение полимерных композиционных материалов для создания формостабильных конструкций спутниковых антенн .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Методы и оборудование, применяемые для производства изделий из полимерных композиционных материалов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.1 Метод автоклавного формования .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.2 Метод RTM (Resin Transfer Molding) пропитка под давлением ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.3 Метод VARI (Vacuum Assisted Resin Infusion) вакуумная инфузия .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.4 Метод RFI (Resin Film Infusion) пропитка пленочным связующим .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Выбор углепластика со связующим компонентом, при изготовлении изделий из композиционных материалов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Технологические характеристики предъявляемые к рефлекторам антенн изготовленных из полимерных композиционных материалов..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2 Изготовление неметаллической формообразующей оснастки для формования композиционного рефлектора .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Основные этапы проведения работ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Моделирование конструкции формообразующей оснастки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.1 Выбор метода изготовления оснастки.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.2 Выбор материала для изготовления оснастки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.2.3 Расчет смоделированной конструкции на прочность **Error! Bookmark not defined.**

2.3 Выбор оборудования для изготовления формообразующей оснастки  
.....**Error! Bookmark not defined.**

2.3.1 Технологические требования к 3D-принтеру .....**Error! Bookmark not defined.**

2.3.2 Поиск и выбор оборудования для 3D-печати .....**Error! Bookmark not defined.**

2.3.3 Принцип работы 3D-принтера.....**Error! Bookmark not defined.**

2.4 Технология изготовления модели на 3D-принтере ....**Error! Bookmark not defined.**

2.4.1 Доработка 3D-модели для печати на 3D-принтере.... **Error! Bookmark not defined.**

2.4.2 Расчет на прочность конического соединения.....**Error! Bookmark not defined.**

2.4.3 Обработка сегмента в 3D-слайсере .....**Error! Bookmark not defined.**

2.4.4 Сборка сегментов в единую конструкцию .....**Error! Bookmark not defined.**

2.4.5 Постобработка модели после сборки .....**Error! Bookmark not defined.**

3 Разработка методики изготовления цельного рефлектора из полимерных композиционных материалов .....**Error! Bookmark not defined.**

3.1 Применяемые материалы при формовании рефлектора .. **Error! Bookmark not defined.**

3.1.1 Выбор схемы армирования рефлектора .**Error! Bookmark not defined.**

3.1.2 Раскрой препрега .....**Error! Bookmark not defined.**

3.1.3 Раскрой сотового заполнителя.....**Error! Bookmark not defined.**

3.2 Разработка технологических операций выкладки .....**Error! Bookmark not defined.**

3.2.1 Подготовка формообразующей оснастки.....**Error! Bookmark not defined.**

3.2.2 Выкладка препрега фронтальной и тыльной обшивки..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

3.2.3 Выкладка сотового заполнителя .....**Error! Bookmark not defined.**

3.2.4 Установка вакуумного пакета .....**Error! Bookmark not defined.**

3.3 Режим полимеризации рефлектора в автоклаве .....**Error! Bookmark not defined.**

Заключение ..... 9

Список сокращений ..... 10

Список использованных источников ..... 11

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение получили станции спутниковой связи, что было обусловлено увеличением количества искусственных спутников Земли, с каждым из которых необходимо поддерживать радиосвязь с целью корректировки параметров орбиты и приема телеметрической информации [1]. Для того, чтобы принять сигнал от спутника, на Земле, тоже нужны антенны. Наиболее сложным элементом наземной антенной системы (НАС) является рефлектор, от качества выполнения которого, напрямую зависит работа всей НАС.

Геометрическая точность формы рефлектора и его эксплуатационные требования должны быть устойчивы к различным погодным факторам, совокупность которых определяется, как среднеквадратическое отклонение (СКО) отражающей поверхности рефлектора от заданного параболоида. Для того, чтобы обеспечить высокую пропускную способность, и возможность проводить большие потоки информации, необходимо увеличивать диаметр антенн, что непосредственно ведет к увеличению массы рефлектора. Исходя из требований к погодным факторам и диапазону частот работы антенны, СКО рефлекторов наземных антенн (НА) должно составлять не более 0,03 мм. Поэтому точность формы рефлектора с учетом погрешностей изготовления и деформаций от погодных факторов не должна превышать указанной величины.

При разработке новых изделий расширяется диапазон рабочих нагрузок, увеличиваются температуры, давления, что требует создания новых материалов и технологий формования изделий, отвечающих этим требованиям. Современный уровень технологий позволяет создавать рефлекторы прецизионной точности отражающей поверхности зеркальных антенн, с высокой стабильностью к значительным перепадам температур и воздействия ветровых нагрузок при эксплуатации на открытом воздухе.

В качестве выбора конструкционного материала при изготовления рефлекторов НАС, довольно широкое применение получили полимерные композиционные материалы (ПКМ), а именно углепластиковые конструкции,



что напрямую связано с комплексом их уникальных свойств, таких как: повышенная жесткость, прочность и легкость конструкции, стабильность геометрических размеров, высокая коррозионная стойкость, возможность подбора оптимальных соотношений связующего компонента и матрицы, минимальное поглощение влаги и возможность изготовления изделий сложной формы. Благодаря вышесказанным свойствам можно получить более высокую точность и низкую удельную массу конструкции с повышением эксплуатационных характеристик рефлектора, по отношению к аналогичным конструкциям из алюминия, что обеспечивает возможность выполнения предъявляемых требований к рефлектору.

**[Изъято главы 1-3]**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации была разработана методика изготовления цельного рефлектора диаметром 3,5 метра из ПКМ, позволяющая изготовить рефлектор за один технологический цикл, по технологии автоклавного формования, с применением специально разработанной неметаллической формообразующей оснастки.

Были предложены новые технологические решения для изготовления оснастки с ФОРМОВАННОЙ.

Поставленные задачи:

- рассмотреть уже существующие технологии и оборудование, используемые для изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов;
- разработать конструкцию формообразующей оснастки;
- смоделировать процесс нагрузки на формообразующую оснастку при изготовлении рефлектора;
- разработать технологию изготовления формообразующей оснастки с применением аддитивных технологий;
- разработать методику изготовления цельного рефлектора из полимерных композиционных материалов.

Были выполнены.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- FDM – Fused Deposition Modelling;
- FFF – Fused Filament Fabrication;
- RFI – Resin Film Infusion;
- RTM – Resin Transfer Molding;
- VARI – Vacuum Assisted Resin Infusion;
- АС – антенная система;
- ДН – диаграмма направленности;
- КИМ – координатно-измерительная машина;
- КЛТР – коэффициент линейного термического расширения;
- КМ – композиционный материал;
- КНД – коэффициента направленного действия;
- КО – коэффициент отражения;
- КУ – коэффициент усиления;
- ЛКМ – лакокрасочный материал;
- МД – магистерской диссертация;
- НА – наземная антенна;
- НАС – наземная антенная система;
- ОПУ – опорно-поворотное устройство;
- ПКМ – полимерные композиционные материалы;
- ПО – программное обеспечение;
- СКО – среднеквадратическое отклонение;
- СНиП – строительные нормы и правила;
- ФОП – формообразующая поверхность;
- ЧПУ – числовое программное управление.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов: учебник/ Н. А. Тестоедов. – Красноярск, СибГАУ, 2009. – 352 с.
- 2 Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. / Ю.А. Михайлин. – Санкт-петербург : Издательство «Научные основы и технологии», 2010. – 822 с.
- 3 Ивановская, О.В. Производство изделий из полимерных композиционных материалов: учеб. пособие по лабораторному практикуму / М.А Шевцова – Харьков : ХАИ, 2005. – 84 с.
- 4 Дементьева, Л.А. Свойства композиционных материалов на основе клеевых препрегов / Л.А. Дементьева, А.А. Сереженков, Л.И. Бочарова, Н.Ф. Лукина, К.Е. Куцевич, А.П. Петрова // Клеи. Герметики. Технологии. – 2012. – №6. – С. 19–24.
- 5 Кербер, М.Л. Виноградов В. М. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. – Санкт-петербург : Профессия, 2009. – 560 с.
- 6 Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учеб. пособие / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
- 7 Наговицин, В.Н. Технология и механика композиционных материалов. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине : учеб.- метод. пособие / сост. : В. Н. Наговицин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019. – 66 с.
- 8 Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – Санкт-петербург : НОТ, 2008. – 820 с.
- 9 Сухаревский, О.И. Влияние снежного покрова на характеристики излучения рефлекторных антенн / О.И. Сухаревский, С.В. Нечитайло, Г.И. Хлопов, О.А. Войтович // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60. – № 6. – 633 с.

10 Резник, С.В. Обоснование конструктивно-компоновочной схемы рефлектора зеркальной космической антенны с высокой стабильностью формы и малой погонной плотностью / С.В. Резник // Инженернофизический журнал. – 2015. – Т.88. – №3. – С. 674– 680.

11 Поляк, В.С. Прецизионные конструкции зеркальных радиотелескопов: учеб. - метод. пособие / сост. : Э.Я. Бервалдс – Рига : Зинатне, 1990. – 526 с.

12 Ивонин, М.Ю. Моделирование антенн и элементов тракта: учеб.-метод. пособие для выполнения курсовых и самостоятельных работ по учеб. курсам «Устройства СВЧ и антенны» и «Антенно-фидерные устройства» / М.Ю. Ивонин; под ред. К.В. Шишакова. – Ижевск: ИЖГТУ, 2009. – 127 с.

13 Вержбицкий, В.М. Основы численных методов: Учебник для вузов. – Москва : Высш. шк., 2005. - 840 с.

14 Моделирование прецизионных антенных рефлекторов из полимерных композиционных материалов: отчет о НИР (промежуточ.) / НИ ТГУ ; рук. Пономарев С. В.; исп. : Бельков А. В. [и др.]. - Томск, 2013. - 454 с.

15 Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина // учебное пособие. 2013. С. 4-35.

16 Смирнов, В.В. Перспективы развития аддитивного производства в российской промышленности / В.В. Смирнов, В.В. Барзали, П.В. Ладнов // Опыт ФГБОУ УГАТУ. Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. С. 23-27.

17 Курынцев, С.В. Аддитивные технологии третья индустриальная революция / С.В. Курынцев, К.Ю. Нагулин, А.И. Горунов // Научно-технические технологии в машиностроении. – Брянск ; Брянский государственный технический университет, 2016. – Том 1, № 7 С. – 39 – 44.

18 The influence of pre-heat treatment on laser welding of T- joints of workpieces made of selective laser melting steel and cold rolled stainless steel Kuryntsev S.V. Optics & Laser Technology. 2018. С. 59-66.

- 19 Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows: учебное пособие / Д.Г. Шимкович. – Москва: ДМК Пресс, 2003. – 448с.
- 20 Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский. Санкт-петербург : БХВ-Петербург, 2008. – 840 с.
- 21 Рудаков, К.Н. Femap 10. 2. 0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. Киев : КПИ, 2011. С. 150-380.
- 22 Clough R. W. The finite element method in plane stress analysis. J. Struct. Div., ASCE, Proc. 2nd A. S. C. E. Conf. on Electronic Computation, Sept. 1960, p. 345-378.
- 23 Зотов, О.Ю. Особенности метода изготовления изделий путем послойного наплавления материала / О.Ю. Зотов, Д.А. Фролов // Ученый XXI века. 2016. № 1 (14). С. 7-11.
- 24 Пат. 2563198 Российская Федерация, МПК Н 01 Q 15/16. Способ изготовления рефлектора / В.Е. Чичурин, А.В. Наговицин, Е.В. Патраев, В.Е. Данилов, М.М. Михнев; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева. - № 2013155354 заявл. 12.12.2013 ; опубл. 20.09.2015, Бюл. №36. – 5с.: ил.
- 25 Баженов, С.Л. Механика и технология композиционных материалов: Научное издание / С.Л. Баженов – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014. – 328 с.
- 26 Mallick P. K. Fiber-Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design. Taylor & Francis Group, LLC, 2007. 617 p.
- 27 Михайлин, Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. – Санкт-петербург : НОТ, 2009. – 660 с.
- 28 Баурова, Н.И. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учеб. пособие / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – Москва : МАДИ, 2016. – 264 с.

29 Косенко, Е.А. Интеллектуальные и композиционные материалы в машиностроении: учебнометод. пособие к курсовому проекту / Е.А. Косенко, В.А. Зорин, Н.И. Баурова, И.С. Нефёлов. – Москва : МАДИ, 2018. – 72 с.

30 Дремухин, М.А. Изготовление рефлектора из полимерных композиционных материалов / М.А. Дремухин, С.В. Мишин, Р.А. Савельев, Д.В. Гоголаев // Решетневские чтения : материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (11–15 нояб. 2019, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2019. Ч. 1.

31 Дремухин, М.А. Способ изготовления элементов рефлектора из полимерных композиционных материалов / М.А. Дремухин, В.Н. Наговицин // Решетневские чтения : материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2020, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2020. Ч. 1.

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 В.Е. Косенко  
инициалы, фамилия

« 28 » 04 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Разработка методики изготовления цельного рефлектора диаметром 3,5 метра  
из полимерных композиционных материалов»


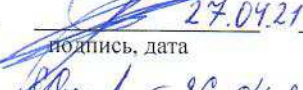
тема

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	 27.04.21 подпись, дата	доцент МБК ПФ и КТ канд. техн. наук должность, ученая степень	<u>В.Н. Наговицин</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 26.04.2021 подпись, дата		<u>М.А. Дремухин</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 27.04.21 подпись, дата	Начальник группы цеха 039 АО «ИСС» должность, ученая степень	<u>В.Е. Чичурин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 26.04.21 подпись, дата		<u>Е.С. Сидорова</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2021