

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

---

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Наноматериалы и нанотехнологии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Модификация физико-химических свойств полилактида методом имплантации ионами серебра, аргона и углерода

УДК 678.5.067.048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Ращупкина Юлия Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Курзина Ирина Александровна	Д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Алек- сандровна	К.ф.-м.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	Д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Наноматериалы и нанотехнологии	Хасанов О.Л.	Д.т.н., проф.		

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

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

---

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Наноматериалы и нанотехнологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Хасанов О.Л.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б22	Ращупкиной Юлии Сергеевне

Тема работы:

Модификация физико-химических свойств полилактида методом имплантации ионами серебра, аргона и углерода

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Срок сдачи студентом выполненной работы:

8.06.2016

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

Цель работы – изучение влияния имплантации ионов серебра, аргона и углерода с различными экспозиционными дозами, а также воздействие электронного пучка на поверхностные физико-химические и функциональные свойства полилактида.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Задачи работы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Получение образцов полилактида</li> <li>2. Проведение ионной имплантации с экспозиционными дозами <math>1 \cdot 10^{14}</math>, <math>1 \cdot 10^{15}</math> и <math>1 \cdot 10^{16}</math> ион/см<sup>2</sup> с применением ионного источника Mevva 5.Ru.</li> <li>3. Проведение электронно-лучевой обработки с длительностью импульса в интервале 100-300 мкс с шагом 50 мкс с применением форвакуумного импульсного плазменного источника электронов.</li> <li>4. Исследование элементного и фазового состава полилактида в исходном состоянии и после ионного и электронного воздействия, методами: рентгеновской фотоэмиссионной спектроскопии, рентгенофазового анализа, инфракрасной спектроскопии, атомно-силовой микроскопии, сканирующей электронной микроскопии.</li> <li>5. Изучение поверхностных функциональных свойств материалов на основе полилактида, модифицированных ионной имплантацией и электронным пучком: микротвердость, электропроводность, смачиваемость и энергетическое состояние поверхности.</li> <li>6. Сравнительное изучение влияния условий облучения на физико-химические и функциональные свойства полилактида. Выявление зависимостей между условиями обработки и свойствами модифицированных материалов.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><i>Финансовый менеджмент...</i></p>	<p>Грахова Елена Александровна, ассистент кафедры менеджмента, к.ф.-м.н.</p>
<p><i>Социальная ответственность</i></p>	<p>Назаренко Ольга Брониславовна, профессор, д.т.н.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>28.03.2016</p>

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Курзина Ирина Александровна	Д. ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Ращупкина Юлия Сергеевна		

## ОБОЗНАЧЕНИЕ СОКРАЩЕНИЙ

ИИ – ионная имплантация

ПЛ – полилактид

ПИ – полиимид

ПЭТФ - полиэтилентерефталат

РФЭС – рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

ИК – инфракрасная спектроскопия

АСМ – атомно-силовая микроскопия

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

ММ – молекулярная масса

ГПХ – гель-проникающая хроматография

НТИ – научно – техническое исследование

НИР – научно – исследовательская работа

ВКР – выпускная квалификационная работа

НИОКР - научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

ПЭВМ - персональная электронно-вычислительная машина

ИСЭ СО РАН - Институт Сильноточной Электроники Сибирского отделения

Российской академии наук

ЧС – чрезвычайные ситуации

СДЯВ – сильнодействующие ядовитые вещества

ОВ – отравляющие вещества

ГО – гражданская оборона

ОМК - олигомер молочной кислоты

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 88 с., 16 рис., 22 табл., 35 источников.

Ключевые слова: полилактид, биоразлагаемые полимеры, ионная имплантация, электронно-лучевая обработка, модификация поверхностных свойств.

Объектом исследования является полимерный материал полилактид.

Цель работы – изучение влияния имплантации ионов серебра, аргона и углерода с экспозиционными дозами  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$  и  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, а также воздействие электронного пучка с длительностью импульса в интервале 100-300 мкс с шагом 50 мкс на поверхностные физико-химические и функциональные свойства полилактида.

В результате исследования показано, что в процессе ионной имплантации и электро-лучевой обработки происходят химические процессы приводящие к изменению структуры и поверхностных свойств образцов полилактида. Установлено, что после обработки образцов полилактида краевой угол смачивания уменьшается, повышается электропроводность, и уменьшается микротвердость поверхностного слоя.

Область применения: материалы биомедицинского назначения.

## **ABSTRACT**

Final qualifying work 88 p., 16 fig., 22 tab., 35 sources.

Key words: polylactide, biodegradable polymers, ion implantation, electron-beam treatment, modification of surface properties.

The object of research is polymer material based on polylactic acid.

The aim of this work is to investigate the effect of silver, argon and carbon ion implantation with exposition doses of  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$  and  $1 \cdot 10^{16}$  ions /  $\text{cm}^2$ , and the impact of the electron beam treatment with a pulse duration in the range of 100-300  $\mu\text{s}$  with increments of 50  $\mu\text{s}$  on the surface physicochemical and functional properties of polylactic acid.

It was observed that chemical processes leading to alteration in the structure and surface properties of polylactide samples occur in the process of ion implantation and electron-beam processing. It is found that the contact angle and microhardness of the surface layer are decreased after the treatments and electric conductivity of polylactide samples is increased.

Application area: materials for biomedical applications.

## Оглавление

Введение.....	10
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	13
1.1 Материалы на основе полилактида.....	13
1.2 Особенности обработки полимерных материалов ускоренными потоками ионов и электронов .....	16
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	23
2.1 Получение полилактида и условия обработки .....	23
2.2 Методы исследования физико-химических свойств материалов .	28
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
3.1 Характеристика полилактидных образцов, модифицированных методом ионной имплантации.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.2 Модификация свойств полилактидных материалов, обработанных электронным пучком.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.3 Сравнительное изучение влияние электронного воздействия и ионной имплантации на функциональные свойства полилактида .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	34
4.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	34
4.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований	37
4.3 Оценка научно-технического уровня исследования .....	46
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
5.1 Производственная безопасность <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	

5.2 Экологическая безопасность .. **Ошибка! Закладка не определена.**

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях **Ошибка! Закладка не определена.**

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности  
..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Выводы..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Список публикаций студента ..... 49

Список используемых источников.... **Ошибка! Закладка не определена.**

## **Введение**

Объектом исследования в настоящей работе является биосовместимый и биоразлагаемый полимер полилактид. Выбор материала обусловлен его широким применением в области биомедицинского назначения, в том числе для производства хирургических нитей и различных имплантатов. Биоразлагаемые полимеры широко применяются в биомедицине и тканевой инженерии вследствие их биосовместимости и способности к разложению в теле живого организма. Однако их применение в качестве материалов, внедряемых в живой организм ограничено низкой поверхностной энергией и недостатком функциональных групп для взаимодействия с клеточной средой.

Перспективным является возможность модифицирования поверхностных характеристик полимеров без существенного изменения объемных свойств. Ионная имплантация и электронно-лучевая обработка являются одними из наиболее эффективных методов модификации поверхностных свойств. В основе данных методов лежит бомбардировка поверхности мишени пучками заряженных частиц. В результате в приповерхностном слое обрабатываемых полимеров происходят химические процессы, приводящие к изменению элементного состава, функциональных и конструкционных свойств материала. Актуальным направлением является изучение процессов, приводящих к модификации структурных и физико-химических свойств материалов обработанных потоками ионов и электронов. Перспективными также являются исследования связанные с изучением влияния условий модификации на свойства полимерных материалов.

Целью работы являлось изучение влияния имплантации ионов серебра, аргона и углерода с различными экспозиционными дозами, а также воздействие электронного пучка на поверхностные физико-химические и функциональные свойства полилактида.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Получение образцов полилактида

2. Проведение ионной имплантации с экспозиционными дозами  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$  и  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> с применением ионного источника Mevva 5.Ru.

3. Проведение электронно-лучевой обработки с длительностью импульса в интервале 100-300 мкс с шагом 50 мкс с применением форвакуумного импульсного плазменного источника электронов.

4. Исследование элементного и фазового состава полилактида в исходном состоянии и после ионного и электронного воздействия, методами: рентгеновской фотоэмиссионной спектроскопии, рентгенофазового анализа, инфракрасной спектроскопии, атомно-силовой микроскопии, сканирующей электронной микроскопии.

5. Изучение поверхностных функциональных свойств материалов на основе полилактида, модифицированных ионной имплантацией и электронным пучком: микротвердость, электропроводность, смачиваемость и энергетическое состояние поверхности.

6. Сравнительное изучение влияния условий облучения на физико-химические и функциональные свойства полилактида. Выявление зависимостей между условиями обработки и свойствами модифицированных материалов.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Материалы на основе полилактида

Полимерные материалы – материалы на основе высокомолекулярных соединений – веществ, состоящих из однотипных групп атомов, соединенных химическими связями. Полимерные материалы на основе высокомолекулярных соединений, обычно многокомпонентные и многофазные. Это важнейший класс современных материалов, широко используемых во всех отраслях техники и технологии, в сельском хозяйстве и в быту. Отличаются широкими возможностями регулирования состава, структуры и свойств. Основные достоинства полимерных материалов: низкая стоимость, малая энергоемкость и малоотходность методов получения и переработки, невысокая плотность, высокая стойкость к агрессивным средам, низкая теплопроводность, высокие оптические-, радио- и электротехнические свойства, хорошие адгезионные свойства. Благодаря инертности и способности к разложению большинство полимерных материалов уже сейчас используются в биомедицинских приложениях.

Полимерами называют вещества с высокой молекулярной массой, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся одинаковых атомных групп, соединенных химическими связями. Для полимеров характерно присутствие длинных цепных молекул с сильным различием характера связей вдоль цепи и между ними. Также следует отметить, что в материале отсутствуют изолированные цепные молекулы. Молекула полимера постоянно находится во взаимодействии с окружающей средой. Именно поэтому для характеристики полимера недостаточно указания типа связей вдоль цепи - надлежит также обладать сведениями о природе межмолекулярного взаимодействия.

Необходимо учитывать, что характерные свойства полимеров могут проявиться, если связи вдоль цепи более прочные поперечных связей, образующихся благодаря межмолекулярному взаимодействию. Именно в этом и состоит главная особенность строения полимерных тел.

Важнейшие характеристики полимеров: химический состав, молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение, степень разветвленности и гибкости макромолекул, которые определяют свойства материалов.

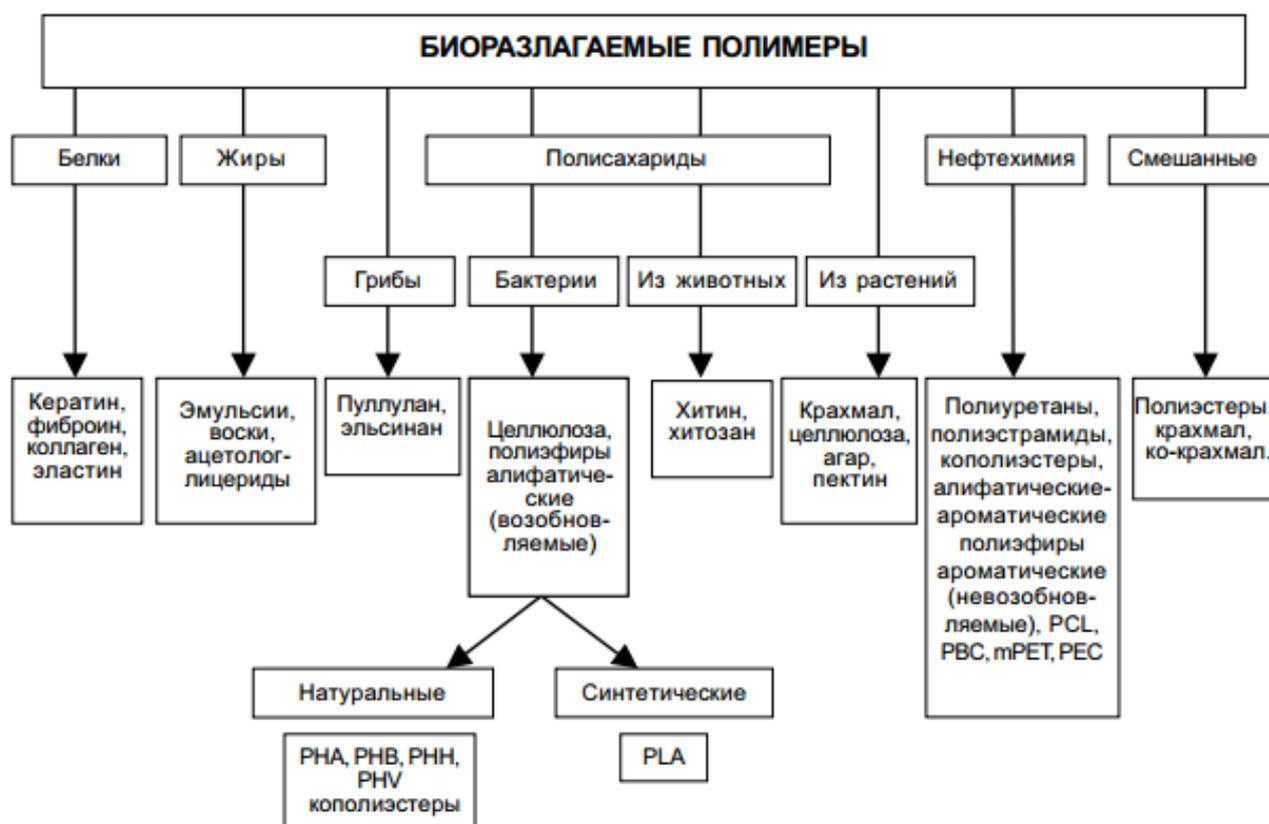
Полимеры можно подразделить на различные типы, в зависимости от происхождения, по составу основной цепи, по форме макромолекул, а также по способу получения. Основные типы представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация полимеров

По происхождению	По составу основной цепи	По форме макромолекул	По способу получения
-природные -синтетические -искусственные	-органические полимеры -элементоорганические полимеры -неорганические полимеры	-линейные -разветвленные -пространственные	-полимеризационные -поликонденсационные

Выделяют отдельно среди полимеров класс биоразлагаемых и биосовместимых полимеров (таблица 2). Биоразлагаемые – полимеры, которые разлагаются в окружающей среде за установленный срок. В животном мире в качестве опорного полимера клеток обычно выступают волокнистые и фибриллярные белки и пептиды, а в растительном мире и бактерий – полиэферы, полифенолы, полисахариды. Из-за близости некоторых свойств веществ растительного и животного происхождения и отсутствия на них иммунных реакций человеческого организма, в медицине давно и успешно применяются продукты их переработки – полимолочная кислота, коллагены, целлюлозы, пектины.

Таблица 2 – Нахождение биоразлагаемых полимеров в природе и биологической среде



Биосовместимые полимеры действуют или функционируют гармонично и согласованно при нахождении в организме или контакте с биологическими жидкостями, не вызывая заболевания или болезненных реакций. Применяются в различных областях для медицинского назначения: в хирургии для изготовления шовного материала, в ортопедии для изготовления костных имплантатов. Биосовместимые полимеры могут применяться не только в восстановительной хирургии. В настоящее время существует большое количество перспективных направлений использования материалов на основе биосовместимых полимеров, такие как: детские дозированные лекарственные формы для парентерального введения, протезы для сосудистой хирургии с антиагрегативным покрытием, рентгеноконтрастные гидрогели, биоклеи.

Одним из наиболее перспективных материалов, сочетающим в себе свойства биосовместимости и биоразлагаемости, является полилактид.

Полилактид является биоразлагаемым, биосовместимым, термопластичным материалом и может использоваться в медицине для производства хирургических нитей, имплантатов, штифтов. Одним из главных достоинств полилактида является то, что для его производства используется сырье из возобновляемых ресурсов. Полилактид легко разлагается в естественной среде: в компосте период биодеструкции составляет около одного месяца, в водной среде этот материал также разрушается (бактериями), но в течение более длительного срока. Несмотря на все преимущества использования полилактида его применение ограничено рядом недостатков в частности проблемы с адгезией и смачиваемостью поверхности. Устранить некоторые недостатки возможно с помощью модификации свойств поверхности методами пучковой обработки материалов. Одними из наиболее перспективных и эффективных методов поверхностной модификации физико-химических и функциональных свойств полимерных материалов являются ионная имплантация и электронно-лучевая обработка.

## **1.2 Особенности обработки полимерных материалов ускоренными потоками ионов и электронов**

В настоящее время проявляется огромный интерес к ионной имплантации полимеров, связанный с особыми механическими свойствами полимерных материалов, такими как, эластичность, малая хрупкость стеклообразных и кристаллических полимеров, способность макромолекул к ориентации под действием направленного механического поля и перспективой модификации этих свойств высокоэнергетическим воздействием ионных пучков. Внедрение энергетических ионов в органические полимеры полностью изменяет исходную высокомолекулярную структуру, что приводит к существенному изменению их свойств.

Ионная имплантация – это процесс, в котором любой легирующий элемент может быть внедрен в приповерхностную область твердого тела –

мишени, помещенной в вакуумную камеру, посредством пучка высокоскоростных ионов.

Обрабатываемые ионы преодолевают поверхностный энергетический барьер, внедряются в поверхностный слой, вызывая в нем повышение концентрации атомов обрабатываемого вещества и распределяются приблизительно по гауссовому закону по глубине мишени.

Ионная имплантация имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами обработки поверхности: поверхностные свойства материала можно изменять независимо от его объемных свойств; процесс не имеет термодинамических ограничений; имеется возможность создания твердых растворов с содержанием легирующих элементов, значительно превышающих пределы растворимости; ионная имплантация модифицирует существующие внешние поверхности и внутренние границы раздела; параметры ионной имплантации хорошо контролируются и могут быть воспроизведены с приемлемой точностью.

Недостатками процесса ионной имплантации является то, что при постоянной энергии ионов невозможно получить глубоко залегающий переход с одновременным присутствием примеси на поверхности, а также то, что ионная имплантация как метод поверхностной модификации непривычен большинству технологов, поэтому как технологический метод требует высокой квалификации обслуживающего персонала при эксплуатации сложного оборудования.

Следствием имплантации полимеров является деградация, обусловленная, прежде всего, модификацией химических связей. Основные процессы в условиях облучения: окисление, декарбонизация, разрезание молекулярных полимерных цепочек, а также их разветвление с образованием свободных радикалов, которые образуют поперечные связи. Интенсивность процессов разветвления тесно связана с типом полимера.

Процесс структурной модификации полимеров при ионной имплантации включает следующие основные стадии, соответствующие определенным дозовым нагрузкам:

- образование исходных структурных элементов деформирования карбонизированной фазы, протекающее на фоне радиационной сшивки полимера, выделения летучих компонентов и трансформации гетероатомных групп;
- рост углеродных кластеров, сопровождающийся частичным включением гетероатомов в углеродные решетки;
- образование связей между кластерами и их агрегации.

Каждой из этих стадий соответствует определенное изменение состава имплантируемого слоя и его структуры и морфологических свойств.

С точки зрения проведения экспериментов необходимо отметить особенности процесса ионного облучения полимеров, связанные с диэлектрическими свойствами материалов. При облучении возможно заряджение поверхности материалов. Для устранения данного факта в условиях ионного облучения разбавляют ионы вторичными электронами, которые снимают заряд с поверхности. Существенно важным последствием ионной имплантации является появление электропроводящих свойств у изначально диэлектрических полимеров. Электропроводность облученных ионами полимеров обусловлена образованием углеродсодержащих структур в ионно-имплантированном слое. По мере накопления дозы ионного облучения в имплантированном слое возникает система проводящих островков, разделенных потенциальными барьерами. Проводимость ионно-имплантированного слоя сильно зависит от деталей строения карбонизированной фазы. Поэтому электрическое сопротивление различных полимеров, подвергнутых ионной имплантации в одинаковых условиях, может отличаться на несколько порядков. Значение проводимости ионно-имплантированного слоя определяется также условиями имплантации, в частности энергией имплантируемых ионов. Общей тенденцией является увеличение проводимости облученных полимеров с ростом энергии имплантируемых ионов, причем наибольшие значения проводимости наблюдаются при передаче энергии от бомбардирующих ионов преимущественно по «электронному» механизму.

Так как технология имплантационного модифицирования позволяет внедрить в поверхность заданное количество практически любого химического элемента на заданную глубину, то таким образом можно сплавливать различные по природе материалы (полимеры, металлы, керамические материалы), которые в расплавленном состоянии не смешиваются, или легировать одно вещество другим в пропорциях, которые невозможно достичь даже при использовании высоких температур. Следовательно, оказалось возможным создавать композиционные системы с уникальными структурами и свойствами, существенно отличными от свойств основной массы детали.

Поэтому в настоящее время проявляется огромный интерес модификации полимеров методом ионной имплантации полимеров. Это связано с тем что, полимеры обладают особыми физико-химическими и механическими свойствами.

В литературе широко рассмотрены результаты по модификации поверхности полимеров ионным и электронным пучком. Интересной для практических целей оказалась работа Д.В. Свиридова посвящена имплантации низкоэнергетических ионов кремния, алюминия и иттрия в полиимид (ПИ). Имплантация ионов происходила с умеренной энергией ( $\sim 30$  кэВ), и низкой дозе имплантации ( $D < 10^{15}$  см<sup>-2</sup>). В результате эти условия имплантации способствуют подавлению эрозии поверхности полиимида.

В работе В.Н. Попок изучали влияние высоких доз имплантации на свойства пленок полиимида. Тонкие пленки полиимида были имплантированы ионами  $Ar^+$  и  $Ar^{2+}$  с энергиями 40 и 80 кэВ соответственно в широком интервале доз  $2,5 \cdot 10^{14}$ – $1,5 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup> и плотностей ионного тока 1–16 мА/см<sup>2</sup>. Показано, что эффект радиационно-стимулированного термолиза полиимида и особенности его химического строения обуславливают монотонный рост электропроводности облученного слоя с увеличением плотности ионного тока при заданных дозах имплантации.

В работе С.А. Вабищевич осуществляли бомбардировку ионов никеля в полиэтилентерефталат (ПЭТФ) и полиимид (ПИ). Условия ионной имплантации: энергия ионного пучка 40 кэВ в интервале доз  $D = 1,0 \cdot 10^{16} - 1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . В результате исследования, установлено, что с ростом дозы имплантации происходит кардинальное изменение морфологии новообразований на поверхности полимера – наблюдается переход от отдельных конусообразных островков к сплошной лабиринтообразной структуре, резкое увеличение (в 5-8 раз) шероховатости поверхности, а также переход от пластичного к хрупкому поведению имплантированного полимерного материала.

В работе Д.И. Бринкевич, А.А. Харченко, исследованы процессы модификации приповерхностных слоев пленок полиимида (ПИ), имплантированных ионами  $B^+$  с энергией 100 кэВ. Экспериментально показано, что в процессе ионной имплантации происходит модификация тонкого приповерхностного слоя полиимида не только с имплантированной, но и с обратной (неимплантированной) стороны пленки, в то время как в объеме полимера существенные изменения свойств не наблюдаются.

В работе Emel Sokullu-Urka посвящённой полилактиду (ПЛ) осуществляли бомбардировку ионов золота и углерода при энергии ионного пучка от 20 до 80 кВ и экспозиционных дозах  $10^{14} - 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . В результате при имплантации золота наблюдается повышение концентрации  $C1s$  и  $O1s$  при 284эВ, а также происходит разрыв связи  $-C-O$  в имплантированных материалах.

Помимо ионной имплантации возможно осуществление электронно-лучевую обработки полимерных материалов. Электронно-лучевое облучение полимеров в основном используется для улучшения адгезии к их поверхностям, повышения механической прочности, гидрофильности поверхности и, эластичности материалов. Использование интенсивных импульсных электронных пучков позволяет изменять параметры облучения: энергию электронов, плотность энергии пучка, длительность импульса, влиять на пространственное распределение выделенной энергии и динамику тепловых полей в приповерхностных

слоях твердых тел. При облучении формирование структуры и фазового состава материалов определяется совокупностью протекающих микро - и макропроцессов, отражающих соответственно прохождение электронов в веществе и рассеяние энергии. Электронный луч является очень гибким инструментом для обработки поверхностей полимерных материалов, благодаря своему широкому диапазону модификаций и технологических изменений. Низкоэнергетические электроны используются для стерилизации, сшивания или изменения поверхности полимерных материалов.

В работе Dermot J. Leonard, Louise T. Pick, полимерной мишенью являлись полилактид (ПЛ). Материалы обработаны при энергии излучения  $50 \cdot 10^3$  Гр и, ускоряющем напряжении 1,5 МэВ. Из экспериментальных результатов следует снижение молекулярной массы полилактида и увеличивается скорость растворения в биологической среде.

Интересной оказалась работа J.S.C. Loo, C.P. Ooi, F.Y.C. Voeu, посвященная электронно-лучевой обработке полилактида (ПЛ). Эксперименты проведены при ускоряющем напряжении 8 кВ; давлении  $3 \cdot 10^{-2}$  Торр, ток эмиссии 25-40 А. Результатом облучения является снижение молекулярной массы; реструктуризация поверхностного слоя; увеличение размеров доменов.

В работе С. Darraud-Taupiac изучали топографические модификации PADC полимерных подложек под действием электронного пучка 25 кэВ. Наблюдали изменение толщины в PADS полимера от вариации плотности энергии электронного пучка. Этот процесс был обусловлен уплотнением материала, связанного с энергией осаждения электронов в подложках, предположения были подтверждены компьютерным моделированием. Параллельно с этой работой исследовали связь между изменением показателя преломления и градиента осаждения энергии в процессе.

Таким образом, проведен анализ научных работ по изучению влияния ионного и электронного воздействия на структуру и свойства полимерных материалов. Установлено, что в различных научных коллективах описаны меха-

низмы химических процессов, протекающих в полимерной матрице при ионной имплантации и приводящих к кардинальному изменению электропроводности, микротвердости, гидрофильности и других поверхностных характеристик облученных полимеров.

Несмотря на широкий круг исследований, остаются открытыми вопросы, связанные с комплексными исследованиями влияния воздействия ионных пучков на свойства полимерного материала полилактида. Имеющиеся в литературе данные имеют разрозненный и противоречивый характер. Отсутствует информация по влиянию параметров облучения на свойства материалов. Недостаточно полно рассмотрены механизмы физико-химических процессов, протекающих в полилактиде в условиях облучения. В связи с этим, исследования по изучению влияния природы ионов и условий ионной имплантации, а также электронного облучения на функциональные характеристики полилактидных материалов являются актуальными. Целью данного исследования являлось изучение влияния имплантации ионов серебра, аргона и углерода с экспозиционными дозами  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$  и  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, а также воздействие электронного пучка с длительностью импульса в интервале 100-300 мкс с шагом 50 мкс на поверхностные физико-химические и функциональные свойства полилактида.

## 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Получение полилактида и условия обработки

Полилактид синтезировали в Лаборатории Полимеров и композиционных материалов ТГУ по методике. Синтез ПЛ проводили полимеризацией лактида с раскрытием цикла. Поскольку атомы углерода в лактиде с метильными группами хиральны, то лактид может существовать в трех диастериомерных формах: l-лактид, d-лактид и мезо-лактид. В качестве исходного вещества для получения олигомеров молочной кислоты (ОМК) использовали 80 %-ный водный раствор *L*-молочной кислоты (Puras, Нидерланды). Олигомеры получали в ротационном испарителе Heidolph laborota 4003. Начальные температуру и давление поддерживали равными 130 °С и 500 мбар, соответственно. По истечении 80 минут от начала синтеза температуру повышали поэтапно до 145, 160 и 180 °С с интервалами 20 минут. По достижении  $T = 180$  °С давление в реакционной системе понижали до 100 мбар со скоростью 100 мбар каждые 20 минут. Реакцию завершали через 5 часов. Синтез *L*-лактида проводили методом термической деполимеризации ОКМ в присутствии 0,5 массы (%) оксида цинка в качестве катализатора при температуре 220 °С и давлении 13-20 мбар в течение 30-70 минут. Полученный лактид-сырец очищали двукратной перекристаллизацией из этилацетата. Полимеризацию *L*-лактида проводили в ротационном испарителе Heidolph laborota 4003 при температуре 155 °С в присутствии октоата олова (катализатор) и лаурилового спирта (сокатализатор) в течение 6 часов. Синтез поли-*l*-лактида (ПЛ) проводили в течение 5 часов при температуре 170 °С в присутствии октоата олова и лаурилового спирта в качестве катализатора и сокатализатора, соответственно. Для очистки полученных полимеров от остатков непрореагировавших мономеров и катализатора, образцы растворяли в хлороформе и при интенсивном перемешивании высаживали в пятикратный избыток этанола. Реакционную массу полученного полимера из колбы выливали в чашку и просушивали при комнатной температуре. Образовавшиеся полимер-

ные пленки разрезали до размеров 1\*1 см. Получены образцы полилактида с ММ около 200000 г/моль.

Исследования, направленные на модификацию поверхностных свойств биоразлагаемых полимеров на основе полилактида производились с применением ионного источника Mevva 5.Ru на основе вакуумного дугового разряда. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

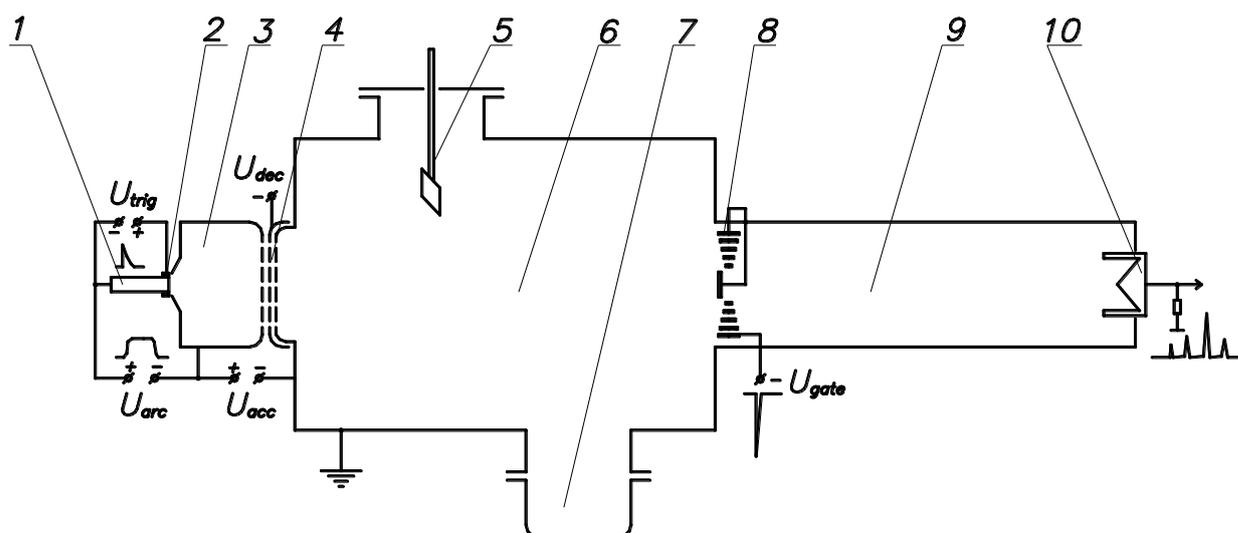


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки. 1- катод, 2- «поджигающий» электрод, 3- полый анод вакуумного дугового разряда, 4- трехэлектродная ионно-оптическая система, 5-коллектор, 6- вакуумная камера, 7- криогенный насос, 8- затвор времяпролетного спектрометра, 9- труба дрейфа времяпролетного спектрометра, 10- цилиндр Фарадея.

Функционирование ионного источника осуществляется следующим образом. Инициирование вакуумного дугового разряда производится при помощи разряда с амплитудой 2-5 кВ, длительностью несколько десятков микросекунд по поверхности керамики между катодом 1, диаметром 6,4 мм, изготовленного из необходимого материала (серебро, углерод), и анодом иницирующего разряда 2. Проникновение плазмы иницирующего разряда в основной разрядный промежуток вызывает его пробой, что приводит к инициированию вакуумной дуги между катодом 1 и полым анодом 3. Ток вакуумного дугового разряда амплитудой 200 А, при длительности импульса 250 мкс и регулируемой частоте

до 1 Гц обеспечивается источником питания на основе искусственной формирующей линии. Плазма материала катода 1, эмитируемая катодными пятнами, заполняет полый анод 3. На его торце расположен многоапертурный эмиссионный электрод, через отверстия которого осуществляется извлечение ионного пучка. Система извлечения 4 содержит электрод, на который подается отрицательное напряжение до 2 кВ для отражения вторичных электронов, выбитых с электродов системы извлечения и мишени в результате вторичной ионно-электронной эмиссии. Остаточное давление на уровне  $2 \cdot 10^{-6}$  Торр в вакуумной камере обеспечивалось криогенным насосом. Извлекающее ионы напряжение до 20 кВ прикладывается между полым анодом и заземленным извлекающим электродом. Извлеченный ионный пучок транспортируется в вакуумной камере 6.

В разрядной системе ионного источника Mevva-5.Ru, образованной полым анодом протяженностью 13 см и диаметром 10 см, и катодным узлом, при изменении полярности источника питания, а также при напуске газа, реализуются условия для функционирования самостоятельного тлеющего разряда, когда анод вакуумного дугового разряда становится полым катодом, и, соответственно, катодный узел является анодом. Напуск рабочего газа-аргона производился непосредственно в разрядную камеру ионного источника. Трёхсеточная ионно-оптическая система, состоящая из многоапертурных электродов, диаметром 10 см, обеспечивала перепад давления между ионным источником и вакуумной камерой в 100 раз. Устойчивое инициирование тлеющего разряда с полым катодом происходило при давлении аргона в ионном источнике не менее  $3 \cdot 10^{-2}$  Торр. Повышение давления более  $8 \cdot 10^{-2}$  Торр в ионном источнике приводило к возникновению пробоев в ионно-оптической системе, поэтому исследования производились при давлении аргона в ионном источнике  $5 \cdot 10^{-2}$  Торр, что соответствовало давлению в области вакуумной камеры  $5 \cdot 10^{-4}$  Торр.

Экспериментальные образцы полилактида подвергались воздействию пучков ионов серебра и углерода при функционировании ионного источника в

режиме вакуумного дугового разряда, и аргона, в режиме тлеющего разряда с полым катодом. Ускоряющее напряжение во всех экспериментах составляло  $U_{\text{уск}}=20$  кВ. С учётом средней зарядности  $\langle Q \rangle$  ионов металлов в плазме вакуумного дугового разряда, средняя энергия ионов в пучке определялась произведением  $\langle Q \rangle U_{\text{уск}}$ . Средняя энергия ионов аргона с учетом их средней зарядности  $\langle Q \rangle_{\text{Ar}}=1$  и составляла 20 кэВ. Скорость набора экспозиционной дозы и средняя плотность мощности регулировались током ионного пучка и частотой следования импульсов, и составляли  $1 \cdot 10^{11}$  ион/(см<sup>2</sup>·с) и 0.5 мВт/см<sup>2</sup>, соответственно. В процессе обработки ионными пучками образцы полимерных материалов размерами 1x1 см и толщиной от 1 до 3 мм фиксировались полосками клейкой ленты с алюминиевым основанием на поверхности коллектора, который охлаждался проточной водой. Расстояние между эмиссионным электродом ионного источника и образцами было около 60 см. Температура коллектора в процессе имплантации не превышала 20 градусов Цельсия. Имплантацию ионами серебра, углерода и аргона осуществляли до достижения экспозиционных доз  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$  и  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Условия имплантации полилактида приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Условия ионной имплантации полилактида

Образец	Доза, ион/см <sup>2</sup>	Ион	Уск.напряжение,кВ	Энергия, кэВ
ПЛ 0	0	-	-	-
ПЛ 1	$10^{14}$	Ag <sup>2+</sup>	20	20
ПЛ 2	$10^{15}$	Ag <sup>2+</sup>		20
ПЛ 3	$10^{16}$	Ag <sup>2+</sup>		20
ПЛ 4	$10^{14}$	Ar <sup>+</sup>		20
ПЛ 5	$10^{15}$	Ar <sup>+</sup>		20
ПЛ 6	$10^{16}$	Ar <sup>+</sup>		20
ПЛ 7	$10^{14}$	C <sup>+</sup>		20
ПЛ 8	$10^{15}$	C <sup>+</sup>		20
ПЛ 9	$10^{16}$	C <sup>+</sup>		20

Эксперименты по воздействию низкоэнергетичных (4–10 кэВ) импульсных электронных пучков на полилактид в форвакуумном диапазоне давлений осуществлялись на экспериментальной установке, схема которой представлена на рисунке 2.

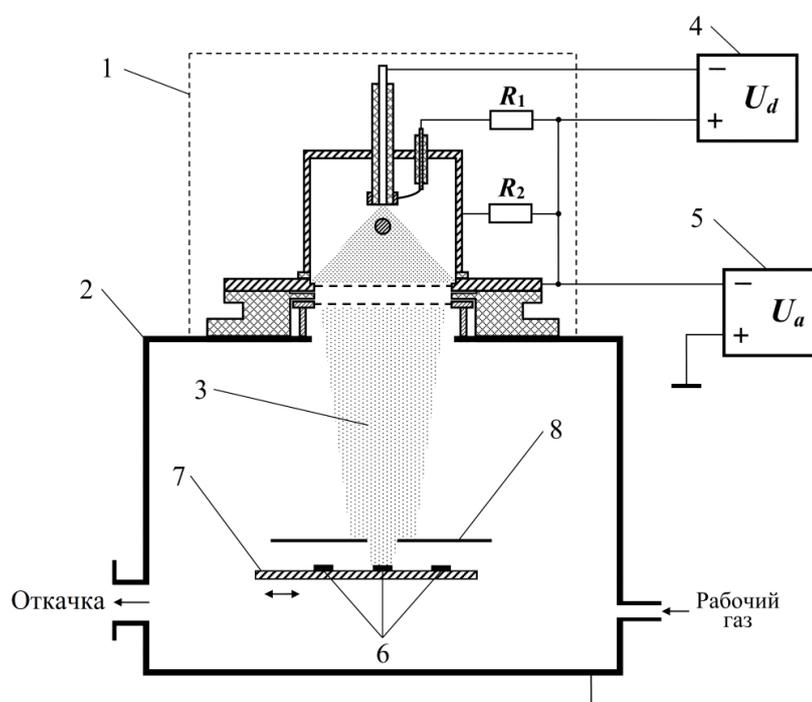


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для обработки полимеров: 1 – форвакуумный плазменный источник электронов; 2 – вакуумная камера; 3 – электронный пучок; 4 – импульсный блок питания разряда; 5 – высоковольтный блок постоянного ускоряющего напряжения; 6 – образцы; 7 – специальный подвижный держатель; 8 – защитный экран

Форвакуумный плазменный источник электронов 1 устанавливался на вакуумной камере 2, которая откачивалась механическим насосом. Рабочее давление  $P=5-10$  Па регулировалось непосредственным напуском рабочего газа (воздух) в вакуумную камеру. Питание импульсного плазменного источника, генерирующего электронный пучок 3, осуществлялось с помощью импульсного блока питания разряда 4 и высоковольтного источника ускоряющего напряжения 5.

Полимерные образцы 6 размещались на специальном подвижном держателе 7. Для предотвращения попадания электронного пучка на необработанные образцы, расположенные на держателе, устанавливался защитный экран 8, в котором была выполнена апертура диаметром 25–30 мм.

Облучаемые полимерные образцы были выполнены в виде пластин толщиной  $\approx 1$  мм и размером  $10 \times 15$  мм<sup>2</sup>. Условия в таблице 4.

Таблица 4 - Условия обработки ПЛ электронным пучком

Образец	Длительность импульса, $\tau$ , мкс	Ускоряющее напряжение, $U_{acc}$ , кВ	Плотность тока, $j_d$ , А/см <sup>2</sup>	Кол-во импульсов, $N$
ПЛ е1	100	8	4,5	10
ПЛ е2	150			
ПЛ е3	200			
ПЛ е4	250			
ПЛ е5	300			

## 2.2 Методы исследования физико-химических свойств материалов

Исследованы физико-химические свойства образцов на основе полилактида до и после ионной имплантации элементный, фазовый составы, морфология, смачиваемость и функциональные свойства полученных полимерных образцов.

Элементный состав поверхности исследовался методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) с помощью RIX-tool automated XPS microprobe. Образцы устанавливали на держатель с помощью, проводящей углеродной или медной ленты. Для РФЭС анализа использовали монохромный источник рентгеновского излучения с рентгеновским пятном размером 400 мкм.

В процессе анализа использовали стандартную систему компенсации заряда с низкой энергией электронов и ионов ( $\approx 0,1$  эВ).

Характеристики химических связей полилактида изучали методом инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии) при помощи ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700 на приставке однократного НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) с разрешением  $4\text{см}^{-1}$ .

Молекулярную массу (ММ) определяли методом ГПХ (гель-проникающая хроматография) (элюент – хлороформ) на хроматографе Agilent 1200 Infinity LC с рефрактометрическим детектором (Agilent -Technologies, США).

Основные структурные характеристики материалов исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью зондовой нанолaborатории NTEGRA Aura. Исследование смачиваемости полилактида проводили на установке EasyDrop (KRUSS) с помощью ПО DSA1.

Краевые углы полилактида измеряли по профилю лежащей капли путем проведения касательной в точке трехфазного контакта твердое тело-жидкость-газ. Для дозирования жидкостей применялась игла с внутренним диаметром 0,5 мм, объем дозированной капли 3 мкл. Краевой угол измеряли согласно уравнению Юнга:

$$\sigma_{\text{тг}} = \sigma_{\text{гж}} + \sigma_{\text{жг}} \cos\theta \quad (1)$$

где  $\theta$  – краевой угол,  $\sigma_{\text{тг}}$ ,  $\sigma_{\text{гж}}$ ,  $\sigma_{\text{жг}}$  – коэффициенты поверхностного натяжения на границах твердое тело-газ, твердое тело-жидкость, жидкость-газ, соответственно.

Для определения свободной поверхностной энергии полилактида были измерены краевые углы с водой (преобладает полярная компонента) и глицерином (преобладает дисперсионная компонента) с известными величинами поверхностного натяжения, равными соответственно 72,8 и 63,4 мН/м, и вязкостью соответственно 1,002 и 1067,3 мПа·с.

Расчет поверхностной энергии полилактида проводили согласно уравнению Оуэнса-Вендта:

$$\sigma_{\text{ТВ-Ж}} = \sigma_{\text{ТВ}} + \sigma_{\text{Ж}} - 2(\sqrt{\sigma_{\text{ТВ}}^D \cdot \sigma_{\text{Ж}}^D} + \sqrt{\sigma_{\text{ТВ}}^P \cdot \sigma_{\text{Ж}}^P}) \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{ТВ}}$  – поверхностное натяжение на границе твёрдая поверхность – газ;  $\sigma_{\text{ТВ-Ж}}$  – поверхностное натяжение на границе жидкость-твёрдая поверхность;  $\sigma_{\text{Ж}}$  – поверхностное натяжение на границе жидкость-газ;  $\sigma^D$  – дисперсионная и  $\sigma^P$  – полярная составляющая поверхностного натяжения.

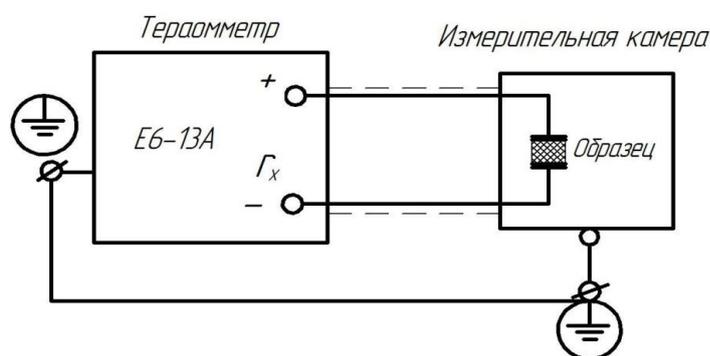


Рисунок 3 – Схема измерения поверхностного сопротивления с помощью тераомметра E6-13

Микротвердость измеряли при помощи нанотвердомера Nanotest 600 в режиме индентирования при нагрузке 0,5 мН и глубине проникновения индентора до 400 нм. Поверхностное сопротивление измерялось при помощи тераомметра E6-13A в диапазоне от  $10^6$  до  $10^{14}$  Ом с погрешностью измерений до  $\pm 10\%$ . Прибор позволяет проводить измерение сопротивления при относительно малом (не более 100 В) напряжении, прикладываемому к измерительным электродам. Таким образом минимизировалось влияние поляризации материала исследуемого образца, и, следовательно, абсорбционного тока, на процесс измерения сопротивления. Схема измерения поверхностного сопротивления представлена на рисунке 3. В качестве контактов (электродов) использовался листовая вспененный графит в виде пластин, плотно прижатых к полимерному образцу.

Значения удельного поверхностного сопротивления рассчитывались по формуле:

$$\rho = R \cdot \frac{b}{l} \quad (3)$$

где  $R$  – измеренное сопротивление,  $b$  – длина контактов,  $l$  – расстояние между контактами.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б22	Ращупкиной Юлии Сергеевне

Институт	ИФВТ	Кафедра	НМНТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	МТБ для проведения исследования является лаборатория ИСЭ СО РАН.  Человеческие ресурсы НИР: сотрудники лаборатории (2 чел.)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Потенциальные потребители проекта. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование  - Определение потенциальных потребителей результатов исследования  - Swot-анализ НИИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- Планирование работ по НИР (определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ)  - Формирование бюджета НИИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Оценка научно-технического уровня исследования

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

1. Матрица SWOT	
2. График проведения и бюджет НИ	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Е. А.	К.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Ращупкина Юлия Сергеевна		

## **4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Выпускная квалификационная работа посвящена научно-техническому исследованию по изучению влияния имплантации ионов, а также воздействие электронного пучка на поверхностные физико-химические и функциональные свойства полилактида. Выбор материала обусловлен его широким применением в области биомедицинского назначения, в том числе для производства хирургических нитей и ортопедических имплантатов. Ионная имплантация и электронно-лучевая обработка являются одними из наиболее эффективных методов модификации поверхностных свойств материалов. В основе данных методов лежит бомбардировка поверхности мишени пучками заряженных частиц. В результате в приповерхностном слое обрабатываемых полимеров происходят химические процессы, приводящие к изменению функциональных и конструктивных свойств материала.

Целью данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ), планирование процесса управления НИР, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Для достижения настоящей цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НТИ;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет исследования;
- определить научно-техническую эффективность НИР.

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

В качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать научно-исследовательские институты и лаборатории, работаю-

щие с ионно-модифицированными полимерами, также имеет широкое применение в области биомедицинского назначения, в том числе для производства хирургических нитей и ортопедических имплантатов.

Биодеградируемые полимеры широко применяются в биомедицине и тканевой инженерии вследствие биосовместимости и способностью к разложению в теле живого организма. Однако их применение в живом организме ограничено низкой поверхностной энергией и недостатком функциональных групп для взаимодействия с клеточной средой. Перспективным является возможность модифицирования поверхностных характеристик без существенного изменения объемных свойств.

Ионная имплантация и электронно-лучевая обработка являются одними из наиболее эффективных методов модификации поверхностных свойств. В основе данных методов лежит бомбардировка поверхности мишени пучками заряженных частиц. В результате в приповерхностном слое обрабатываемых полимеров происходят химические процессы, приводящие к изменению функциональных и конструкционных свойств материала.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательской работы.

SWOT – анализ позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие достижению успеха научного исследования.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 8- Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>С1.Экологичность технологии. Не несет вредных воздействий на окружающую среду.</p> <p>С2.Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С3.Спрос по разрабатываемой теме.</p> <p>С4.Наличие финансирования со стороны РФФИ.</p>	<p>Сл1.Высокая стоимость материала для выполнения исследования.</p> <p>Сл2.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3.Отсутствие компании, занимающейся проведениями конкретных исследований для данного образца</p>
Возможности	Угрозы
<p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2.Использования современного оборудования ИСЭ СО РАН.</p> <p>В3.Внедрение разработки на зарубежный рынок</p> <p>В4. Появление дополнительного спроса на данный продукт в области биомедицинского назначения.</p>	<p>У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2.Производители с более развитыми технологиями и низкими издержками.</p> <p>У3.Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У4.Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У5.Ограничения на экспорт технологии.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 9 - Интерактивная матрица НИР

Сильные стороны НИР					
		С1	С2	С3	С4
Возможности НИР	В1	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	+	-	+	+
	В4	+	+	+	+

По полученным данным можно сделать вывод, что возможности совместно с сильными сторонами НИР благоприятствуют достижению целей научно – исследовательской работы. Разрабатываемое исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности и экологичность процесса, а также носит благоприятный фактор для внедрения на рынок данного исследования.

#### 4.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения трудоемкости выполнения проекта составим перечень основных этапов работы написания ВКР, представленных в таблице 10.

Таблица 10 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель, студент-дипломник
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник, руководитель
	3	Выбор моделей и способов анализа	Студент-дипломник
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент-дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, консультант, студент-дипломник
	6	Поиск методов решения	Студент-дипломник

Продолжение таблицы 10

	7	Реализация моделей	Студент-дипломник, консультант
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы	Студент-дипломник
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 4}{5} = 2,2 \approx 2,$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{2}{1} = 2,$$

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

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$\Psi_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k = 2 \cdot 1,5 = 3,$$

где  $T_{ki}$  - продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

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

$k$  – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}},$$

где  $T_{кг}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$  – количество праздничных дней в году

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{366}{366 - 104 - 10} = 1,45 \approx 1,5$$

Результаты расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Временные показатели проведения ВКР

№ раб.	Название работы	Исполнители	Продолжительность работ				
			$t_{\min}$ чел- дн	$t_{\max}$ чел- дн	$t_{\text{ож}}$ чел- дн	$T_{pi}$ раб дн	$T_{ki}$ кал.дн
1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель, студент-дипломник	1	4	2	2	3

Продолжение таблицы 11

2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник	10	30	18	18	27
3	Выбор моделей и способов анализа	Студент-дипломник, руководитель	2	5	3,2	3,2	4,8
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент-дипломник	4	9	6	6	12,6
5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, консультант, студент-дипломник	7	14	9,8	9,8	14,7
6	Поиск методов решения	Студент-дипломник	4	12	7,2	7,2	10,9
7	Реализация моделей	Студент-дипломник, консультант	3	10	5,8	5,8	8,8
8	Анализ полученных результатов, выводы	Студент-дипломник	1	5	2,6	2,6	3,9
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник	2	10	5,2	5,2	7,8
10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник	2	7	4	4	6
Итого							99,5

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения НИР в форме диаграмм Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными по времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

На основе таблицы 11 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 11 с разбивкой по месяцам и

декадам. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 12 – Календарный план-график проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель, студент-дипломник	■ ■				
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник		■			
3	Выбор моделей и способов анализа	Студент-дипломник, руководитель				■ ■	
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент-дипломник				■ ■	
5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, консультант, студент-дипломник			■ ■ ■		
6	Поиск методов решения	Студент-дипломник				■	
7	Реализация моделей	Студент-дипломник, консультант				■ ■	
8	Анализ полученных результатов, выводы	Студент-дипломник				■	
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник				■ ■ ■	
10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник					■

■ - руководитель, ■ - консультант, ■ - студент-дипломник.

Для построения таблицы временных показателей проведения НИР был рассчитан коэффициент календарности. С помощью данных показателей был разработан календарный план - график проведения НИР по теме. Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного проекта потребуется 64 рабочих дней.

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.компл.техн}} + I_{\text{з/пл}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции.

Рассчитываем материальные затраты ( $I_{\text{мат}}$ ). Результаты расчета сведем в таблицу 13.

Таблица 13 - Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Полилактид	кг	1	15000	15000
Бумага формата А4	лист	400	3	1200
Компьютер	шт	1	35000	35000
Принтер	шт	1	5000	5000
Интернет	М/бит (пакет)	5	500	2500
Перчатки	шт	10	20	200
Канцелярские принадлежности (Тетрадь)	шт	2	20	40
Канцелярские принадлежности (Ручки)	шт	2	40	80
Итого:				59020

$$I_{\text{мат}} = K_{\text{пл}} + K_{\text{бум}} + K_{\text{инт}} + K_{\text{комп}} + K_{\text{руч}} + K_{\text{тет}} + K_{\text{карт}} = 15000 + 1200 + 35000 + 5000 + 2500 + 200 + 40 + 80 = 59020 \text{ руб.}$$

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году. Рассчитаем амортизацию компьютерной техники ( $I_{\text{ам.комп.техн}}$ ).

Для расчета амортизации оборудования воспользуемся следующей формулой:

$$I_{\text{ам.комп.техн.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}},$$

где  $T_{\text{исп.к.т.}}$  = 455 дней – время использования компьютерной техники;  
365 дней – число дней в году;  $K_{\text{комп.т.}}$  – стоимость компьютерной техники;  
 $N_{\text{а}}$  – норма амортизации.

$$K_{\text{комп.т.}} = K_{\text{комп}} + K_{\text{принтера}}$$

где  $K_{\text{комп}}$  – стоимость компьютера, руб.;  $K_{\text{принтера}}$  – стоимость принтера, руб.;

$$N_{\text{а}} = 1/T_{\text{сл.к.т.}},$$

где  $T_{\text{сл.к.т.}}$  – срок службы компьютерной техники, год.

$$I_{\text{ам.комп.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/366) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}} = (455/365) \times 35000 \times (1/7) = 6232 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.прин.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/366) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}} = (118/365) \times 5000 \times (1/5) = 323 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.комп.техн}} = I_{\text{ам.комп.}} + I_{\text{ам.прин.}} = 6232 + 323 = 6555 \text{ руб.}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 14.

Таблица 14 - Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{комп.т.}}$ руб.	$T_{\text{исп.к.т.}}$ дней.	$I_{\text{ам.комп.техн.}}$ руб
Компьютер	35000	455	6232
Принтер лазерный цветной	5000	455	323
Итого:			6555

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 850 рублей, а студент 400 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

$$Z_{зпрук} = (850 * 30) + 5100 = 31100 \text{ рублей};$$

$$Z_{зпст} = (400 * 30) + 2400 = 14400 \text{ рублей}.$$

Максимальная основная заработная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн},$$

где:  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{допрук} = 0,12 * 31100 = 3732 \text{ рублей},$$

$$Z_{допст} = 0,12 * 14400 = 1728 \text{ рублей}.$$

Таблица 15 - Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Студент-дипломник
Основная зарплата	31100	14400
Дополнительная зарплата	3732	1728
Зарплата исполнителя	34832	16128

Таким образом, заработная плата руководителя равна 34832 рублей, студента – 16128 рублей.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = K_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где  $K_{внеб}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = 0,27 * 34832 = 9404 \text{ рублей}$$

$$C_{\text{внеб}} = 0,27 * 16128 = 4354 \text{ рублей}$$

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \sum \text{статей} \right) \cdot k_{\text{нр}},$$

где:  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$C_{\text{накл.}} = 0,16 \% * 85011 = 13601 \text{ рублей}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{прочие}} = 0,02 * (I_{\text{мат}} + 3П + I_{\text{ам.комп.т.}} + ЕСН) = 0,02 * (59020 + 34832 + 16128 + 6555 + 7800) = 2486 \text{ рублей}$$

Рассчитываем себестоимость НТИ (К).

$$\Sigma_K = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.комп.техн}} + 3П + I_{\text{внеб}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}} = 59020 + 6555 + 34832 + 16128 + 13844 + 13601 + 2486 = 146466 \text{ рублей}$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость НТИ включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 * K_{\text{нти}} = 0,3 * 146466 = 43940 \text{ рублей}$$

Рассчитываем стоимость НТИ (Ц).

$$Ц = K_{\text{нти}} + ПР = 146466 + 43940 = 190406 \text{ рублей}$$

Таблица 16 - Расчет бюджета затрат НИИ

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	И <sub>матер</sub>	59020
Амортизация компьютерной техники	И <sub>ам, комп. техн</sub>	6555
Затраты на оплату труда	ЗП	50960
Отчисления на социальные нужды	И <sub>соц. отчисл</sub>	13758
Накладные расходы	И <sub>накл. расх</sub>	13601
Прочие затраты	И <sub>прочие</sub>	2486
Себестоимость НИИ	К <sub>ни</sub>	146466
Плановые накопления (прибыль)	ПР	43940
Стоимость НИИ (цена)	Ц	190406

Общая смета затрат НИИ составила 527192 рублей.

#### 4.3 Оценка научно-технического уровня исследования

Важнейшим результатом проведения НИР является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле [1]:

$$N_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i ,$$

где  $N_T$  — показатель научно-технического уровня, определенный по трем признакам;  $R_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;  $n_i$  — количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблица 18, 19).

Таблица 17 - Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
1. Уровень новизны	0,5
2. Теоретический уровень	0,3
3. Возможность реализации	0,2

Таблица 18 - Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 19 - Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Результаты оценок признаков отображены в таблице 20.

Таблица 20 - Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	$K_i$	$P_i$
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0,5	6
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,3	6
3. Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,2	10
4. Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	0,2	2

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности, определяем показатель научно - технического уровня:

$$H_m = 0,5 \times 6 + 0,3 \times 8 + 0,2 \times 12 = 7,8$$

Таблица 21 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТУ	Показатель НТУ
Низкий	1 - 4
Средний	4 - 7
Сравнительно высокий	7 - 10
Высокий	10 - 13

Таким образом, данная НИР имеет сравнительно высокий уровень НТУ, равный 7,8.

Итак, в данном разделе выпускной квалификационной работе подробно приведен план выполнения работы, произведена оценка трудоемкости работы. Осуществлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта, на основе которого выявлены слабые стороны проекта и предложены рекомендации для их устранения.

Рассчитан бюджет научного исследования. Как видно из проведенного анализа общая стоимость настоящего научного исследования 527192 рублей. Определен показатель научно-технического уровня НИР, который является сравнительно высоким, что говорит о том, что выполненная работа обеспечивает научно-технический прогресс в области биомедицинского назначения.

Исходя из полученных результатов вышеприведенного экономического обоснования, ряд задач, поставленных для осуществления цели данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнены. В целом данное научное исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности.

## Список публикаций студента

1. Ращупкина Ю. С. Повышение поверхностной проводимости кремнийорганической резины методом имплантации ионов металлов / И. А. Курзина // Высокие технологии в современной науке и технике: сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск. - 2015. - С. 47-50.

2. Ращупкина Ю. С. Нанотрубки для строительных материалов - стоит ли развивать это направление? / А.Ю. Годымчук // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов III Всероссийского конкурса научных докладов студентов. - 2015. - С. 38.

3. Ращупкина Ю.С. Влияние ионной имплантации на поверхностные свойства полилактида / Д.В. Давыдова, И.А. Курзина, И.В. Пухова, Е. Шаповалова //Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - 2016.

4. Ращупкина Ю.С. Влияние ионного воздействия на поверхностные свойства полилактида / И.А. Курзина, И.В. Пухова // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении. Сборник научных трудов в разработке. – 2016.