

Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 12.03.02 Опотехника  
 Отделение материаловедения

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Лазерная обработка защитных масок для предотвращения бактериальных и вирусных инфекций.</b>

УДК 614.48:621.373.826:615.479.42

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В71	Константинова Елизавета Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Рауль Д. Родригес	PhD		

#### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	—		

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Степанов С.А.	к.ф.-м.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код	Результат освоения ООП
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной форме на государственном и иностранном (-ых) языке
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этническом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течении сей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
<b>ОПК(У)-2</b>	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
<b>ОПК(У)-3</b>	Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат
<b>ОПК(У)-4</b>	Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-5</b>	Способность обрабатывать и представлять данные экспериментальных исследований
<b>ОПК(У)-6</b>	Способность собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования
<b>ОПК(У)-7</b>	Способность использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации
<b>ОПК(У)-8</b>	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности
<b>ОПК(У)-9</b>	Способность владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны

<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способность к математическому моделированию процессов и объектов оптоэлектроники и их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов
<b>ПК(У)-2</b>	Способность к проведению экспериментальных измерений оптических, фотометрических и электрических величин и исследования различных объектов по заданной методике
<b>ПК(У)-3</b>	Готовность формировать презентации, научно-технические отчеты по результатам выполненной работы, оформлять результаты исследований в виде статей и докладов на научно-технических конференциях
<b>ПК(У)-4</b>	Способность к наладке, настройке, юстировке и опытной проверке оптических, оптико-электронных приборов и систем
<b>ПК(У)-5</b>	Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оптоэлектроники на схемотехническом и элементном уровнях
<b>ПК(У)-6</b>	Способность к оценке технологичности и технологическому контролю простых и средней сложности конструкторских решений, разработке типовых процессов контроля параметров механических, оптических и оптико-электронных деталей и узлов
<b>ПК(У)-7</b>	Способность к участию в монтаже, наладке, настройке, юстировке, испытаниях, сдаче в эксплуатацию опытных образцов, сервисном обслуживании и ремонте оптической техники
<b>ПК(У)-8</b>	Способность к расчету норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, инструмента, выбору типового оборудования, предварительной оценке экономической эффективности техпроцессов
<b>ПК(У)-9</b>	Способность к разработке технических заданий на конструирование отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального оборудования, предусмотренных технологией
<b>ПК(У)-10</b>	Способность к участию в работах по доводке и освоению техпроцессов в ходе технологической подготовки производства оптических и оптико-электронных приборов
<b>ПК(У)-11</b>	Способность к организации входного контроля материалов и комплектующих изделий
<b>ПК(У)-12</b>	Способность к внедрению технологических процессов производства, метрологического обеспечения и контроля качества оптических и оптико-электронных приборов и их элементов

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 12.03.02 «Оптотехника»  
Уровень образования бакалавриат  
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
С.А. Степанов  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4В71	Константинова Елизавета Дмитриевна

Тема работы:

Лазерная обработка защитных масок для предотвращения бактериальных и вирусных инфекций

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы: 01.06.2021

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Литература по теме проекта</li><li>2. Оборудование, необходимое для изучения структуры, спектры и свойства материалов масок, полученных в результате лазерной обработки</li></ol> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Literature on the project topic</li><li>2. Necessary experimental equipment for studying the structure, spectra and properties of laser-treated mask materials</li></ol>

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор</li> <li>2. Изучение эффекта лазерной обработки текстиля на его структуру</li> <li>3. Исследование эффекта лазерной обработки ткани на фильтрующие и антибактериальные свойства</li> <li>4. Определение возможности использования лазерной обработки для формирования графеновых материалов на ткани маски при сохранении хороших механических свойств.</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Literature review</li> <li>2. Study of the effect of laser processing of fabric-on-fabric structure</li> <li>3. Study of the effect of laser processing of fabric on filtering and antibacterial properties</li> <li>4. Determination of the possibility of using laser processing for the formation of graphene-based materials on mask tissues while maintaining good mechanical properties</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Экспериментальные результаты (графики, таблицы с данными, фотографии образцов, диаграммы)</p> <p>Experimental results (graphs, data tables, photographs of experimental samples, diagrams)</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.10.2020 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Рауль Д. Родригес	PhD		10.10.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В71	Константинова Елизавета Дмитриевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4В71	Константиновой Елизавете Дмитриевне

<b>Школа</b>	Инженерная школа новых производственных технологий	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение материаловедения
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	12.03.02 Опотехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Составление бюджета НИ работ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Коэффициент доплат и надбавок 25%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30.2 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение целевой аудитории (сегментация рынка). SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: – составление плана/ структуры работ; – формирование графика Ганта. Формирование бюджета затрат на НИ: – материальные затраты; – затраты на экспериментальное оборудование; – амортизационные отчисления; – заработная плата (основная и дополнительная); – отчисления во внебюджетные фонды.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет ресурсоэффективности проекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	15.01.21
---	----------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4В71	Константинова Елизавета Дмитриевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4В71	Константиновой Елизавете Дмитриевне

<b>Школа</b>	ИШНПТ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение материаловедения
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	12.03.02 Оптотехника

Тема ВКР:

Лазерная обработка защитных масок для предотвращения бактериальных и вирусных инфекций	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – защитные маски для предотвращения бактериальных и вирусных инфекций. Область применения – средства индивидуальной защиты органов дыхания в целях профилактики заражения вирусными и бактериальными инфекциями в период пандемии и других ЧС.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение параметров микроклимата</li> <li>– Недостаточная освещенность</li> <li>– Опасность поражения электрическим током и лазерным излучением</li> <li>– Повышенное значение электромагнитного излучения</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Попадание в атмосферу паров вредных химических соединений в процессе производства</li> <li>– Загрязнение воды и почвы токсичными концентрациями используемых наночастиц, образовавшимися при промывке исследуемых образцов</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: поломка оборудования, авария на электросетях, пожар, обрушение здания.</li> </ul>



	– Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара, авария на электросетях .
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.01.21
--	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	–		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В71	Константинова Елизавета Дмитриевна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 15 рис., 16 табл., 56 источников.

Ключевые слова: ЗАЩИТНЫЕ МАСКИ, ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА, ОКСИД ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННЫЙ ОКСИД ГРАФЕНА, АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЙ, АНТИВИРУСНЫЙ, НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА.

Объект исследования: защитные маски для предотвращения бактериальных и вирусных инфекций.

Предмет исследования: влияние лазерного излучения, а также интегрированных в поверхность наноматериалов, на изменение физических, механических, антибактериальных и антивирусных свойств защитных масок.

Цель работы – разработка метода лазерной обработки защитных масок с интеграцией наноматериалов с целью улучшения антибактериальных и антивирусных свойств.

В процессе работы было изучено влияние лазерной обработки текстиля на его структуру с помощью методов оптического анализа, были проведены тесты на антибактериальную активность исследуемых образцов. Произведен экономический анализ проделанной работы. Описаны основные нормативные документы, регулирующие трудовые отношения научного руководителя, как работодателя и студента, как исполнителя, нормирующие условия, при которых выполнялась исследовательская работа. Изучены документы по технике безопасности.

Область применения: средства индивидуальной защиты органов дыхания человека.

Экономическая эффективность работы: данное исследование является наиболее эффективным и востребованным в области средств индивидуальной защиты по сравнению с рассматриваемыми аналогами.

Полученные результаты: был выявлен наилучший способ лазерной обработки ткани с использованием наноматериалов для повышения антибактериальных и антивирусных свойств защитных масок.

Степень внедрения: данное исследование является практически значимым, так как с его помощью становится возможным улучшение свойств защитных масок за счёт лазерной обработки и интегрированных материалов.

### **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В данной работе используется следующая терминология:

**восстановленный оксид графена:** Оксид графена с частично удаленными кислородсодержащими группами.

**in vitro:** Технология выполнения экспериментов вне живого организма.

**лазерная абляция:** Метод удаления вещества с поверхности лазерным импульсом.

**G-код:** Система команд, воспринимаемых станками с программным управлением.

В данной работе применены следующие сокращения:

GO – оксид графена

rGO – восстановленный оксид графена

ЛИГ – лазерно-индуцированный графен

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

EDX – energy-dispersive X-ray spectroscopy (энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия)

XRD – X-ray diffraction (рентгеноструктурный анализ)

ACF – activated carbon fiber (активированное углеродное волокно)

MFB – melt-blown fabric (ткань, полученная методом выдувания из расплава)

E. coli – Escherichia Coli (кишечная палочка)

Staph. Aureus – Staphylococcus aureus (золотистый стафилококк)

ЧПУ – числовое программное управление

4-NBT – 4-нитробензентиол

4-ABT – 4-аминобензентиол

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
3. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
4. ГОСТ 12.1.038-82\*. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
5. ГОСТ 12.1.040-83. ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.
6. ГОСТ 17.1.3.13-86. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения.
7. ГОСТ 1277-75. Реактивы. Серебро азотнокислородное. Технические условия.
8. ГОСТ 21889-76. Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
9. ГОСТ 31581-2012. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий.
10. ГОСТ Р 50648-94. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты.
11. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
12. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
13. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
14. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	16
1 Литературный обзор	19
1.1 Медицинские маски	19
1.2 Маски домашнего производства	20
1.3 Материалы для повышения антибактериальных и противовирусных свойств	21
1.3.1 Лазерно-индуцированный графен	21
1.3.2 Антибактериальные и противовирусные свойства графена	22
1.3.3 Применение наночастиц металлов и оксида графена для повышения антибактериальных свойств	24
1.4 Фотокаталитическая активность и фототермический эффект для стерилизации защитных масок	26
2 Объекты и методы экспериментального исследования	29
2.1 Подготовка образцов	29
2.2 Лазерная обработка ткани	29
2.3 Спектроскопия комбинационного рассеяния света	30
2.4 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и элементный анализ методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX)	30
2.5 Рентгенодифракционный анализ (XRD)	31
2.6 Фототермическая активность	31
2.7 Дискотифузионный метод	31
2.8 Турбидиметрия	32
3 Экспериментальная часть	33
3.1. Получение ЛИГ из ткани	33
3.2 Лазерное восстановление оксида графена на текстиле	37

3.3. Анализ образцов с rGO и наночастицами металлов	41
3.4 Изучение функционализации текстиля с помощью комбинационного рассеяния	43
3.5 Обнаружение фотокаталитических и фототермических свойств	44
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	47
4.2 Анализ конкурентоспособности технического решения	48
4.3 SWOT-анализ проекта	49
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	51
4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ	52
4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования	53
4.5 Бюджет научно-технического исследования	56
4.5.1 Расчет материальных затрат НИИ	57
4.5.2 Расчет затрат на оборудование и программное обеспечение	57
4.5.3 Основная заработная плата исполнителей	58
4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды	61
4.5.5 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	62
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования	63
5 Социальная ответственность	65
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	66
5.2 Производственная безопасность	68
5.3 Экологическая безопасность	73
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
Вывод	74

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	78
ПРИЛОЖЕНИЕ А	84

## ВВЕДЕНИЕ

Внезапная вспышка новой коронавирусной инфекции в 2019 году, принявшая характер пандемии, привела к резкому увеличению производства уже существующих, а также оптимизации и появлению новых средств индивидуальной защиты. Самые распространенные из них – защитные маски для лица – теперь являются обязательными для ношения во многих странах мира, и их наличие в общественных местах строго регламентировано законами и санитарными нормами. Несмотря на то, что одноразовые хирургические маски продемонстрировали свою значимость в предотвращении распространения вируса от инфицированных людей, всё еще под вопросом остается их относительная эффективность и влияние на экологию. Поскольку они являются источником пластика и токсичных химических веществ, использованные хирургические маски оказывают пагубное воздействие на окружающую среду. Кроме того, их срок службы ограничен и не может быть продлен стерилизацией.

В связи с этим, самодельные маски, которые являются более доступными, имеют невысокую стоимость, персонализированный дизайн для удобства ношения, и, что самое важное, являются многоразовыми – стали более распространенным решением. Однако, в то время как маски помогают сводить к минимуму распространение инфекции путем задержки выдыхаемых больным человеком вирусных частиц, они практически не имеют значения для защиты от инфицирования здоровых людей. Кроме того, в ситуации с самодельными масками, в которых используется обычная ткань, эффективность защиты является незначительной и варьируется в зависимости от материалов и количества их слоев. Еще одним важным пунктом является порядок использования самодельных масок, в частности, их неправильное ношение и утилизация могут привести к повышению риска повторного заражения. В дополнение к этому, накопление патогенных микроорганизмов на поверхности маски может привести к возникновению бактериальной инфекции и осложнению заболевания.



После рассмотрения вышеперечисленных недостатков было принято решение провести улучшение структурных свойств, повысить эффективность и длительность эксплуатации самодельных масок путем взаимодействия лазерного излучения с тканью из хлопка и полиэстера, а также внедрения частиц наноматериалов.

**Актуальность работы** обусловлена: невысокой эффективностью существующих самодельных однослойных тканевых масок, ограниченностью срока службы медицинских масок в совокупности с негативным воздействием на окружающую среду ввиду невозможности их повторной эксплуатации, необходимости создания нового эффективного средства защиты органов дыхания в период пандемии.

**Целью ВКР** является разработка метода лазерной обработки защитных масок с интеграцией наноматериалов с целью улучшения антибактериальных и противовирусных свойств.

Для ее реализации были сформулированы следующие **задачи**:

- изучение эффекта лазерной обработки текстиля на его структуру;
- исследование эффекта лазерной обработки ткани на фильтрующие и антибактериальные свойства;
- определение возможности использования лазерной обработки для формирования графеновых материалов на ткани маски при сохранении хороших механических свойств.

**Объект исследования:** защитные маски для предотвращения бактериальных и вирусных инфекций.

**Предмет исследования:** влияние лазерного излучения, а также интегрированных в поверхность наноматериалов, на изменение физических, механических, антибактериальных и противовирусных свойств защитных масок.

**Научная новизна.**

Были созданы защитные маски с улучшенными антибактериальными и противовирусными свойствами, полученные путем лазерной обработки ткани и

использования наноматериалов, таких как восстановленный оксид графена и серебряные наночастицы.

### **Практическая значимость.**

Практическая значимость заключается в определении условий лазерной обработки защитных масок для увеличения эффективности их антибактериальных и противовирусных свойств.

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Медицинские маски

Изначально хирургические маски были разработаны и введены в эксплуатацию для предотвращения заражения пациентов от хирургов во время хирургических процедур, а позже начали использоваться для защиты работников здравоохранения от заражения пациентами [1]. В настоящее время такие маски рекомендуется носить людям с признаками респираторных заболеваний для предотвращения дальнейшей передачи их инфекции воздушно-капельным путём.

При этом известно, что медицинские маски не предназначены для предотвращения попадания через верхние дыхательные пути различных частиц, содержащихся в воздухе, а их способность защищать работников здравоохранения от инфицирования варьируется в зависимости от заболевания [2].

Медицинские маски состоят из трех слоев: внутренний слой является гидрофильным и поглощает влагу, создаваемую носителем, средний выступает в качестве фильтра, задерживая проникновение с обеих сторон частиц разного размера, а внешний – гидрофобный – препятствует попаданию аэрозолей и паров из окружающей среды [3]. Эта разновидность масок имеет недостаток в виде неплотного прилегания к лицу во время ношения, из-за чего является менее эффективной против больших капель, чем против маленьких.

Несмотря на это, большинство существующих доказательств эффективности фильтрации лицевых масок и респираторов происходит от экспериментов *in vitro* с небиологическими частицами [4], что не может быть прямым доказательством эффективности фильтрации инфицированных капель, выделяемых при дыхании.

Ввиду появления новой коронавирусной инфекции в 2019 году ношение защитных масок, в совокупности с социальным дистанцированием и дезинфекцией рук, стало главной стратегией по предотвращению

распространения вируса. Маски различных видов, от медицинских до самодельных тканевых, получили широкое распространение на мировом рынке.

## **1.2 Маски домашнего производства**

Несмотря на то, что эффективность самодельных масок в предотвращении проникновения инфекций находится под вопросом, Всемирная организация здравоохранения рекомендует использовать маски домашнего производства, состоящие не менее чем из трех слоев ткани, в зависимости от материалов. Однослойные маски могут задерживать капли размером 20-30 мкл, в то время как многослойные – размером 1-10 мкл [5].

Как правило, самодельные маски шьются из обычного хлопка или других широко распространенных тканей без контроля качества. Различные виды плетения ткани – тканые, спрессованные, вязаные – не имеют фиксированных параметров кислород проницаемости, количества слоев или фильтрационной способности. Известно, что фильтрационная эффективность широко используемых тканей, таких как полиэстер, хлопок, шелк и нейлон варьируются от 5% до 25%, что зависит от числа нитей и количества слоев [6].

В настоящее время, когда в окружающий мир ежедневно поступает 250 тыс. тонн пластика [7], необходимо находить как можно больше способов замены этого материала другими, биоразлагаемыми, и не несущими вреда природе. Многоразовые тканевые маски являются хорошей альтернативой медицинским полипропиленовым маскам.

Учитывая вышеперечисленные особенности, можно предположить, что функционализация однослойных тканевых масок является отличным способом увеличения продолжительности эксплуатации, и в то же время увеличения антибактериальных и противовирусных свойств. Современные способы функционализации включают в себя внедрение наночастиц металлов, обладающих антибактериальными свойствами, или других материалов, которые будут описаны ниже.

## **1.3 Материалы для повышения антибактериальных и противовирусных свойств**

### **1.3.1 Лазерно-индуцированный графен**

Ожидается, что характеристики самодельных масок, как правило сделанных из хлопка, полиэстера или шелка, значительно ниже, чем у медицинских. Несмотря на это, лазерная обработка, которая может улучшить влагоустойчивость, прочность, пористость и воздухопроницаемость, не являлась широко распространенной до недавнего времени [8,9].

Самые подходящие и недавно опубликованные способы интегрировать графен в различные материалы – это образование лазерно-индуцированного графена (ЛИГ) путем прямой обработки ткани [10].

Прямая лазерная обработка ткани с высоким содержанием углерода для создания структуры лазерно-индуцированного графена (ЛИГ) была показана в случае с кевларом [11]. Вонг с командой получили высококачественный ЛИГ, используя мощное лазерное излучение и локальный нагрев CO<sub>2</sub> лазером.

В ходе изучения жизнеспособности бактерий на обычных масках для лица было обнаружено, что большинство бактерий (90%) остаются живыми спустя 8 ч. Однако, при использовании лазерно-индуцированного графена, скорость ингибирования улучшается до ~81%. Для бактерий, находящихся в аэрозольной форме, ЛИГ также показал превосходные результаты антибактериальных свойств.

В своей статье Huang и его группа рассказывают о синтезе лазерно-индуцированного графена из полимерных подложек, используя инфракрасный CO<sub>2</sub> лазер [10]. Для сравнения антибактериальных свойств, полученного ЛИГ и существующих угольных (ACF) и хирургических (MBF) масок они использовали кишечную палочку. Сравнения результатов сканирующей электронной микроскопии и лазерной конфокальной сканирующей микроскопии (рисунок 1), полученных в ходе изучения образцов после 1 и 8 часов инкубации бактерий, говорят о том, что большинство бактерий сохранили клеточную структуру на

материале волокон угольных и хирургических масок, в то время как лазерно-индуцированный графен показал высокую бактерицидную эффективность. После 8 часов инкубации изображение конфокальной микроскопии образца ЛИГ имеет преимущественно красный цвет (для нежизнеспособных бактерий). Антибактериальная активность ЛИГ, АСФ и МВФ составила 81,57, 2,00 и 9,13% соответственно, что говорит о явном преимуществе лазерно-индуцированного графена.

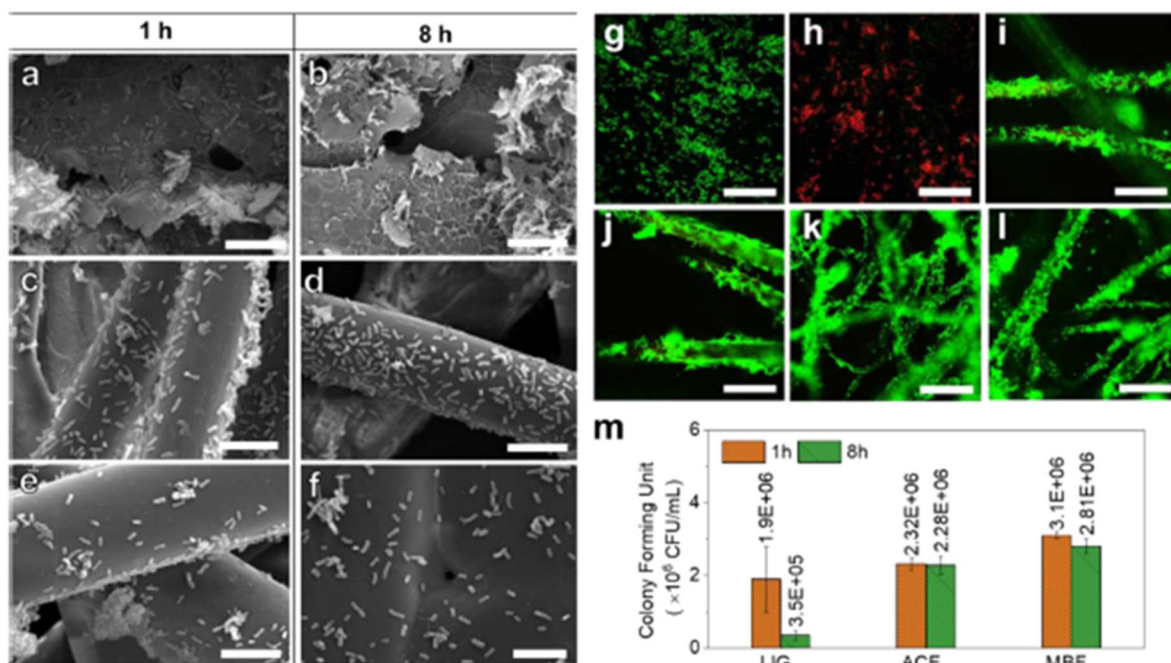


Рисунок 1 – Сравнение антибактериальных свойств LIG, ACF, MBF. Изображения СЭМ для LIG (a,b), ACF (c,d), MBF (e,f) после 1 и 8 ч инкубации бактерий. Изображения лазерной сканирующей конфокальной микроскопии для LIG (g,h), ACF (i,j), MBF (k,l). Инкубация 1 ч (g,i,k), 8 часов (h,j,l). Статистика анализа КОЕ – m. Масштаб составляет 10 мкм для (a-f) и 50 мкм для (g – l) [10]

### 1.3.2 Антибактериальные и противовирусные свойства графена

В последнее десятилетие такой двумерный материал как графен привлек к себе большое внимание благодаря своим высоким антимикробным свойствам и возможностью применения в различных сферах, включая способность противостоять устойчивым к лекарственным средствам бактериальным

инфекциям. Первоначальный графен представляет собой слой, толщиной в один атом, из гексагонально расположенных атомов углерода, оксид графена (GO) является его окисленным аналогом. Восстановленный оксид графена (rGO) образуется из GO после удаления функциональных кислородных групп восстановителями с целью получения материального аналога чистого графена. Будучи однослойным расположением атомов углерода, графен имеет исключительно большое отношение поверхности к массе. С такой хорошей удельной площадью поверхности он может обнаруживать одиночные молекулы. Даже когда одна биологическая молекула входит в контакт с поверхностью графена, она может модулировать свои электрические свойства, что делает этот наноматериал идеальным сенсором [12]. Кроме того, эти двумерные материалы также имеют свойство сильно взаимодействовать со светом: один слой графена может поглощать 2,3% падающего видимого света [13]. Это свойство чрезвычайно важно для генерации тепла и стерилизации материалов.

Возникает вопрос, какое влияние оказывает графен на бактерии и вирусы? Было обнаружено уникальное поведение патогенов, которые вступают в контакт с двумерными углеродными хлопьями [14]. Было продемонстрировано, что бактерии, соприкасающиеся с поверхностью графена, теряют целостность строения [15], в то время как воздействие на вирусы не характеризуется таким свойством.

Первые доказательства противовирусных свойств графена были получены в 2012 г., когда тонкие пленки rGO-оксида вольфрама были использованы для фотоинактивации бактериофагов под действием облучения видимым светом [16].

Зием и его коллеги синтезировали термические производные сульфата восстановленного оксида графена и продемонстрировали их противовирусную активность в отношении штаммов вируса африканской чумы свиней, ортопоксвируса и вируса герпеса [17,18].

Так что же происходит, когда графеновая поверхность контактирует с вирусами? GO взаимодействует с вирусами в основном за счет водородных

связей, электростатических взаимодействий и окислительно-восстановительной реакции [19].

Еще одним полезным свойством графена является способность к мощной иммуномодуляции, а нанокomпозиты оксида графена с серебром усиливают выработку естественной противовирусной защиты [20].

Помимо использования в лечебных целях этот наноматериал также применим для контроля эпидемиологического распространения болезни. Графеновые фильтры были созданы для улавливания частиц и бактерий, чтобы уменьшить передачу внутрибольничных инфекций [21]. Бактерии, осевшие на фильтре, не могут размножаться, и при повышении температуры фильтра выше  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  микроорганизмы вместе с молекулами, которые могут вызывать заболевания, уничтожаются.

Покрытия из графена могут быть использованы в совокупности с наночастицами нитрата серебра и диоксида титана [22] для улавливания патогенных микроорганизмов. Защитные маски с графеном могут быть обработаны путем фотокатализа или нагревания. Действительно, нагревание графена может использоваться для стерилизации тканей и фильтров, которые контактировали с вирусами. Было продемонстрировано, как вирусы могут быть уничтожены после адсорбции на графене и мягкой термообработки при  $56\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 30 минут [19].

Таким образом, можно сделать вывод, что применение графена может быть целесообразным для покрытий лицевых масок с целью минимизации риска передачи инфекции.

### **1.3.3 Применение наночастиц металлов и оксида графена для повышения антибактериальных свойств**

Наночастицы серебра, цинка, золота, алюминия и меди демонстрируют потенциальные антимикробные эффекты. Различные противомикробные свойства, включающие в себя механизмы генерации ионов металлов и фотокаталитический эффект приводят к разрушению клеточных мембран.



Наночастицы металлов, генерирующие положительные ионы, токсичны к клеточным стенкам и оболочкам. Эти вещества также токсичны для полирезистентных микроорганизмов, но почти не токсичны в тех же концентрациях для людей. Кроме того, наночастицы серебра связываются с тиоловыми группами белков, производя инактивацию бактерий [23]. Волокна ткани с серебряными наночастицами в составе даже после 100 циклов стирки остаются эффективными против различных бактерий, таких как *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Chlamydia*, *Pseudomonas*, and *Escherichia*, а также грибков. И грамположительные и грамотрицательные бактерии восприимчивы к наночастицам серебра [24].

Медь и оксид меди используются как противовирусный и антимикробный агент. Наночастицы меди – другой материал невысокой стоимости, который демонстрирует стремительную и высокую антимикробную эффективность против патогенов, а также фотокаталитическую активность из-за своей ширины запрещенной зоны, которая делает возможным поглощение видимого света. Использование оксида меди при производстве масок обеспечивает эффективность фильтрации против вирусов гриппа 99,85% и 99,99% снижение титра вируса.

Известно, что маски, содержащие  $\text{CuI}$ , эффективны против вируса гриппа типа А на 99,99%. Некоторые маски, содержащие оксид меди, можно использовать повторно [25].

Смесь же наночастиц серебра и оксида титана четырехвалентного на поверхности масок является бактерицидной и не оказывает вредного воздействия на здоровье человека. При использовании этой смеси наблюдалось 100% уменьшение бактерий [26].

Подобным образом, комбинация оксида меди и оксида серебра удаляет 96% вируса иммунодефицита человека за 30 минут, а 8% колонии кишечной палочки за 3 часа. Было показано, что комбинации наночастиц имеют значительное антимикробное действие в течение короткого времени, по сравнению с наночастицами одного вида.

Определенные материалы могут путем фотокатализа генерировать активные формы кислорода, что убивает микробы. Наночастицы оксида титана и оксида цинка демонстрируют эффективную фильтрацию частиц с удалением бактерий благодаря своей фотокаталитической активности [27]. Наночастицы оксида цинка, нанесенные на маски из полиэстера, убивают 98% бактерий в течение часа. Такие фотокаталитические свойства хорошо проявляются под воздействием солнечного света.

#### 1.4 Фотокаталитическая активность и фототермический эффект для стерилизации защитных масок

Способность масок к самоочищению может продлить их безопасное время ношения в случае, если скапливающиеся на поверхности органические загрязнители будут саморазрушаться. Для этого процесса существует такое явление как фотокатализ. Сущность фотокатализа заключается в инициировании или ускорении окислительно-восстановительных реакций в присутствии облученных светом полупроводников. Энергия падающих фотонов накапливается в полупроводнике, а затем преобразуется в химическую форму посредством ряда электронных процессов на границе раздела [28].

В литературе известны случаи функционализации медицинской маски для проявления фотокаталитической активности.

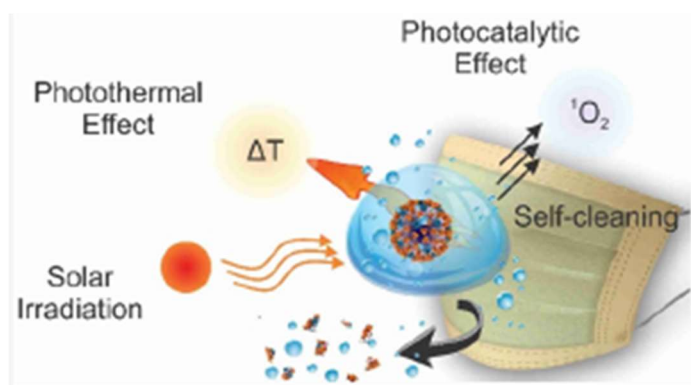


Рисунок 2 – Схематическое изображение инактивации вируса, находящегося в капле влаги от дыхания, путем фототермической и фотокаталитической активности после облучения солнечным светом [7]

При попадании солнечного света на поверхность маски температура поверхности стремительно возрастает до 70 °С и более, создавая высокий уровень свободных радикалов, которые разрушают мембрану наноразмерных (~100 нм) вирусоподобных частиц и делают маску самоочищающейся и доступной к многократному использованию [7].

Известно и о применении серебра как материала для поглощения солнечного света и энергетического перехода в полупроводниках [29, 30]. Оно поглощает видимый свет, в то время как фотокатализаторы используют энергию в ультрафиолетовой области, которая составляет только 5% от солнечного спектра [31].

При изучении коронавируса выяснилось, что его белок чувствителен к температуре, вследствие чего вирус теряет свои свойства после воздействия температуры 56 °С в течение 90 мин [32].

Жонг и его коллеги исследовали тот факт, что покрытие из оксида графена увеличивает способность поверхности поглощать солнечный свет по сравнению с обычной медицинской маской и вследствие этого быстрее нагреваться и разрушать оболочку вирусов и бактерий, нарушая их жизнедеятельность [33].

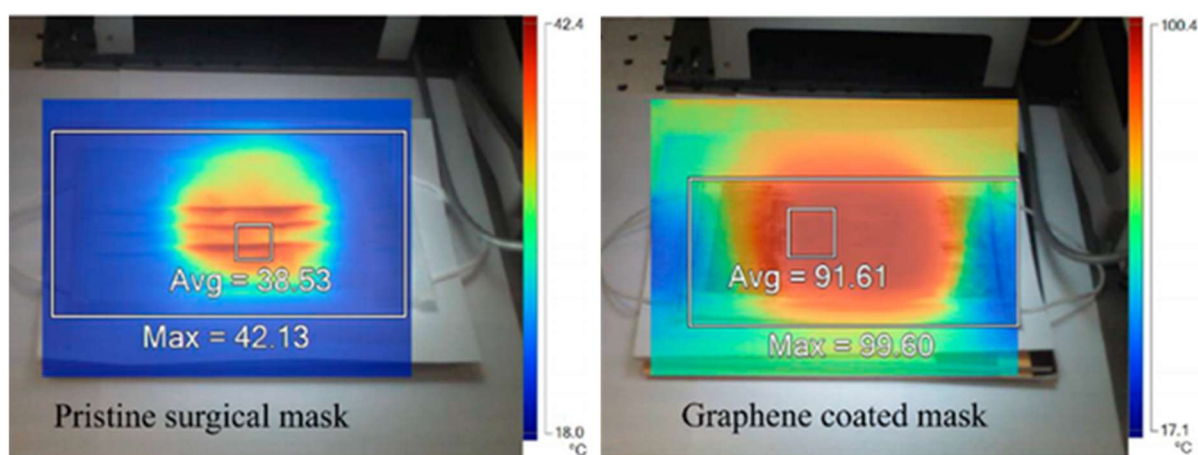


Рисунок 3 – Изображения фототермического эффекта для а) хирургической маски, б) маски с покрытием из оксида графена [33]

Таким образом, функционализация масок приводит к увеличению антибактериальных и противовирусных свойств ввиду фотокаталитического и фототермического эффекта.

## **2 Объекты и методы экспериментального исследования**

### **2.1 Подготовка образцов**

Изначально, для выявления образцов с наилучшей антибактериальной активностью для дальнейшего изучения и анализа, были изготовлены несколько образцов ткани с различными добавками. Образцы представляли собой круги диаметром 10 мм с дополнительными материалами, внедренными разными способами:

- 1) чистая ткань без добавок;
- 2) ткань, покрытая 0.5М водным раствором  $\text{AgNO}_3$ , высушенная в условиях окружающей среды, затем промытая в УЗ ванне и высушенная еще раз;
- 3) ткань, покрытая 0.5М водным раствором  $\text{AgNO}_3$ , обработанная лазером, промытая в дистиллированной воде под действием УЗ и высушенная;
- 4) ткань, пропитанная дисперсией оксида графена (4мг/мл), высушенная в условиях окружающей среды, обработанная лазером для восстановления ОГ, затем высушенная;
- 5) ткань, пропитанная дисперсией оксида графена (4мг/мл), высушенная в условиях окружающей среды, обработанная лазером для восстановления ОГ, затем высушенная и пропитанная 0.5М водным раствором  $\text{AgNO}_3$  с последующей обработкой лазером.

### **2.2 Лазерная обработка ткани**

Облучение тканей проводилось с помощью установки, в основе которой находится диодный лазер с рабочей длиной волны 450 нм, номинальной мощностью лазера 5,5 Вт, частотой импульсов 1 кГц. Лазерное пятно представляет собой эллипс, размером 200 мкм вдоль оси Y, и 30 мкм вдоль оси X. Управление установкой производится с компьютера, путем специального программного обеспечения, для использования которого при обработке образца прописывается G-код. G-код, управляющий лазерным гравером ЧПУ, делает сканирование прямоугольной зоны единожды для образцов 3 и 4 и дважды для

образца 5. Скорость лазерной головки при обработке составляет 200 мм / мин, расстояние между соседними линиями 200 мкм. Мощность лазера составляла для образцов: 3-150 мВт, 4-130 мВт, 5-100 мВт. После обработки, из прямоугольных образцов были вырезаны круги с помощью лазера при мощности 900 мВт.

### **2.3 Спектроскопия комбинационного рассеяния света**

Для исследования структуры и химического состава полученных образцов методом спектроскопии комбинационного рассеяния света проводились измерения на спектрометре NT-MDT-Solar AFM/Raman на базе Научного парка НИ ТПУ. Измерения проводились на длине волны возбуждающего излучения 633 нм при использовании объектива с увеличением 100х.

### **2.4 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и элементный анализ методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX)**

Изображения сканирующей электронной микроскопии, а также элементный анализ были сделаны с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN Mira 3 (рисунок 4).



Рисунок 4 – Установка сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira 3

## 2.5 Рентгенодифракционный анализ (XRD)

Рентгеновская дифрактометрия проводилась с помощью дифрактометра XRD-6000 с облучением  $\text{CuK}\alpha$  скользящим лучом. Фазовый состав оценивался с использованием базы данных PDF 4+, а полнопрофильный анализ был сделан, используя программное обеспечение POWDER CELL 2.4.

## 2.6 Фототермическая активность

Для исследования фототермической активности использовался микроскоп «Микромед 3 люм» в качестве источника света (рисунок 5).

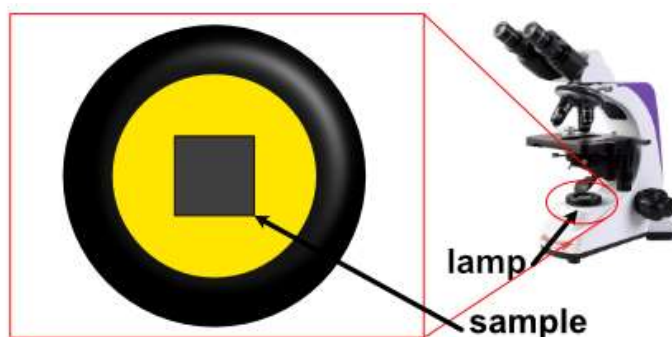


Рисунок 5 – установка для исследования фототермической активности

Тепловизионная камера НТ-02 от НТИ была зафиксирована на расстоянии 10 см от образцов. Образцы были оставлены на 180 с на диффузоре лампы. После истечения времени выдержки на тепловизионную камеру были сняты температурные карты образцов.

## 2.7 Дискодиффузионный метод

Для данного метода использовались грамотрицательный бактериальный штамм – *Escherichia Coli* и грамположительный бактериальный штамм – *Staphylococcus Aureus*. Выращивание бактерий было проведено в плотной питательной среде Лурия-Бертани в инкубаторе при температуре 37 °С в течение 24 часов. Бактерии *Staphylococcus Aureus* выращивали в жидкой питательной среде на основе мясного бульона. Культивация проводилась на орбитальном шейкере при 100 об/мин в течение 24х часов. Наконец, была подготовлена

суспензия каждого вида бактерий в трех различных концентрациях, которая позже использовалась для дальнейших тестов.

За день до начала теста однопроцентная питательная среда агара была помещена в чашку Петри и выдержана 24 часа в термостате при температуре 28-30°C в стерильных условиях. После этого 300 мкл суспензии каждой бактериальной культуры наносили на поверхность агара и равномерно распределяли по поверхности. Затем исследуемые образцы были помещены на высушенную питательную среду с помощью пинцета. Чашки Петри были помещены в инкубатор при 37°C на 48 часов. Степень антибактериального эффекта образцов определялась в проходящем свете по ширине зоны ингибирования роста от края образца.

## **2.8 Турбидиметрия**

Изучение антибактериальной активности образцов проводилось путем оценки жизнеспособности бактерий после определенного времени инкубации с образцом в жидкой среде. Этот метод основан на изменении оптической плотности суспензии с бактериями (мертвыми и живыми). Более высокое значение оптической плотности соответствует более высокой концентрации бактерий в суспензии. Для изучения жизнеспособности были подготовлены 34 пробирки с жидкой питательной средой объемом 4,5 см<sup>3</sup>. В каждую пробирку был помещен один образец. Затем в каждую пробирку было введено 0,5 см<sup>3</sup> бактериальной суспензии *E.coli* плотностью 3 единицы и оставлено на 0-24 ч. Отбор проб на определение оптической плотности производился через 0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, 300, 1440 минут. Изменение плотности бактериальной суспензии измерялось на длине волны 600 нм, с толщиной кюветы 1 см на спектрофотометре Agilent Cary 600.



## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для успешной реализации продукта на рынке необходимо проанализировать рынок и правильно определить целевую аудиторию. Для этого исследуем целевой рынок и проведем его сегментирование.

Под целевым рынком понимаются сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование рынка представляет собой разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В ходе последних мировых событий актуальность персонализированной защиты органов дыханий от воздействия вредоносных вирусных бактерий высока. На сегодняшний день существует большое количество защитных масок,

однако данные маски лишь задерживают капли влаги, которые образуются при кашле, чихании. В данных каплях могут содержаться возбудители различных респираторных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем. Разрабатываемые студентом маски помимо вышеупомянутых свойств обладают антибактериальным эффектом, способным предотвратить развитие вирусных бактерий. Производство подобных масок не является трудоемким, из-за чего их легко ввести в повседневное использование.

Подобные защитные маски можно будет купить в обычных аптеках. Тем самым, делаем вывод о том, что целевой аудиторией являются обычные граждане с любым уровнем заработка.

#### 4.2 Анализ конкурентоспособности технического решения

Оценка коммерческой ценности работы является необходимым условием поиска источников финансирования проведения НИ работы.

Для сравнения аналогов и выявления наиболее подходящего составляется оценочная карта (таблица 6). В данной карте производится оценка ресурсоэффективности с использованием технических и экономических критериев разрабатываемых защитных масок с антибактериальным агентом (1), обычных медицинских масок (2) и тканевых масок (3).

Оценивание будет проходить по 5-ти бальной шкале, где 5 – наиболее сильная, а 1 – наименее. Вес всех показателей в сумме составляет 1.

Таблица 6 – Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>	Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							

1. Удобство и комфорт в эксплуатации	0.14	5	5	5	0.7	0.7	0.7
2. Надежность	0.11	5	3	4	0.55	0.33	0.44
3. Антибактериальная способность	0.08	5	1	1	0.4	0.08	0.08
4. Безопасность органов дыхания (защита от вирусов)	0.11	5	4	3	0.55	0.44	0.33
5. Безопасность органов дыхания (затруднение дыхательного процесса)	0.10	5	2	4	0.5	0.2	0.4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Уровень проникновения на рынок	0.13	4	5	5	0.52	0.65	0.65
2. Цена	0.11	3	5	4	0.33	0.55	0.44
3. Конкурентоспособность продукта	0.12	5	5	3	0.6	0.6	0.36
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	2	5	0.4	0.2	0.5
ИТОГО:	1	41	32	34	4.55	3.75	3.9

Проведен анализ конкурентоспособности проекта, согласно которому проект конкурентно способен и опережает свои аналоги по итоговым баллам конкурентоспособности (см. таблицу 6).

### **4.3 SWOT-анализ проекта**

SWOT-анализ – это комплексный анализ научно-исследовательского проекта, включающий: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Анализ производится в несколько этапов.

Первый этап SWOT-анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, выявлении возможностей и угроз для его реализации. Второй этап состоит в поиске стратегий при сопоставлении вышеупомянутых аспектов.

Таблица 7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны:</b>  S1. Современный подход к персонализированной защите органов дыхания;  S2. Преимущество над традиционными аналогами;  S3. Помимо защиты органов дыхания, антибактериальный агент предотвращает распространение вирусных бактерий воздушно-капельным путём.  S4. Актуальность как во время эпидемий, так и в период обычной болезни.</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>  Z1. Непредсказуемость результатов испытаний и исследований, так как разработка является экспериментальной.  Z2. Необходимость в большом количестве исследований;  Z3: Слабая осведомленность</p>
<p><b>Возможности:</b>  A1. Развитие отечественной персонализированной медицины;  A2. Совершенствование материалов, из которых изготавливаются защитные маски, и производственного процесса  A3. Развитие науки в данной области.</p>	<p>Стратегия при сопоставлении сильных сторон и возможностей:  1. Аналоги представляют собой современный подход к персонализированной защите органов дыхания, которые можно достаточно быстро и просто ввести в эксплуатацию.  2. Качество и результат производимой продукции может привлечь потребителей, изначально не заинтересованных в данной продукции.</p>	<p>Стратегия при сопоставлении слабых сторон и возможностей:  Развитие технологий производства, совершенствование материалов не только оптимизирует производство продукции (появится возможность прогнозирования, что предотвратит возникновение ЧС ситуаций.), но и сделает товар качественным, безопасным в производстве, что привлечет больше новых покупателей.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  B1. Отсутствие спроса на новые аналоги;  B2. Рост стоимости сырья, оборудования для производства;  B3. Неудовлетворительные результаты испытаний;  B4. Конкуренция;</p>	<p>Стратегия при сопоставлении сильных сторон и угроз:  1.Продвижение товара за счет его инновационного подхода к решению проблемы;  2.Продвижение проекта с акцентированием на его сильных сторонах.</p>	<p>Стратегия при сопоставлении слабых сторон и угроз:  1. Постоянное совершенствование разработки для успешной конкуренции на рынке.  2. Увеличение стоимости продукции с ростом цен на сырье, оборудование и экспериментальные установки.  3. Низкий спрос из-за слабой осведомленности потребителей.</p>

По результатам SWOT-анализа можно заключить, что защитные медицинские маски с лазерной обработкой и антибактериальным агентом для предотвращения бактериальных и вирусных инфекций обладают большим

количеством сильных сторон, а также возможностей, которые можно будет реализовать в ближайшем будущем.

Для усиления своих слабых сторон и предотвращения возможных угроз необходимо решить вопрос с осведомлённостью населения о существующих современных аналогах и необходимости их применения через социальные сети, СМИ, провести достаточно испытаний, чтобы суметь спрогнозировать все возможные исходы, что в свою очередь оптимизирует производственный процесс, сделав его безопасным и быстрым. Так же необходимо найти несколько надежных поставщиков материалов.

Решение вышеописанных вопросов поможет вести гибкую ценовую политику в периоды, связанные с сильной инфляцией, повышением цен на материалы.

#### 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование предполагаемых работ проводится в следующем порядке:

- определение структуры НИ работ;
- определение участников каждого пункта в работе;
- установление срока продолжительности работы;
- построение графика проведения НИ работ (график Ганта).

В таблице 3 представлен перечень работ, этапов и распределение исполнителей.

Таблица 8 – Распределение исполнителей по основным этапам работ

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Подготовительная часть работы	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Описание объекта исследования	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Определение текстиля, наночастиц и других материалов для обработки масок	Студент
	5	Изучение эффекта лазерной обработки текстиля на его структуру	Студент

	6	Обработка полученных экспериментальных данных	Студент
	7	Создание защитных масок с лазерной обработкой	Студент
	8	Исследование фотокаталитической активности плазмонных наночастиц	Студент
	9	Исследование антибактериальных свойств функционализированных образцов ткани	Руководитель
	10	Обработка полученных экспериментальных данных	Студент
Контроль и координирование проекта	11	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности проделанной работы	Руководитель
Составление отчета о продлённой работе	13	Написание раздела «Финансовый менеджмент» проекта	Студент

#### 4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

За основную часть стоимости разработки берутся трудовые затраты, поэтому определим трудоемкость работ каждого участника НИ работ. Определим ожидаемое значение трудоемкости  $t_{ожі}$  по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы человеко-дни;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Определим продолжительность каждого основного этапа работы в рабочих днях, с учетом возможной параллельной работы нескольких исполнителей:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дни;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость исполнения одной работы, человеко-дни.

$Ч_i$  – численность сотрудников, выполняющих параллельно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Тогда:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3+6}{5} = 1,8 \text{ человеко-дни};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = 1,8 \text{ дня.}$$

#### 4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика проведения этапов работ научного исследования, используется диаграмма Ганта, по структуре, являющейся ленточным графиком. На графике работы научного исследования представляются в виде протяженных во времени отрезков, характеризующихся датами начала каждого из этапов научно-исследовательской работы. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ, приведенных в рабочих днях, следует перевести в календарные дни.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (4.3)$$

где  $T_{кал}$  – число календарных дней в году;

$T_{вых}$  – число выходных дней в году;

$T_{пр}$  – число праздничных дней в году.

Для расчета календарных дней исполнения работ используем данную формулу:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (4.4)$$

где  $T_{ki}$  – время выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – время выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Рассчитанные показатели в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляются до целого числа. Тогда:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48;$$

$$T_{ki} = T_{pi} k_{\text{кал}} = 1,8 \cdot 1,48 = 2,592 \approx 2 \text{ дня}$$

Все полученные значения вносим в сводную таблицу.

Таблица 9 – Временные показатели проведения проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\text{min}}$ , человеко-дни		$t_{\text{max}}$ , человеко-дни		$t_{\text{ожг}}$ , человеко-дни					
	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент
Составление и утверждение технического задания	2	–	4	–	2.8	–	2.8	–	4	–
Подбор и изучение материалов по теме	–	5	–	7	–	5.8	–	5.8	–	8
Описание объекта исследования	–	2	–	4	–	2.8	–	2.8	–	4
Определение текстиля, наночастиц и других материалов для обработки масок	–	5	–	8	–	6.2	–	6.2	–	9
Изучение эффекта лазерной обработки текстиля на его структуру	–	3	–	5	–	3.8	–	3.8	–	5
Обработка полученных экспериментальных данных	–	5	–	7	–	5.8	–	5.8	–	8
Создание защитных масок с лазерной обработкой	–	3	–	5	–	3.8	–	3.8	–	5
Исследование фотокаталитической активности плазмонных	–	2	–	5	–	3.2	–	3.2	–	4



наночастиц										
Исследование антибактериальных свойств функционализированных образцов ткани	7	–	21	–	12.6	–	12.6	–	18	–
Обработка полученных экспериментальных данных	–	10	–	14	–	11.6	–	11.6	–	17
Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	5	–	7	–	5.8	–	5.8	–	8	–
Оценка эффективности проделанной работы	3	–	5	–	3.8	–	3.8	–	5	–
Написание раздела «Финансовый менеджмент» проекта	–	2	–	4	–	2.8	–	2.8	–	4
Количество календарных дней для выполнения выпускной работы (руководитель)									35	
Количество календарных дней для выполнения выпускной работы (студент)									64	
Количество календарных дней для выполнения выпускной работы									99	

По данным из таблицы 9 строится график Ганта, представленный на рисунке 1.

Руководитель	06.10.2020	12.10.2020	22.10.2020	27.10.2020	10.11.2020	17.11.2020	27.11.2020	04.12.2020	11.01.2021	04.02.2021	02.03.2021	15.03.2021	22.03.2021	26.03.2021
Студент														
Составление и утверждение технического задания	■													
Подбор и изучение материалов по теме		■												
Описание объекта исследования			■											
Определение текстиля, наночастиц и других материалов для обработки				■										
Изучение эффекта лазерной обработки текстиля на его структуру					■									
Обработка полученных экспериментальных данных						■								
Создание защитных масок с лазерной обработкой							■							
Исследование фотокаталитической активности плазменных наночастиц								■						
Исследование антибактериальных свойств функционализированных образцов ткани									■					
Обработка полученных экспериментальных данных										■				
Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента											■			
Оценка эффективности проделанной работы												■		
Написание раздела «Финансовый менеджмент» проекта													■	

Полное окончание рабочего процесса

Рисунок 15 – График Ганта

Рабочий процесс был начат 06.10.2020, а закончен – 26.03.2021. Для выполнения работы студенту потребовалось 64 календарных дня, руководителю – 35 день. Общее время составило 99 календарных дня.

#### 4.5 Бюджет научно-технического исследования

В бюджет НТИ входят следующие виды затрат:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

#### 4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В данном разделе рассматривается стоимость необходимых для разработки проекта материалов.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Порошок AgNO <sub>3</sub>	г	50	–	3500
Водный раствор оксида графена	мл	250	–	13200
Джинсовая ткань	м	1	586	586
Предметное стекло	шт.	100	–	450
Пластиковый контейнер	шт.	1	98	98
Шприц одноразовый 5 мл	шт.	15	14	210
Скотч	шт.	1	27	27
Перманентный маркер	шт.	2	51	102
Перчатки одноразовые	шт.	100	–	749
Салфетки спиртовые	шт.	100	–	119
Услуги по печати и сшиванию работы	–	–	–	500
ИТОГО:				19 541

По результатам таблицы 10 материальные затраты на выполнение научно-исследовательской работы студента составили 19 541 рублей.

#### 4.5.2 Расчет затрат на оборудование и программное обеспечение

В таблице 11 представлены расчеты затрат на программное обеспечение и оборудование для научных (экспериментальных) работ.

Таблица 11 – Стоимость оборудования и программного обеспечения

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Лазерный гравёр CNC 3018	1	13 680	13 680
2.	СЭМ TESCAN MIRA3	1	16 992 000	16 992 000
3.	Рамановский спектрометр NT-MDT-Solar AFM/Raman	1	7 885 000	7 885 000
3.	Лазерный гравёр Trotec Speedy 300R	1	1 230 000	1 230 000
ИТОГО:				26 120 680

Рассчитаем амортизацию. Стоит учесть, что для стоимости меньше 40000, амортизация не рассчитывается.

$$A = \frac{\text{СТОИМОСТЬ} \cdot N_{\text{дней использования}}}{\text{срок службы} \cdot 365} \quad (4.5)$$

$$A_{\text{TESCAN MIRA 3}} = \frac{16\,992\,000 \cdot 1}{5 \cdot 365} = 9\,311 \text{ руб.};$$

$$A_{\text{NT-MDT-Solar AFM/Raman}} = \frac{7\,885\,000 \cdot 1}{5 \cdot 365} = 4\,321 \text{ руб.};$$

$$A_{\text{Trotec Speed 300R}} = \frac{1\,230\,000 \cdot 5}{5 \cdot 365} = 3\,370 \text{ руб.}$$

#### 4.5.3 Основная заработная плата исполнителей

В данном разделе производится расчет основной заработной платы (включая доплаты и премии) и дополнительную заработную плату участников: инженера и руководителя.

Общая заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.6)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Расчет основной заработной платы ( $Z_{осн}$ ) научного руководителя от предприятия (лаборатории дизайна медицинских изделий Научного парка НИ ТПУ) выполняется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.7)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного сотрудника;

$T_p$  – длительность работ, которые выполняются научно-техническим сотрудником, раб. дн;

$Z_{дн}$  – средняя заработная плата работника за день, руб.

Должностной оклад работника в месяц определяется по выражению:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.8)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата соответственно действующей тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (составляет 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_d$  – коэффициент надбавок и доплат, равный примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, составляющий 1.3 (для г. Томск);

$Z_{дн}$  – средняя заработная плата сотрудника за день, руб.:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.9)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад сотрудника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска за год:

- при отпуске в 24 рабочих дня  $M = 11,2$  месяца, по 5-дневной неделе;
- при отпуске в 48 рабочих дней  $M = 10,4$  месяца, по 6-дневной неделе;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени для научно-технического персонала, раб. дн.

Заработная плата исполнителя за месяц для:

- руководителя:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + K_{пр} + K_d) \cdot K_p;$$

$$Z_M = 45\,000 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 93\,600 \text{ руб.}$$

- студента:

$$Z_M = 20\,000 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 41\,600 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата для:

- руководителя (для 6-дневной недели):

$$Z_{дн} = \frac{93\,600 \cdot 10,4}{247} = 3\,941 \text{ руб.}$$

- студента (для 5-дневной недели):

$$Z_{дн} = \frac{41\,600 \cdot 11,2}{213} = 2\,103 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата для:

- руководителя:

$$Z_{осн} = 3\,941 \cdot 35 = 137\,935 \text{ руб.}$$

- студента:

$$Z_{осн} = 2\,103 \cdot 64 = 134\,592 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

- руководителя:

$$Z_{доп} = 0,16 \cdot 137\,935 = 22\,070 \text{ руб.}$$

- студента:

$$Z_{доп} = 0,16 \cdot 134\,592 = 21\,535 \text{ руб.}$$

Все расчеты приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет заработной платы труда исполнителей

	Руководитель	Студент
Заработная плата по тарифной ставке, ( $Z_{TC}$ ), руб.	45 000	20 000
Премииальный коэффициент ( $K_{пр}$ )	0,3	
Коэффициент доплат и надбавок ( $K_d$ )	0,15	
Районный коэффициент ( $K_p$ )	1,3	
Месячная заработная плата ( $Z_M$ ), руб	93 600	41 600

Среднедневная заработная плата ( $Z_{дн}$ ), руб.	3 941	2103
Продолжительность выполнения данного проекта ( $T_p$ ), раб. дни	35	64
Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ), руб	137 935	134 592
Коэффициент дополнительной заработной платы ( $k_{доп}$ )	0,13	
Дополнительная заработная плата исполнителей, ( $Z_{доп}$ ), тыс. руб.	22 070	21 535
Общая заработная плата ( $Z_{зп}$ ), руб.	160 005	156 127
ИТОГО, руб:	316 132	

Проведен расчет оплаты труда исполнителей. Определены суммы основной и дополнительной заработной платы. Общие затраты на основную заработную плату исполнителей темы составили 316 132 рублей.

#### 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Определим отчисления, обязательные к выплате от затрат на оплату труда сотрудников, согласно нормам органов государственного социального страхования (ФСС), медицинского страхования (ФФОМС) и пенсионного фонда (ПФ). Сумма отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (4.10)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений, уплачиваемых во внебюджетные фонды (ПФ, ФСС, ФФОМС и т.д.). Размер отчислений во внебюджетные фонды для образовательных и научных учреждений принимается на уровне 30.2%.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	137 935	134 592
Дополнительная заработная плата, руб.	22 070	21 535
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Сумма, руб.	48 322	47 150
ИТОГО, руб:	95 472	

Общие отчисления, основанные на заработной плате студента и руководителя, во внебюджетные фонды составляют 95 472 руб.

#### **4.5.5 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования**

Для формирования бюджета затрат НИ работы необходимо свести все расходы в одну таблицу и рассчитать общий бюджет проекта.

Таблица 14 – Бюджет НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты НТИ	19 541	0.073
2. Отчисления во внебюджетные фонды	95 472	0.36
3. Затраты на специальное оборудование	26 120 680	98.376
4. Оплата труда:	316 132	1.191
а. Основная заработная плата	(270 698)	(1.026)
б. Дополнительная заработная плата	(35 119)	(0.165)
5. Бюджет затрат НТИ	26 867 957	100

Рассчитанный бюджет НИ работы составляет 26 867 957 руб. Основные затратами являются затраты на покупку специального экспериментального оборудования.



#### 4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования

Показателем ресурсоэффективности автоматизированной системы является интегральный показатель ресурсоэффективности, определяющийся по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.11)$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – бальная оценка проекта, устанавливаемая экспертным путем согласно используемой шкале оценки.

Произведем оценку характеристик проекта (1) относительно медицинских масок (2) и тканевых масок (3).

Таблица 15 – Оценка характеристик проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>
1. Удобство и комфорт в эксплуатации	0.14	5	5	5
2. Надежность	0.11	5	3	4
3. Антибактериальная способность	0.08	5	1	1
4. Безопасность органов дыхания (защита от вирусов)	0.11	5	4	3
5. Безопасность органов дыхания (затруднение дыхательного процесса)	0.10	5	2	4
6. Уровень проникновения на рынок	0.13	4	5	5
7. Цена	0.11	3	5	4
8. Конкурентоспособность продукта	0.12	5	5	3

9. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	2	5
ИТОГО:	1	41	32	34

Определим интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_1 = 0,14 \cdot 5 + 0,11 \cdot 5 + 0,08 \cdot 5 + 0,11 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,13 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,12 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,61;$$

$$I_1 = 0,14 \cdot 5 + 0,11 \cdot 3 + 0,08 \cdot 1 + 0,11 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2 + 0,13 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,12 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 = 3,80;$$

$$I_1 = 0,14 \cdot 5 + 0,11 \cdot 4 + 0,08 \cdot 1 + 0,11 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,13 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,12 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 = 3,96;$$

По проведенной оценке, делаем вывод, что эффективность реализации технического проекта высока.

В результате экономического планирования научно-исследовательской работы была определена целевая аудитория, на которую рассчитана разработка студента.

С помощью SWOT-анализа изучены слабые и сильные стороны проекта, возможности и угрозы, составлены возможные стратегии, возникающие при сопоставлении вышеописанных аспектов SWOT-таблицы.

Рассчитаны затраты, на основе которых составлен общий бюджет НИ работы. Сумма бюджета составила 26 867 957 рублей. Большая часть затрат приходится на покупку экспериментального оборудования.

Проведена оценка эффективности проекта, на анализе которой сделан о высокой эффективности реализации данного проекта по сравнению с выбранными аналогами. Ресурсоэффективность проекта составила 4.61.