

Министерство образования и науки 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
Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Вибрационная спектроскопия биосовместимых полимеров

УДК 678.07:577.11:543.422.3-74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Богатова Елена Геннадьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шеремет Евгения Сергеевна	PhD		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	- К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	- Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Полисадова Елена Федоровна	к. ф. -. м. н.		

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные и общепрофессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные (общекультурные) компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки 12.03.02 «Оптотехника»
Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. зав. кафедрой ЛИСТ

(подпись) _____ Е.Ф.Полисадова
(дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Богатова Елена Геннадьевна

Тема работы:

Вибрационная спектроскопия биосовместимых полимеров
утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	4 июня 2018
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Исследование биосовместимых полимеров используемых для производства имплантатов методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС).
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассмотренной области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Изучение научной литературы по спектроскопии КРС полимеров. Измерение спектров КРС. Анализ спектров для получения информации о кристаллическом качестве материала.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Е.Ю.
Социальная ответственность	Назаренко О.Б.
Раздел ВКР на иностранном языке	

Названия разделов, которые должны быть выполнены русским и иностранным языках:

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	29.09.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Шеремет Евгения Сергеевна	PhD		29.09.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4в41	Богатова Елена Геннадьевна		29.09.2017

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Богатовой Елене Геннадьевне

Школа	ИШНПТ	Направление	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Оптотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материальные расходы 2480 руб.; Заработная плата 291 876 руб.; Бюджет НИИ 388 727 руб
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации основных фондов: 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды составляет 27,1%, районный коэффициент для Томска равен 1,3.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ и их временная оценка
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Смета затрат на оборудование Оценка экономической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- Оценка конкурентоспособности технических решений
- Матрица SWOT
- График проведения и бюджет НИ
- Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	- к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Богатова Елена Геннадьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Богатовой Елене Геннадьевне

Школа	ИШНПТ	Направление	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Характеристика работы: анализ литературы по теме исследования, работа с рамановским спектрометром Centaur I</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность <i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).	<i>Выявление вредных и опасных факторов и влияния их на организм.</i>
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	<i>Анализ воздействия исследования и разработки на окружающую среду.</i>

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Анализ безопасности при пожарах и других чрезвычайных ситуациях
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Организация рабочего пространства и соблюдение режима труда-отдыха

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	- д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Богатова Елена Геннадьевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 69 с., 19 рис., 10 табл., 23 источников.

Ключевые слова: поликапролактон, спектроскопия комбинационного рассеяния света (рамановская спектроскопия), кристалличность, покрытие нитрида титана.

Объектом исследования являются спектры комбинационного рассеяния полимеров с разными временами нанесения покрытий.

Цель работы — Определить влияние времени нанесения покрытия на степень кристалличности биосовместимых полимеров при помощи метода спектроскопии комбинационного рассеяния (КР).

В процессе исследования проводились измерения спектров комбинационного рассеяния с использованием источников с длинами волн 405 нм, 532 нм и 785 нм. В результате исследования были получены и проанализированы спектры комбинационного рассеяния света образцов и изучена зависимость времени покрытия от степени кристалличности. При увеличении времени покрытия нитрида титана увеличивается степень кристалличности поликапролактона. Был проведен сравнительный анализ спектрометров при помощи измерений образца кремния для определения стандартного отклонения ширины пиков на полувысоте.

Степень внедрения: результаты данной работы будут использоваться для последующего изучения полимеров с покрытием нитрида титана и помогут скорейшему внедрению таких полимеров в использование в качестве имплантов.

Область применения: медицинские биоразлагаемые импланты.

Экономическая значимость работы: доступный и неразрушающий анализ полимеров. В дальнейшем планируется анализ других полимеров на степень кристалличности и количественное определение степени кристалличности.

Оглавление

Введение	10
1. Обзор литературы	12
1.1 Актуальность использования биоразлагаемых полимеров	12
1.2 Поликапролактон как биоразлагаемый материал.....	14
1.3 Метод создания полимерных имплантов	15
1.4 Степень кристалличности полимеров.....	17
1.5 Покрытие нитрида титана и его влияние на структуру	17
1.6 Рамановская спектроскопия как метод исследования степени кристалличности.....	20
2. Описание объекта и метода исследования	24
2.1 Объект исследования.....	24
2.2 Метод исследования	27
3. Анализ полученных результатов	31
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	44
4.1 Предпроектный анализ.....	44
4.2 План проекта	45
4.3 Определение трудоемкости выполнения работ	46
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	47
4.5 Расчет материальных затрат НТИ.....	48
4.6 Основная заработная плата.....	50
4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	53
4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	53
Выводы по разделу 4	54
5. Социальная ответственность.....	56
5.1 Производственная безопасность	56
5.2 Эргономические условия работы на ПЭВМ	60
5.3 Экологическая безопасность	62
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	63
5.5 Законодательное регулирование проектных решений.....	65
Выводы по разделу 5	66
Заключение.....	67
Список используемых источников	69

Введение

Биосовместимые полимеры в настоящее время часто используются в качестве каркаса для тканей и доставки лекарств к тканям. Поликапролактон (PCL) один из наиболее широко используемых материалов в качестве имплантата для костных тканей, так как он имеет более длительное время деградирования, по сравнению с другими полимерами, например, полилактидом.

Поликапролактон применяется в качестве биоразлагаемого каркаса, который к тому же стимулирует рост тканей. Его поверхностная и молекулярная структура влияет на клеточную адгезию и время жизни имплантата. Поверхностное покрытие нитридом титана применяется для увеличения адгезии клеток к образцам, а в дальнейшем — имплантатов [1]. В то же время, процесс нанесения покрытия на полимерные волокна может изменить их кристаллическую структуру.

Метод рамановской спектроскопии (спектроскопии комбинационного рассеяния) является перспективным для характеристики структуры и кристалличности цепей в полукристаллических полимерах [2]. Измерение рамановских спектров поликапролактона в первую очередь сосредоточено на выявлении характерных пиков, которые отвечают за степень кристалличности полимера [3]. Потенциальные показатели кристалличности были обнаружены в колебательных модах, а именно в CH_2 -twist и C-C-stretch модах.

Чтобы получить информацию о кристалличности образцов, необходимо знать информацию о ширине на полувысоте соответствующих пиков в Рамановском спектре, поскольку кристалличность обратно пропорциональна ширине пиков на полувысоте. В ходе работы мы исследуем структурные изменения поликапролактона, покрытого нитридом титана, с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния.

В представленной научной работе исследуются образцы поликапролактона (PCL), которые были получены методом электроспиннинга, с

нанесенным на них при помощи магнетронного распыления тонкого покрытия нитрида титана (TiN). В работе было исследовано пять образцов с различным временем покрытия – от 0 до 240 секунд.

Целью работы является определение влияния времени нанесения покрытия на степень кристалличности биосовместимых полимеров при помощи метода спектроскопии комбинационного рассеяния (КР). Степень кристалличности прямо пропорциональна времени деградирования полимера.

В процессе исследования проводились измерения спектров комбинационного рассеяния с использованием источников с длинами волн 405 нм, 532 нм и 785 нм на спектрометрах Renishaw и Centaur U HR.

Исследования, проведенные в данной работе, могут помочь в будущих исследованиях поликапролактона с покрытием нитрида титана. В будущем результаты проделанной работы возможно будут использоваться для создания имплантов.

1. Обзор литературы

1.1 Актуальность использования биоразлагаемых полимеров

Пациенту с травмой костей необходимы устройства, которые могут временно быть опорой для костных тканей при их повреждениях, а также способных их поддерживать во время лечения. В качестве подобных устройств используются металлические пластины, спицы и винты, в том числе которые в последствии приходится извлекать из организма человека, что не всегда является безопасным. К тому же данный метод не дает полной гарантии в том, что поврежденная костная ткань человека восстановилась и способна функционировать самостоятельно. Идеальный материал для подобных целей должен самостоятельно разрушаться в организме человека после выполнения функции поддержки, и выводиться без хирургических вмешательств. Также, имплант должен провоцировать рост и укрепление костных тканей.

Несмотря на то, что биомедицинские применения разлагаемых природных полимеров, таких как коллаген, датируются тысячами лет, применение синтетических биоразлагаемых полимеров началось только во второй половине 1960-х [4]. Тем не менее, в течение последних двух десятилетий был открыт ряд синтетических биоразлагаемых полимеров нового поколения, специально разработанных для биомедицинских применений. В частности, это стало возможным благодаря появлению новых биомедицинских технологий: тканевой инженерии, регенеративной медицины, генной терапии, управляемой доставки лекарств в ткани, и бионанотехнологии [5].

За последние два десятилетия были достигнуты значительные успехи в разработке биоразлагаемых полимерных материалов для биомедицинских применений. Нынешняя тенденция предсказывает, что в ближайшие несколько лет большинство из постоянных протезов, используемых для временных терапевтических применений, которые требуют последующего удаления из

организма человека, будут заменены биоразлагаемыми имплантатами, которые могут помочь организму восстановить и регенерировать поврежденные ткани. Разлагаемые полимеры представляют большой интерес для врачей и исследователей, так как эти биоматериалы могут быть разрушены и выведены из организма без хирургического вмешательства. Биосовместимые полимеры могут стимулировать рост клеток для восстановления ткани определенных размеров и форм, и в настоящее время исследуются как каркас для трансплантации клетки как в искусственных, так и в естественных условиях.

Полимеры, которые можно использовать в качестве имплантов, должны удовлетворять ряду требований. Биосовместимость является одной из важнейших характеристик биомедицинского полимерного материала, поверхность которого должна взаимодействовать с биологической системой. Биосовместимость - это способность материала функционировать с организмом пациента без побочных эффектов и воспалений, и в то же время провоцировать рост клеток ткани пациента. Реакция тканей на имплант зависит от множества факторов – от химических, физических и биологических свойств материалов. В случае биоразлагаемых биоматериалов, со временем должна быть продемонстрирована их активная совместимость. Также важен такой параметр как время деградации полимера и его механическая прочность в течение всего процесса регенерации тканей.

Биоразлагаемые синтетические полимеры обладают рядом преимуществ по сравнению с другими материалами для разработки имплантов в тканевой инженерии. Основные преимущества включают способность изменять механические свойства и кинетику деградации имплантов для соответствия различным применениям. Еще одной положительной чертой синтетических полимеров является возможность изготовления различных форм с необходимыми характеристиками полимера, способствующими росту конкретной ткани.

По сравнению с природными, биodeградируемые полимеры, как правило, демонстрируют лучшие механические свойства, более пригодные для создания имплантов. Синтетические биоразлагаемые полимеры широко применяются в качестве рассасывающихся швов, систем доставки лекарств к тканям и ортопедических фиксирующих устройств, таких как штифты, стержни и винты [6]. Учитывая сложность и спектр применения полимерных биоматериалов, которые используются в настоящее время, существуют различные полимерные системы, которые могут рассматриваться как идеальные биоматериалы для конкретных применений. Это подчеркивает необходимость разработки широкого спектра биоразлагаемых материалов.

1.2 Поликапролактон как биоразлагаемый материал

В семействе полилактонов наиболее широко изучен поликапролактон (PCL). PCL – полукристаллический полимер с низкой температурой плавления (59 – 64°C), который совместим с рядом других полимеров. PCL деградирует достаточно медленно и используется для разработки долгосрочных имплантируемых систем. Поликапролактон получают из относительно дешевого циклического мономера ϵ -капролактона, что вызывает в том числе и коммерческий интерес к нему.

Данный полимер имеет достаточно большое время деградации, порядка 2-3 лет (Kronenthal, 1975; Голландия и Tighe 1992; Middleton and Tipton, 2000). PCL признан безвредным и совместимым с тканями человека материалом (Kronenthal, 1975) [7]. Недавнее исследование продемонстрировало возможность использования композитной матрицы, состоящей из PCL и гиалуроновой кислоты в качестве потенциального заменителя мениска [8]. Композиты PCL с керамикой на основе фосфата кальция также в настоящее время исследуются как подходящие импланты для скелета [9].

Биоразложение полимера происходит под действием живых организмов, в результате происходит расщепление полимерной цепочки, увеличивается число небольших по размеру молекул, которые распадаются на воду, диоксид углерода, биомассу и другие продукты биотического разложения.

Известно, что биодegradация поликапролактона и связанных с ним полиэфиров, таких как полимолочная кислота и его сополимеры, происходит по крайней мере в две дискретные стадии. Первая стадия включает в себя неферментный объемный гидролиз соединений эфира, автокатализуемый концевыми группами карбоксильной кислоты полимера.

Первая фаза длится около 6 месяцев, в течение этого времени ответ организма на введенный имплант состоит в обволакивании импланта нитями коллагена, содержащего дополнительные гигантские клетки. Когда молекулярная масса уменьшается до достаточного значения, что обычно составляет около 9 месяцев после имплантации, скорость деполимеризации замедляется, и некоторая потеря веса происходит из-за увеличения вероятности того, что случайная деполимеризация будет производить недостаточно олигомерных видов, чтобы распространяться из основной части.

Полимер становится склонным к разложению, и в этот момент скорость дальнейшей эрозии зависит от отношения покрытия к объему. Тогда хрупкий имплант начинает разрушаться механически на части, последующая деградация протекает достаточно быстро, как правило, около 3 месяцев. Частицы, имеющие максимальные размеры 10 мкм, почти полностью поглощаются за 60-120 дней [10].

1.3 Метод создания полимерных имплантов

При создании имплантов из полимеров используется метод электроспиннинга. Электроспиннинг - это уникальная технология, с помощью

которой можно создать нетканые волокнообразные изделия с диаметром волокна в диапазоне от десятков нанометров до микрон, чего трудно достичь с помощью обычных нетканых методов изготовления волокна [11,12].

При изготовлении изделий методом электроспиннинга можно изменять пористость и пластичность, для соответствия более широкому спектру размеров, форм и областей использования. Наряду с вышеизложенными плюсами, состав скаффолдов можно контролировать для того чтобы достигнуть желаемых свойств и функциональности, то есть можно изготовить образец из различных полимеров. Благодаря этим преимуществам, нановолоконные импланты в последние несколько лет широко исследованы с использованием материалов различных составов [13].

Для небольшого производства (например, в лабораторных масштабах), электроспиннинг - это простой способ для создания нановолокон. Базовая установка электроспиннинга обычно состоит из 3 главных компонентов: высоковольтного источника электропитания, фильера (специальная, высокопрочная форма, через которую продавливают различные пластические вещества. Например, микродозатор) и заземленной собирающей пластины (обычно металлический экран, пластина или вращающаяся оправа).

При подаче заряженного полимерного раствора через фильер, под действием внешнего электрического поля на кончике дозатора образуется капля полимера, за счет чего поверхностное натяжение капли находится в равновесии с электрическим полем. Когда приложенное электрическое поле достаточно велико для того, чтобы преодолеть поверхностное натяжение, тонкая струйка отделяется от поверхности капельки и непрерывно направляется к собирающей пластине или цилиндру. Во время распространения струи к собирающей пластине, раствор в потоке струи постепенно испаряется.

Получаемое изделие представляет собой нетканый волокнистый каркас с большой площадью поверхности в объемном соотношении и небольшим

размером пор (в микронах). Толщина и строение волокна могут быть проконтролированы многими параметрами, также, как и свойства раствора (вязкость, упругость, проводимость и поверхностное натяжение), сила электрического поля, расстояние между дозатором и пластиной, температура и влажность.

Было выявлено, что трансплантаты из PCL, выполненные методом электроспиннинга, имели показатели эластичности, аналогичные естественным артериям, а также долгое время деградации, что способствует восстановлению тканей. В период 18-месячного наблюдения за трансплантатами из поликапролактона, полученными методом электроспиннинга и имплантированными в аорту крыс, выявлено, что в первые 6 месяцев трансплантаты провоцировали регенерацию тканей [14].

1.4 Покрытие нитрида титана и его влияние на структуру

Для увеличения износостойкости имплантов из полимеров используются различные покрытия, в первую очередь керамические. Такие покрытия должны быть биосовместимыми, не должны вызывать аллергических реакций.

Причиной биосовместимости и биоактивности керамических покрытий из нитрида титана является электрический заряд их свободной поверхности, определяющий направленность осаждения ионов N и Ti из биологических жидкостей. В течение постепенной деградации покрытий происходит высвобождение ионов, которые стимулируют образование костной ткани и участвуют в образовании новой костной ткани. В существующих работах покрытие нитрида титана уже рассматривалось как биоматериал для ортопедических протезов и сердечных клапанов [15].

Нитрид титана имеет высокие показатели микротвердости и модуля упругости, в отличие от полимеров, и может укреплять полимерные импланты.

Нитрид титана износостойкий при достаточно высоких температурах, является жаропрочным.

В настоящее время нитрид титана, благодаря сочетанию хороших прочностных характеристик, высокой коррозионной стойкости и нетоксичности, является одним из основных материалов для покрытия имплантов для имплантации в костную ткань. В обычных условиях нитрид титана легко окисляется и на поверхности появляется тонкая пленка аморфного диоксида титана (~5 нм), которая и обеспечивает высокую коррозионную стойкость титана, но при этом характеризуется достаточно длительными сроками интеграции с костной тканью.

Нитрид титана имеет жесткую решетчатую структуру; эта узловатая структура состоит из крупных кристаллитов размером несколько микрометров. Чтобы избежать отслоения покрытия от импланта необходимо обратить внимание на различия коэффициентов теплового расширения у нитрида титана и используемого полимера.

Способность покрытия нитрида титана поддерживать костную ткань и уменьшать износ полимера была исследована в многочисленных экспериментах в лабораторных условиях. При имитации износа имплантов тазобедренного и коленного суставов, импланты с покрытием нитрида титана показывают уменьшение износа полимера и самого покрытия по сравнению с другими материалами покрытий [9,15].

Обычно покрытие наносится на полимер методом магнетронного напыления. Это технология нанесения тонких плёнок на поверхность при помощи катодного распыления мишени в плазме магнетронного разряда — диодного разряда в скрещенных полях. Подается постоянное напряжение между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный или нулевой потенциал), в результате чего создается неоднородное электрическое поле и возбуждается тлеющий разряд.

Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности мишени позволяет поместить плазму разряда прямо у мишени. Образование паров распыляемого вещества происходит в результате бомбардировки мишени ионами рабочего газа, которые образуются в плазме аномального тлеющего разряда.

1.5 Степень кристалличности полимеров

Степень кристалличности полимеров является важным свойством, которое необходимо учитывать при рассмотрении вопроса о производстве и применении полимеров в качестве имплантов. Степень кристалличности - величина, показывающая какая часть полимера по массе или по объему, является кристаллической, то есть входит в состав полимерных кристаллитов.

Образцы полимеров никогда не бывают полностью кристаллизованы, в них также присутствуют и аморфные участки. Однако многие исследования показывают, что вероятность того, что полимер четко разделен на два типа участков, очень мала, так как наверняка существуют переходные участки, которые обладают промежуточной структурой.

Эта неоднородность обусловлена различной молекулярной структурой кристаллической и аморфной областей. В аморфных областях цепи скручены случайным образом, в то время как в кристаллах они расположены в трехмерной решетке. Кристаллиты имеют большую плотность, наблюдаются менее интенсивные движения молекул при повышенных температурах. Кристаллическая фаза менее деформируема, поэтому чем выше степень кристалличности, тем больше модуль упругости.

Неоднородность структуры полимеров влияет на их свойства, которые в большей степени зависят от степени кристалличности. Степень кристалличности полукристаллического полимера сильно зависит от термической предыстории,

симметричности молекулярной структуры и деформации. Процесс нанесения керамического покрытия также влияет на формирование кристаллической структуры.

1.6 Спектроскопия комбинационного рассеяния как метод исследования степени кристалличности

Существуют различные методы измерения кристалличности и других свойств полимеров, например, рентгеноструктурный анализ. Однако определение кристалличности при помощи этих методов основано на предположении о двухфазной структуре полимеров, чего на самом деле не может быть. Спектроскопия комбинационного рассеяния и инфракрасная спектроскопия исследуют конформационные состояния полимерных цепей [16]. Предыдущие исследования полукристаллических полимеров с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния света показали наличие промежуточной некристаллической фазы, которая связана с пластинчатой структурой. Кроме того, этот метод подходит для экспресс-диагностики структуры полимеров.

Спектроскопия комбинационного рассеяния, или Рамановская спектроскопия – метод анализа неупругого рассеяния оптического излучения на молекулах вещества, которое сопровождается изменением частоты излучения. В отличие от упругого рэлеевского рассеяния, в случае комбинационного рассеяния света в спектре рассеянного излучения появляются спектральные линии, которых нет в спектре первичного (возбуждающего) света. Число и расположение появившихся линий определяется молекулярным строением вещества. Комбинационное рассеяние света называется комбинационным из-за комбинирования частот колебания света и молекул.

Данное явление легко объяснить с точки зрения квантовой теории излучения, схема которой изображена на рис.1. Согласно данной теории, излучение частоты ν рассматривается как поток фотонов с энергией $h\nu$. При столкновении с молекулами фотоны испытывают рассеяние. При упругом рассеянии, они будут отклоняться от направления своего движения, не изменяя своей энергии (рэлеевское рассеяние).

Но возможно и такое, что при столкновении произойдет обмен энергией между фотоном и молекулой. Молекула при этом может как приобрести, так и потерять часть своей энергии в соответствии с правилами квантования — её энергия может измениться на величину ΔE , соответствующую разности энергий двух разрешенных её состояний. Другими словами, величина ΔE должна быть равна изменению колебательной и/или вращательной энергий молекулы.

Если молекула приобретает энергию ΔE , то после рассеяния фотон будет иметь энергию $h\nu - \Delta E$ и соответственно частоту излучения $\nu - \Delta E/h$. А если молекула потеряет энергию ΔE , частота рассеяния излучения будет равна $\nu + \Delta E/h$. Излучение, рассеянное с частотой меньшей, чем у падающего света, называется стоксовым излучением, а излучение с большей частотой называется антистоксовым. Ширина пиков в спектрах комбинационного рассеяния определяется временем жизни колебаний, которое зависит от степени кристалличности исследуемого материала.

При не очень высоких температурах населенность первого колебательного уровня невелика, при комнатной температуре при колебательной частоте 1000 см^{-1} на первом колебательном уровне находится всего 0,7 % молекул, поэтому интенсивность антистоксова рассеяния мала. С повышением температуры населенность возбужденного колебательного уровня возрастает и интенсивность антистоксова рассеяния растет [1].

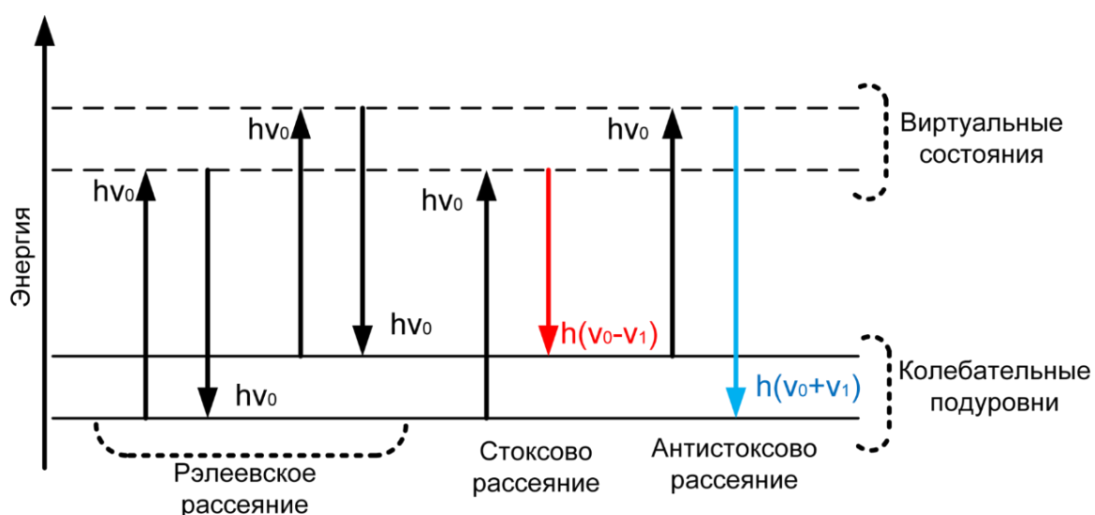


Рис. 1. Иллюстрация квантовой теории, объясняющей комбинационное рассеяние [20]

Рамановская спектроскопия обладает многими преимуществами по сравнению с другими способами оценки молекулярного строения вещества: необходимость в образцах малых размеров, простота подготовки образца, доступ к большому количеству информации, неразрушающий и бесконтактный анализ. Это очень важные факторы, так как возможно проведение анализа без повреждения образцов. В последнее время спектроскопия комбинационного рассеяния света получила очень широкое применение: для изучения окружающей среды, в фармацевтике, геммологии, геологии и минералогии и во многих других отраслях. Свое преимущественное применение она получила благодаря простоте проводимых измерений.

Для получения спектров комбинационного рассеяния необходим спектрометр. Неотъемлемыми частями такого спектрометра являются источник возбуждения, приемник сигнала, отраженного от образца, и детектор. В качестве источника возбуждения используется лазер, однако, так как спектроскопия КРС основывается на измерении в зависимости от длин волн, необходим монохроматический источник возбуждения. Частота лазера, используемого в качестве источника возбуждения должна быть постоянной, чтобы ее отклонения не вызвали ошибок в рамановском сдвиге.

Также рекомендуется к использованию узкополосный лазер, для улучшения спектрального разрешения. Большое значение имеет длина волны, так как большинство органических молекул склонны к флуоресценции при облучении коротковолновым лазером. Флуоресценция может привести к подавлению рамановского спектра. Поэтому очень важно подобрать лазер с подходящей длиной волны, чтобы не допустить флуоресценции и получить достаточно качественный спектр. Чтобы максимально подавить эффект флуоресценции используются диодные лазеры с длиной волны 785 нм. Чтобы повысить чувствительность к неорганическим молекулам используют лазеры с длиной волны 532 нм. Кроме того, необходимо учитывать стабильность образца под воздействием лазерного излучения, которая контролируется за счет выбора эффективностью поглощения выбранной длины волны и мощностью лазерного излучения.

Таким образом, на основании изложенного, можно сделать вывод о целесообразности и необходимости исследования биосовместимых полимеров и проведения измерений степени кристалличности образцов с разной длительностью покрытия нитрида титана методом комбинационного рассеяния. Тема работы очень актуальна в настоящее время и пользуется большой популярностью среди исследований и лабораторных испытаний.

Важно изучить степень кристалличности, чтобы определить динамику изменения степени кристалличности в зависимости от времени нанесения покрытия нитрида титана, или других покрытий. Это необходимо для подбора оптимального времени нанесения слоя, достаточного для осуществления функции имплантата, и в то же время сохраняющего его эластичность и являющимся экономичным.

2. Объект и методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования являются спектры комбинационного рассеяния полимера с разным временем покрытия нитрида титана. Дополнительно были исследованы винилиденфтоид с тетрафторэтиленом и полигидросибутират. Для данного исследования используется один из биосовместимых материалов – поликапролактон – биоразлагаемый полукристаллический и гидрофобный полимер, который способен стимулировать рост тканей человека.

Поликапролактон препятствует случайному расщеплению цепи эфирных групп, и вследствие разлагается в течение более длительного времени по сравнению с другими биodeградируемыми полимерами. Данный полимер обладает хорошей растворимостью, низкой температурой плавления (59-64 °C) и исключительной совместимостью с другими материалами спровоцировали всесторонние исследования его возможного применения в биомедицинской области.

Поликапролактон обладает большим количеством преимуществ по сравнению с другими полимерами, использовавшимися для тех же целей. К таким преимуществам можно отнести особенную кинетику деградации, механические свойства, такие как легкость придания необходимой формы и изготовления, которые позволяют создать образец или имплант необходимой формы и размера. Поликапролактон разлагается в течение более длительного времени, чем, например, полигликолид, полилактид.

Исследуемые нами образцы поликапролактона были получены методом электроспиннинга. Данный метод основывается на воздействии высокого электрического напряжения на раствор биополимера. На рис. 2 изображена схема установки для электроспиннинга.

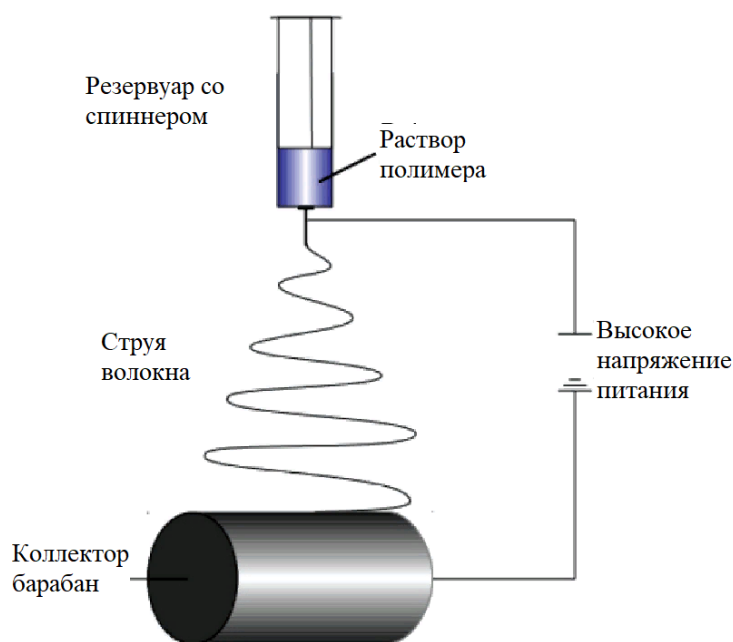


Рис. 2. Схема установки для электроспиннинга [21]

Данная установка включает в себя три основных элемента – источник высокого напряжения, капилляр и принимающий барабан, который вращается. Капилляр находится в нижней части резервуара с раствором полимера, на его кончике образуется полусфера из раствора биополимера. При постепенном увеличении напряжения полусфера на краю капилляра начинает растягиваться и формирует конус, называемый конусом Тэйлора.

При увеличении напряжения в некоторый момент электростатические силы превосходят поверхностное натяжение раствора, и его заряженные молекулы отрываются в виде удлинённых фибр и летят к коллектору.

Таким образом на коллекторе напыляется тонкая биополимерная пленка, представляющая собой сеть волокон. Данная сетка может быть использована как искусственная основа будущей ткани, для формирования которой не хватает только клеток. Однако для создания полноценного имплантата необходимо добавление клеток, которые добавляются на уже изготовленную поверхность, либо изначально включаются в раствор биополимера.

Исследуемые образцы поликапролактона были получены именно таким

способом, образцы были сняты с барабана-коллектора и были разрезаны на равные части. В итоге получились образцы равной толщины и структуры. На рис. 3 изображена структура поликапролактона под микроскопом. Образцы поликапролактона имеют белый цвет и гладкую поверхность, обладают большой эластичностью.

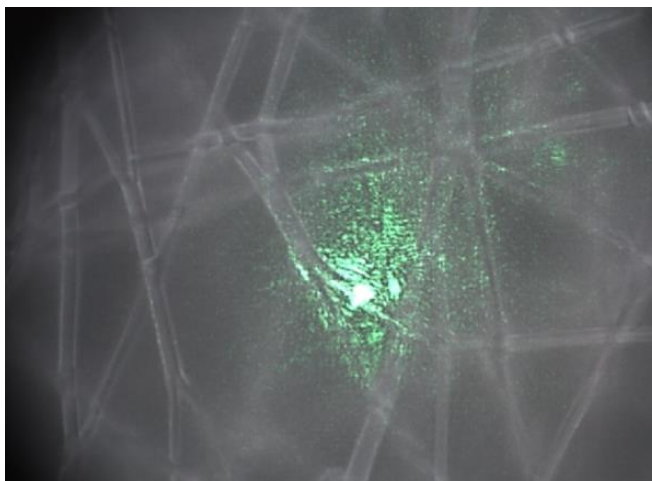


Рис. 3. Структура поликапролактона под микроскопом

На одну из сторон образцов методом магнетронного напыления было нанесено тонкое покрытие нитрида титана (TiN). Магнетронное напыление – это метод нанесения тонких пленок на поверхность при помощи катодного распыления мишени в плазме магнетронного разряда – диодного разряда в скрещенных полях. Исследовалось 5 образцов: без покрытия, и с 4 разными временами покрытия от 30 до 240 секунд. Образцы с большим временем покрытия имеют большую толщину покрытия, однако при данном методе нанесения покрытия время покрытия является задающим параметром, поэтому исследования проводятся с использованием зависимостей от времени покрытия.

Покрытие нитрида титана было нанесено для увеличения адгезии клеток поликапролактона к клеткам организма. Однако, покрытие нитрида титана влияет на структуру и на степень кристалличности поликапролактона. Значит, необходимо изучение влияния покрытия нитрида титана на структуру и степень кристалличности поликапролактона.

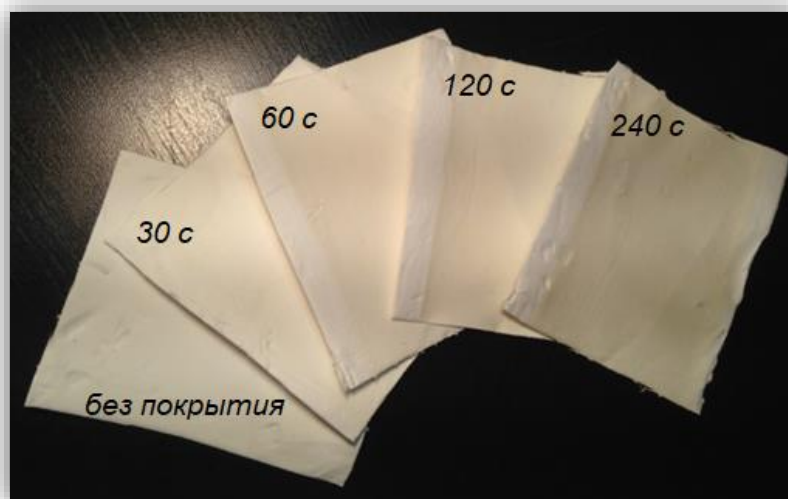


Рис. 4. Фото образцов PCL с различным временем покрытия

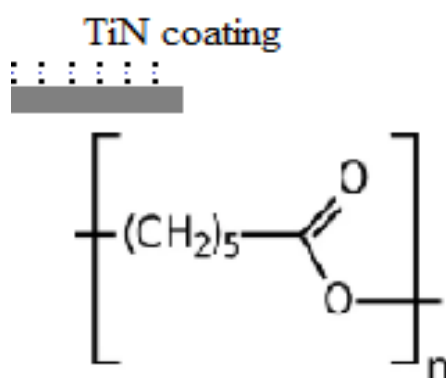


Рис. 5. Схема образца и формула PCL [22]

2.2 Метод исследования

Методом исследования была выбрана спектроскопия комбинационного рассеяния света (Рамановская спектроскопия).

Рамановская спектроскопия – один из видов спектроскопии, который основан на способности исследуемых молекул к неупругому рассеянию монохроматического света.

Рамановская спектроскопия имеет большое количество преимуществ по сравнению с другими методами анализа. Самыми важными из них являются простота пробоподготовки и большой объем получаемой информации, данный

вид анализа является основным методом неразрушающего химического анализа. Спектроскопия комбинационного рассеяния света обладает высокой избирательностью, которая позволяет идентифицировать и дифференцировать очень похожие молекулы и химические соединения.

Принцип работы рамановской спектроскопии заключается в облучении образца монохроматическим светом (источником монохроматического света является лазер). Большая часть рассеянного образцом излучения имеет такую же частоту, что и падающая – процесс называется Рэлеевским рассеянием.

Однако, некоторое количество излучения, рассеянного образцом, примерно один фотон из миллиона (0.0001 %) – будет иметь частоту, смещенную по отношению к частоте исходного излучения лазера. Рамановское рассеяние изменяет длину волны падающего света вследствие взаимодействия света с колебательными квантами рассеивающей молекулы. Та малая часть рамановских лучей усиливается и направляется на детектор, который фиксирует частоту их колебания, затем зафиксированный спектр отправляется на компьютер для последующего анализа.

Рамановское рассеяние включает в себя 2 составляющие: стоксовое и антистоксовое рассеяние. Стоксова рамановская линия – переход молекулы с нижнего на верхний колебательный уровень в результате поглощения и рассеяния кванта света. Антистоксова рамановская линия – переход молекулы с верхнего на нижний колебательный уровень. Интенсивность антистоксовых рамановских линий очень мала из-за малой вероятности перехода с верхних уровней на нижние, так как нижние уровни сильно заселены. На практике при использовании рамановской спектроскопии исследуются стоксовы рамановские линии.

Области применения рамановской спектроскопии различны: в химии – идентификация химических веществ; в биологии и медицине – изучение строения различных веществ; клинические исследования биотканей организмов;

анализ пищевых продуктов и медицинских препаратов; в технике – анализ композиционных и керамических материалов.

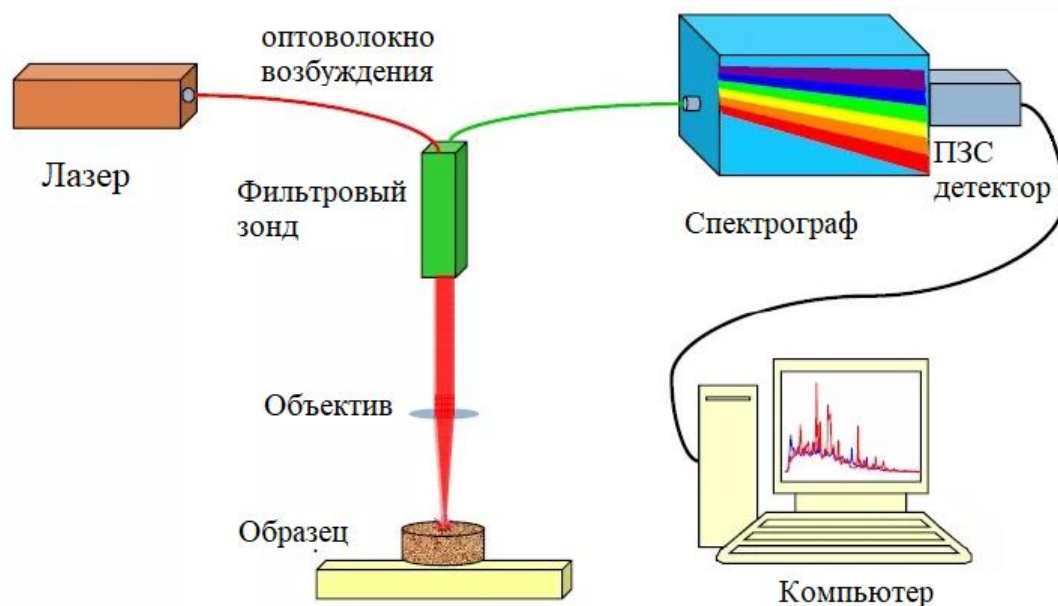


Рис. 6. Схема рамановского спектрометра [23]

В нашем исследовании мы использовали спектрометры с лазерами с длинами волн 405, 532 и 785 нм. Спектры с разной длиной волны имеют разную интенсивность, уровень шума и фоновый сигнал. В случае рамановской спектроскопии большую интенсивность имеют пики после облучения лазером с меньшей длиной волны, однако в нашем случае наблюдается обратная ситуация, это связано с разной разрешающей способностью используемых спектрометров.

Колебания связей наблюдаются во всей видимой области, но имеют разную интенсивность. В итоге мы получаем спектр, в котором каждый пик или набор пиков соответствует определенному колебанию различных молекул. Ширина этих пиков говорит о времени жизни определенного колебания.

В нашем случае два пика дают информацию о кристалличности полимера (рис), и ширина этих пиков на полувысоте обратно пропорциональна кристалличности. То есть, чем больше ширина пиков, тем меньше степень кристалличности образца, и наоборот. В нашем исследовании, при помощи этого метода мы определили зависимость изменения степени кристалличности

от времени покрытия нитридом титана.

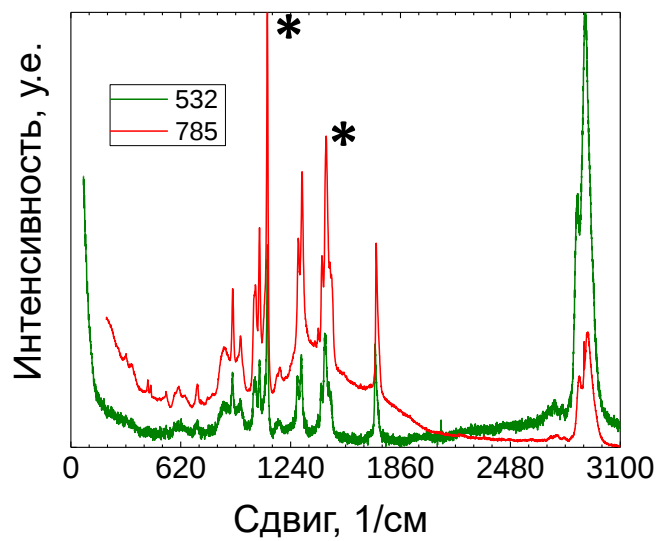


Рис. 7. Рамановские спектры, измеренные с длинами волн 532 нм и 785
нм

3. Анализ полученных результатов

3.1. Анализ кристалличности поликапролактона, покрытого нитридом титана

Результатами проведенных измерений является зависимость ширины на полувысоте от времени покрытия TiN. Для получения данных зависимостей, необходимо было провести измерения образцов на рамановском спектрометре.

Изначально были проведены измерения спектров комбинационного рассеяния света образцов поликапролактона с использованием спектрометров с излучением трех лазеров разных длин волн: ближний УФ (405 нм), зеленый (532 нм) и ближний ИК (785 нм).

Спектры этих трех измерений представлены на рис. 8. Данные спектры демонстрируют результаты измерения образца без покрытия TiN. Данное сравнение спектров представлено для наглядного сравнения интенсивности сигнала. Результаты проведенных измерений является зависимость ширины на полувысоте от времени покрытия TiN. Для получения данных зависимостей, необходимо было провести измерения образцов на рамановском спектрометре.

Изначально были проведены измерения спектров комбинационного рассеяния света образцов поликапролактона с использованием спектрометров с излучением трех лазеров разных длин волн: ближний УФ (405 нм), зеленый (532 нм) и ближний ИК (785 нм).

Спектры этих трех измерений представлены на рис. Данные спектры демонстрируют результаты измерения образца без покрытия TiN. Данное сравнение спектров представлено для наглядности интенсивности спектров и их определенных пиков. Спектры предварительно нормализованы к максимальному по интенсивности пику.

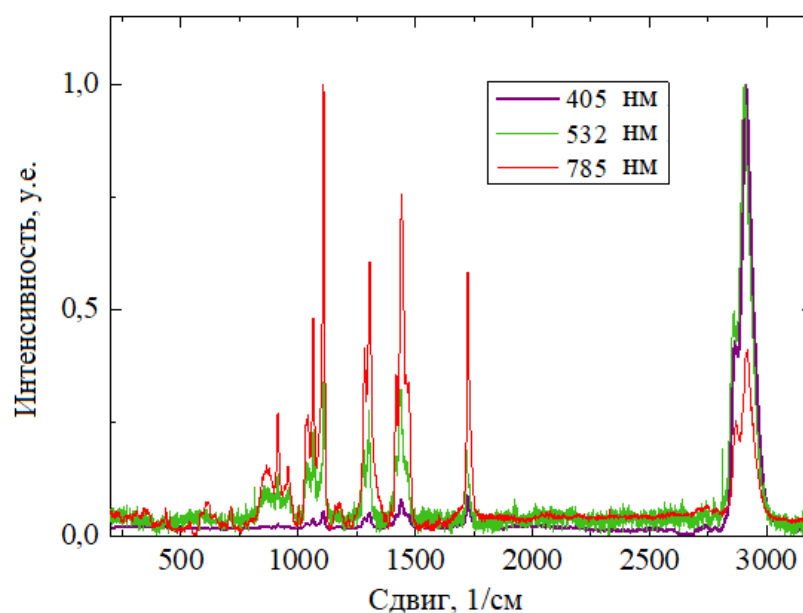


Рис. 8. Рамановские спектры, измеренные с длиной волны 405 нм, 532 нм и 785 нм

Использование разных длин волн было сделано для того, чтобы убедиться в достоверности измерений, выбрать спектры с лучшим соотношением сигнал-шум, и по возможности проанализировать все возможные спектры. Наибольший интерес представляют колебательные моды на 1108 и 1430 см^{-1} , так как они соответствуют деформационному колебанию связи С-С и крутильному колебанию группы атомов CH_2 соответственно. Ожидается, что время жизни колебания С-С, а значит и ширина соответствующего пика в спектрах, сильнее всего зависит от кристалличности полимера. Обычно лазер с меньшей длиной волны дает спектры с большей интенсивностью, однако подбор длины волны, близкой к энергии оптического перехода в материале, позволяет существенно усилить интенсивность КР сигнала. По представленным выше спектрам видно, что результаты на длине волны 785 нм имеют лучшую интенсивность в области пиков, отвечающих за кристалличность, что связано с резонансными эффектами.

Измерения на длине волны 405 нм (ближний УФ) на спектрометре Renishaw проводились для детектирования покрытия из нитрида титана. Были измерены 2 образца: без покрытия и со временем покрытия 240 секунд . Предполагалось, что высокая энергия излучения приведет к более эффективному

возбуждению колебаний в покрытии с большой шириной запрещенной зоны. Меньшая глубина проникновения коротких длин волн также дает чувствительность к структуре поверхностных слоев. Однако, интенсивность сигнала находится ниже порога чувствительности оборудования. Более того, колебательные моды полимера, которые представляют для нас интерес, имеют маленькую интенсивность, что видно на рис. 9, где пики, представляющие интерес для нас отмечены стрелками. Из-за низкой интенсивности сигнала, определение их ширины на полувысоте, дает большую погрешность.

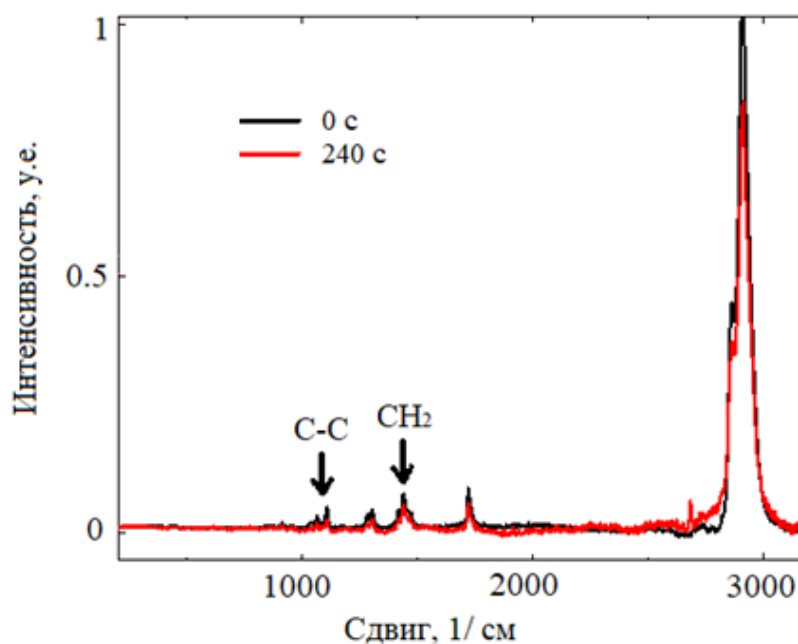


Рис. 9. Рамановский спектр, измеренный на длине волны 405 нм

Затем образцы были измерены на спектрометре с длиной волны 532 нм (зеленый) на спектрометре Centaur U HR (NanoScan Technologies). Данный спектрометр обладает низкой чувствительностью, однако необходимые пики имеют интенсивность, достаточную для измерения ширины на полувысоте.

При измерении спектров на каждом образце измерялось не менее 3 точек для оценки погрешности, связанной с неоднородностью образца, а также для обнаружения случайных пиков, вызванных космическими лучами. В итоге было проведено около 15-20 измерений.

Для анализа спектры были отфильтрованы от фонового сигнала и

случайных космических сигналов, затем спектры были нормализованы и сопоставлены между собой. Усредненные результаты измерений пика на 1108 см^{-1} можно видеть на рис. 10 и 11. Результаты измерений пика на 1432 см^{-1} представлены на рис. 12 и 13.

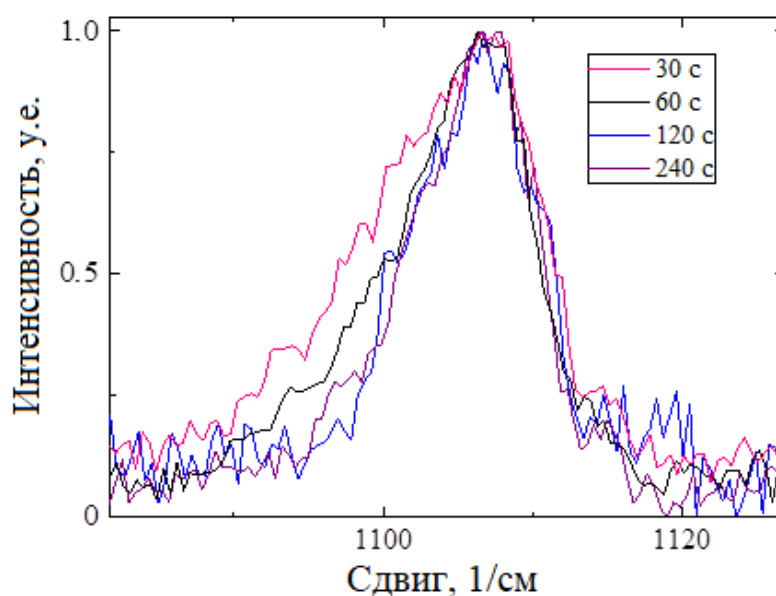


Рис. 10. Рамановские спектры пика на 1108 см^{-1} , измеренные на длине волны 532 нм

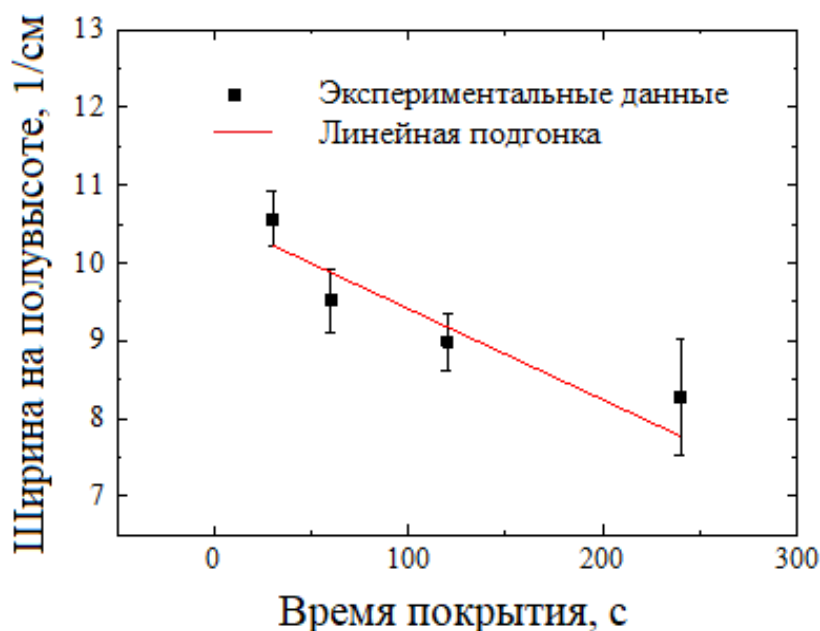


Рис. 11. Зависимость ширины пика 1108 см^{-1} на полувысоте от времени покрытия

Результаты измеренных спектров наглядно демонстрируют уменьшение ширины на полувысоте пика на 1108 см^{-1} при увеличении времени покрытия. Зависимость имеет линейную форму, погрешность определялась вручную исходя из значений среднеквадратического отклонения по трем измерениям.

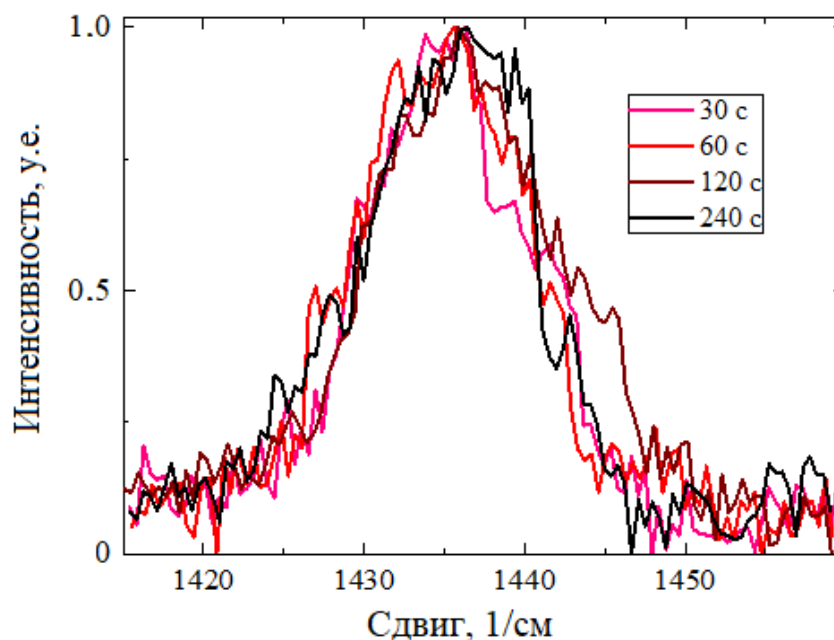


Рис. 12. Рамановские спектры пика на 1432 см^{-1} , измеренные на длине волны 532 нм

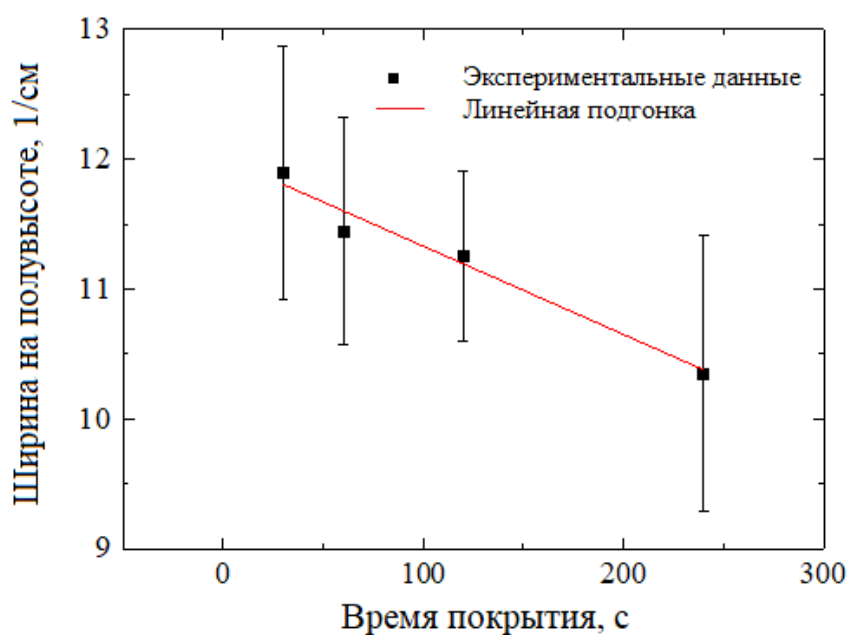


Рис. 13. Зависимость ширины пика 1432 см^{-1} на полувысоте от времени покрытия

Аналогичная ситуация наблюдается также на пике 1432 см^{-1} . То есть увеличение времени напыления TiN на образец, вызывает уменьшение ширины на полувывоте пика на 1432 см^{-1} . В результате чего можно заключить, что имеет место увеличение степени кристалличности с увеличением времени покрытия TiN. Тем не менее, погрешность измерений велика и анализ данной колебательной моды представляется менее надежным, чем анализ C-C колебания на 1108 см^{-1} .

Затем образцы поликапролактона были аналогично измерены на спектрометре Renishaw с длиной волны 785 нм (ближний ИК). Наилучшее соотношение сигнал-шум по сравнению с более короткими длинами волн излучения связано с увеличением эффективности неупругого рассеяния света в связи с резонансным поглощением лазерного излучения в полимере.

Результаты анализа пиков на 1108 и 1432 см^{-1} представлены на рис. 14 и 15.

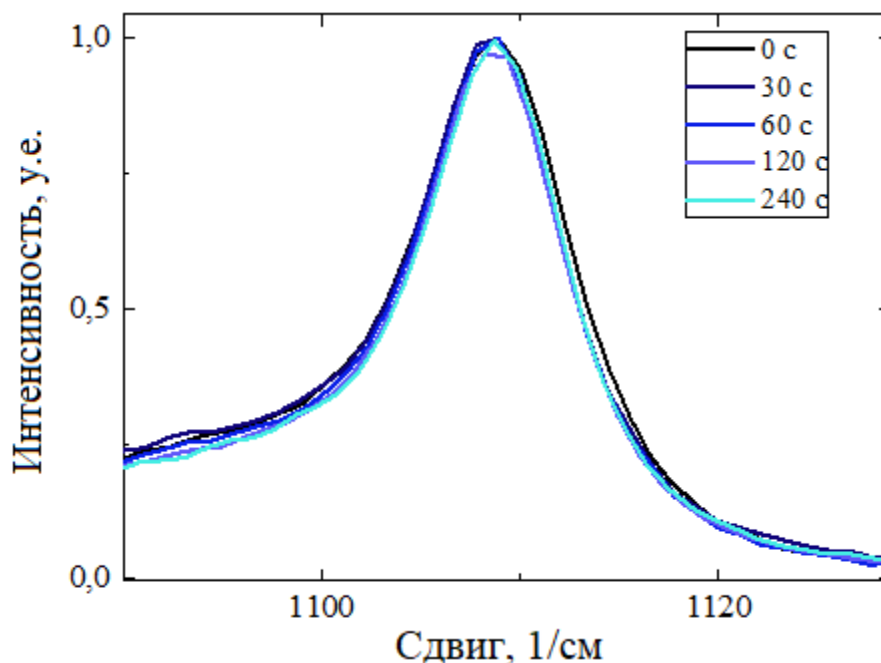


Рис. 14. Рамановские спектры пика на 1108 см^{-1} , измеренные на длине волны 785 нм

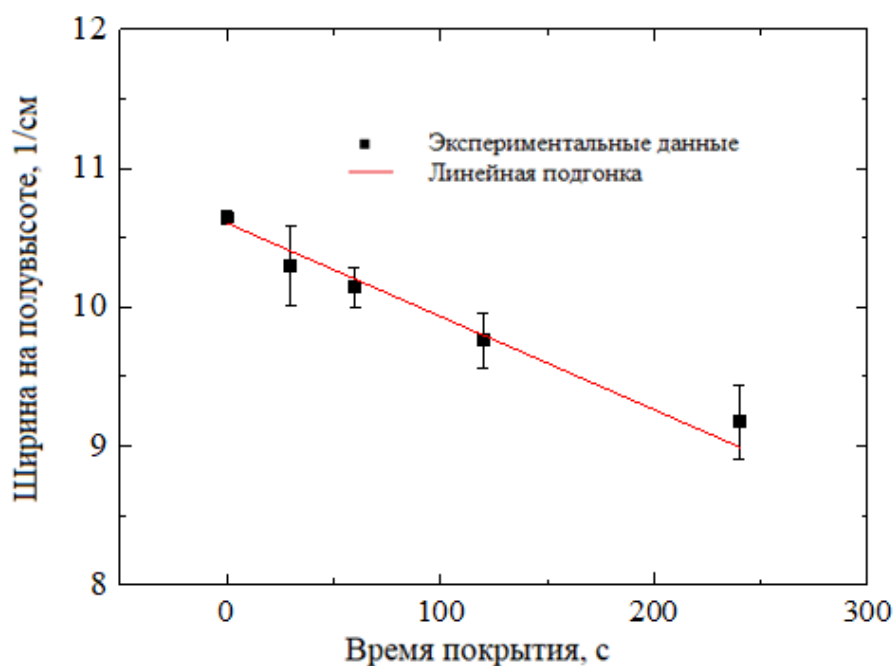


Рис. 15. Зависимость ширины пика 1108 см^{-1} на полувысоте от времени покрытия

По зависимости приведенной выше, видно, что с увеличением времени покрытия TiN ширина пика на полувысоте уменьшается.

Уменьшение ширины пиков на полувысоте наблюдается в обоих случаях, как при облучении образца светом длиной волны 532 нм , так и 785 нм . Данная зависимость дает право говорить об увеличении степени кристалличности поликапролактона с увеличением времени покрытия нитрида титана. Что способствует увеличению времени разложения имплантата из поликапролактона, а также увеличивает его механическую прочность.

Значит покрытие нитрида титана целесообразно использовать для увеличения адгезии клеток, покрытие положительно влияет на структуру поликапролактона. Результаты данного исследования помогут в последующих исследованиях поликапролактона в качестве материала для биоразлагаемых имплантатов, а также внесет вклад в развитие имплантологии в медицине.

3.2. Сравнительный анализ используемых спектрометров

Следующим принципиально важным шагом является проведение количественного анализа кристалличности. В работе А.П. Котула и соавторов [17] был проведен сравнительный анализ кристалличности, определенной методами КР спектроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии. Для анализа использовался метод главных компонент. Адаптация их моделей для определения кристалличности полимера требует определения аппаратной функции КР спектрометра, используемого в их и нашей работах. В связи с этим, были определены характеристики КР спектрометров Renishaw и Centaur U HR, на которых проводились наши измерения.

КР спектры в работе [17] измерялись на спектрометре rheo-Raman, разработанного в NIST, USA на основе спектрометра Thermo Scientific DXR Raman Microscope. Согласно [18], данный спектрометр работает с длиной волны 532 нм и обеспечивает спектральное разрешение в 5 см^{-1} и точность определения позиции пика 2 см^{-1} .

Для определения характеристик спектрометров использовался калибровочный образец монокристаллического кремния. Он имеет пик с положением вершины 519 см^{-1} . Спектр кремния, измеренный на длине волны 532 нм на спектрометре Centaur U HR представлен на рис. 16. Как видно пик с координатой 519 см^{-1} имеет высокую интенсивность, и малую ширину.

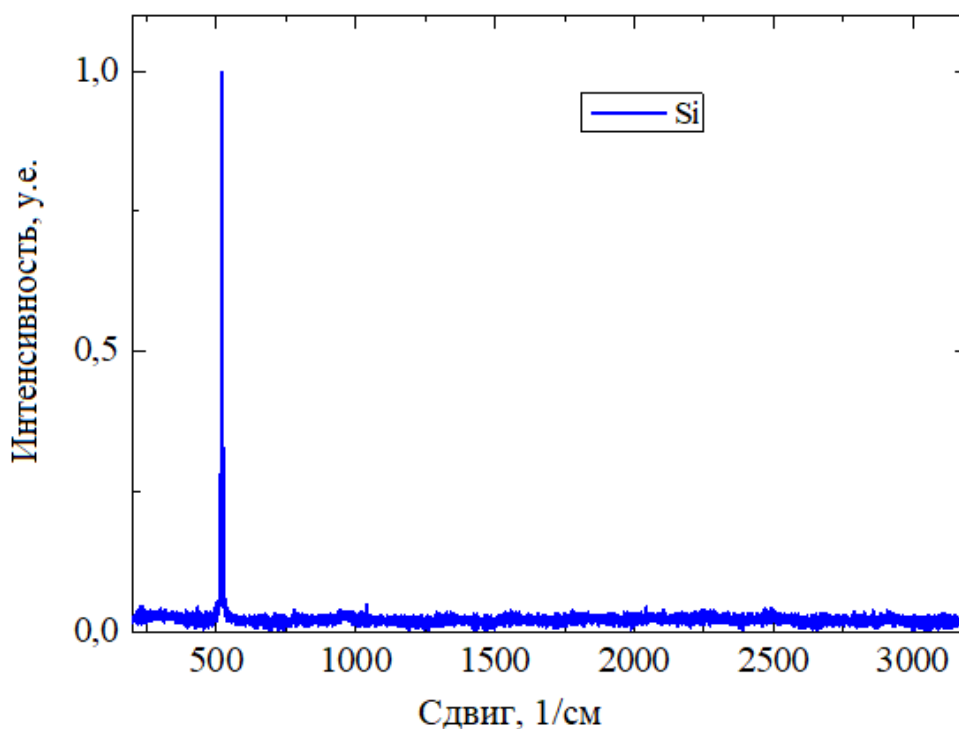


Рис. 16. Спектр кремния (Si), измеренный на длине волны 532 нм.

Во время измерений спектров полимеров на данной установке в спектральном диапазоне от 200 до 3200 см^{-1} происходит перестройка монохроматора на различные спектральные диапазоны, а значит точность определения положения пика зависит от повторяемости положения дифракционной решетки. Нашей первой задачей было определить повторяемость измерений спектрометра. Спектр кремния был снят в диапазоне 200 – 3200 см^{-1} 14 раз, затем он был обработан при помощи программы Origin и нормализован, затем было вычислено среднее значение координаты пика и ширины пика на полувысоте и их стандартное отклонение. Набор измеренных пиков на длине волны 532 нм представлен на рис. 17. Стандартное отклонение позиции пика составило 0,2 см^{-1} . Алгоритм измерения больших спектральных диапазонов на спектрометре Renishaw не предполагает перемещения дифракционной решетки, поэтому анализ повторяемости не проводился.

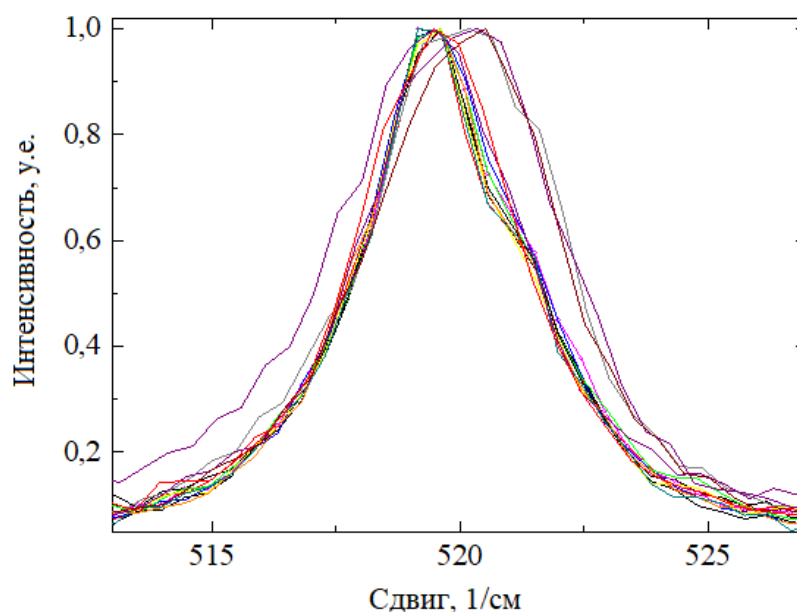


Рис. 17. Пики кремния, измеренные на длине волны 532 нм

Вторым ключевым параметром является спектральное разрешение. Ширина пика кремния на спектрометре Centaur U HR, измеренного с длиной волны 532 нм, составляет $4,8 \pm 0,3 \text{ см}^{-1}$. Ширина пика, измеренного на спектрометре Renishaw с длиной волны 785 нм составляет 8 см^{-1} . Экспериментально полученная ширина пика

$$\text{FWHM}^2 = d\lambda_{\text{line}}^2 + d\lambda_{\text{spec}}^2, \quad (1)$$

где $d\lambda_{\text{line}}$ – естественная ширина линии, а $d\lambda_{\text{spec}}$ – разрешение спектрометра, определяемое используемой дифракционной решеткой, абберационными и дифракционными эффектами и т.д. Сравнивая данные значения с известной из литературы естественной шириной пика кремния 3 см^{-1} [19], мы можем определить спектральное разрешение используемых спектрометров как 3,7 и $7,4 \text{ см}^{-1}$ для спектрометров Centaur U HR и Renishaw, соответственно.

Используя эти значения, и имея доступ к моделям, используемым в [17], было бы возможно получить количественную оценку кристалличности поликапролактона, покрытого нитридом титана.

3.3. КР спектроскопия других биосовместимых полимеров

КР спектроскопия позволяет анализировать различные полимеры, получая качественный анализ кристалличности без предварительной верификации методики. В связи с этим были проведены измерения образцов биоразлагаемого полимера винилиденфтоида с тетрафторэтиленом с покрытием меди.

Данные образцы были измерены спектрометрами на длинах волн 532 и 785 нм. Спектр полимера без покрытия имеет хорошее качество, однако при измерении образцов с покрытием меди имела место люминесценция, из-за которой невозможно проводить анализ спектра. Причем люминесценция наблюдается уже при времени нанесения покрытия 15 с, и она усиливается с увеличением времени покрытия, делая анализ на данных длинах волн невозможным.

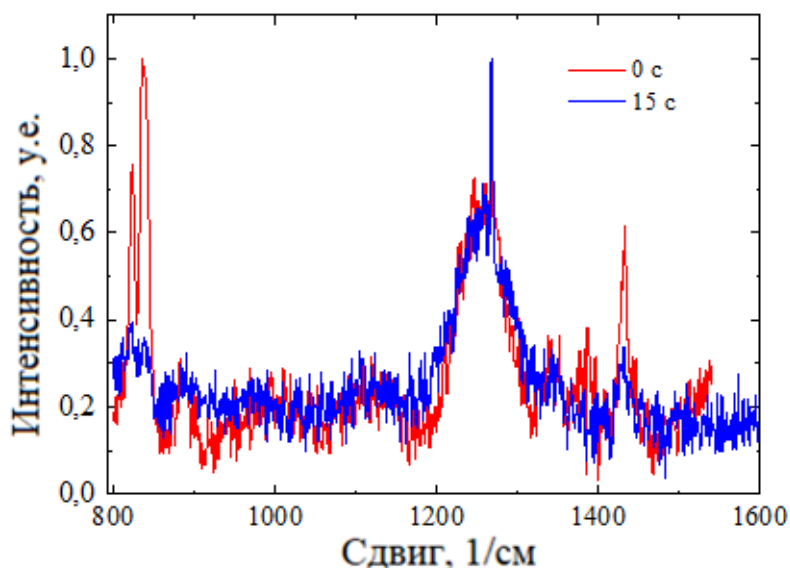


Рис. 18. Спектр винилиденфтоида с тетрафторэтиленом без покрытия меди и с временем покрытия меди 15 с, измеренные на длине волны 785 нм

На рисунке выше приведены спектры двух образцов: без покрытия и с временем покрытия 15 секунд. Видно, что в первом случае спектры полимера различимы и возможен их анализ. Однако спектр образца с временем покрытия 15 секунд имеет сильную люминесценцию и шумовой сигнал. Для исправления данного явления было применено увеличение времени накопления сигнала и других параметров, однако количество шума не уменьшилось. Большее увеличение времени приводило бы к насыщению ПЗС матрицы спектрометра, что было бы опасно для оборудования. Поэтому измерить ширину пиков на полувысоте на образцах с покрытием меди невозможно на длине волны 532 нм. Для завершения изучения степени кристалличности винилиденфтоида с тетрафторэтиленом с покрытием меди необходим спектрометр с лазером длиной волны 405 нм (ближний УФ), так как на данной длине волны не должно быть люминесценции. Но измерить образцы с данной длиной волны на данный момент нет возможности.

Также в ходе проведения научно-исследовательской работы был исследован полимер полигидроксibuтират (ПГБ). Полигидроксibuтират – это один из биоразлагаемых термопластиков, полученный из различных микроорганизмов. Образцы полигидроксibuтирата имеют волокнистую структуру.

Целью изучения данного полимера было наблюдение воспроизводимости спектров комбинационного рассеяния. Для этого образец был измерен несколько раз. На рис. 19 приведены измеренные спектры полигидроксibuтирата. При анализе интенсивных полос определено, что спектры остаются идентичными. Дальнейший анализ образцов, подвергшихся различным процедурам обработки, представляется возможным.

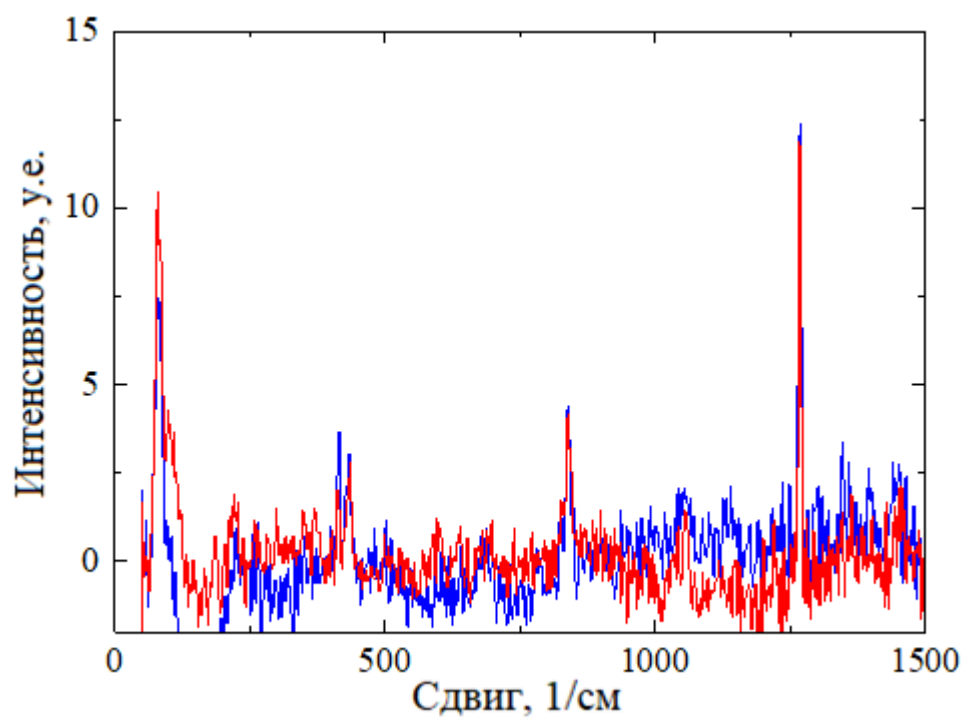


Рис. 19. Спектры полигидросибутирата, измеренные на длине волны 785 нм

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

Данная работа посвящена изучению зависимости влияния времени покрытия нитрида титана на поликапролактон от степени кристалличности полимера, а в будущем имплантата. Что в будущем влияет на структуру, качество и время разложения полимера, используемого в качестве биоразлагаемого имплантата. Покрытие нитрида титана изначально используется для увеличения адгезии имплантата к клеткам организма, однако данное покрытие может изменять структуру и механические свойства имплантата. Поэтому необходимо исследование влияния покрытия нитрида титана на степень кристалличности полимера.

Покрытие нитрида титана уже изучалось ранее как средство для улучшения адгезии, однако влияние данного покрытия на степень кристалличности поликапролактона не исследовалось. Это необходимо для внедрения имплантатов с покрытием нитрида титана в повсеместное использование.

Основными потребителями данной технологии являются большие клиники имплантологии, стремящиеся к собственной разработке и внедрению новых типов имплантатов, государственные медицинские учреждения и центры медицинских разработок.

Целью данного раздела является разработка современного метода анализа влияния времени покрытия нитрида титана на степень кристалличности полимера.

Для достижения данной цели необходимо:

- провести планирование научно-исследовательских работ,

- оценить трудоемкость выполнения работ,
- рассчитать бюджет НТИ, включая материальные затраты, заработную плату, страховые отчисления во внебюджетные фонды.

4.2 План проекта

Для планирования научного исследования необходимо построить линейный график выполнения работ. Представим линейный график в виде таблицы.

Таблица 4.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Длительность, дни	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Выбор направления исследования	3	Профессор, студент
	2	Разработка задания	5	Профессор
	3	Календарное планирование работ	5	Профессор, студент
Литературный обзор	4	Изучение литературы по теме	40	Студент.
	5	Обсуждение основных аспектов с научным руководителем	2	Профессор, студент
	6	Дополнительное изучение литературы	15	Студент
	7	Финальное обсуждение темы	5	Профессор, студент
Проведение экспериментов	8	Знакомство с установкой	5	Студент, профессор, ассистент
	9	Измерение образцов на зеленом лазере	7	Студент, профессор, ассистент

Продолжение таблицы 4.2

	10	Измерение образцов на УФ и ИК лазере	5	Профессор
	11	Повторное измерение на зеленом лазере	5	Студент, ассистент
	12	Тестирование спектрометра (измерение Si)	5	Студент, ассистент
Обработка результатов экспериментов	13	Знакомство с программой и методикой обработки данных	10	Профессор, студент
	14	Обработка измерений зеленого лазера	25	Студент
	15	Обработка измерений ИК лазера	7	Студент
	16	Обработка измерений УФ лазера	7	Студент
	17	Повторная обработка измерений зеленого лазера	5	Студент
	18	Формирование результатов	5	Студент
Подведение итогов	19	Описание полученных результатов	30	Студент
	20	Подготовка отчета по бакалаврской работе	120	Студент
	21	Проверка отчета	10	Профессор
	22	Внесение корректив в пояснительную записку	15	Студент

4.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используем формулу:

$$t_{\text{ож } i} = \frac{3t_{\text{min } i} + 2t_{\text{max } i}}{5} \quad (2)$$

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

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человек-день.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка), человек-день.

$$t_{ож i} = 1,86.$$

После расчета $t_{ож i}$ рассчитаем продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{ч_i} \quad (3)$$

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

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

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

$$T_{pi} = 0,62.$$

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Расчет сметы затрат необходим для определения себестоимости НТИ. В плановую себестоимость НТИ включаются все затраты, связанные с ее выполнением, независимо от источника их финансирования. Смета затрат является основным документом, на относительно которого производят планирование и учет затрат на выполнение НТИ. Для формирования бюджета научного исследования необходимо затраты представить по статьям расходов:

- 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);
- накладные расходы.

4.5 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты на выполнение исследования включают в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В данной работе такими затратами являются расходы на приобретение материала поликапролактона и нитрида титана.

Стоимость материала для создания образцов составила 2000 рублей.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх } i} \quad (4)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данного исследования, занесены в таблицу.

Таблица 4.5.1 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. измерения	Затраты на материалы, руб.
Поликапролактон	мл	100	15	1680
Нитрид титана	г	50	7	800
Итого				2480

Таблица 4.5.2 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Единица оборудов ания	Кол-во единиц оборудов ания	Цена единицы оборудования , руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Рамановский спектрометр Centaur I	Шт	3	1 590 000	4 770 000
2	<u>Установка для электроспиннинга SUPER ES-3</u>	Шт	1	756 000	756 000
3	Установка магнетронного напыления плёнок VSE-PVD-100	Шт	1	347 000	347 000
Итого					5 873 000

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = \frac{Ц \cdot F_{\phi}}{F_{н} \cdot F_{сс}} \quad (5)$$

где Ц – цена оборудования, р.;

$F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

$F_{сс}$ – срок службы оборудования, год;

F_{ϕ} – фактическое время занятости оборудования в ВКР, ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице

Таблица 4.5.3 – Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	Цена ед. оборудования, руб.	Срок службы, год	Время занятости, ч	Затраты на амортизацию, руб
1	Рамановский спектрометр Centaur I	1 590 000	10	300	24 200
2	Установка для электроспиннинга SUPER ES-3	756 000	7	10	550
3	Установка магнетронного напыления плёнок VSE-PVD-100	347 000	5	5	170
Итого					73 000

Оборудование для проведения научного исследования специально не приобреталось, поэтому в статье расходов на специальное оборудование целесообразно учитывать только затраты на амортизацию, которые составляют 73 000 рублей.

4.6 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая

ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.
Расчет основной заработной платы приводится в таблице.

Таблица 4.6.1 – Основная заработная плата

№	Наименование этапа	Должность исполнителя	Трудо- емкость, чел- дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.								
				Профессор	Студент	Ассистент	Профессор	Студент	Ассистент						
1	Разработка технического задания	профессор	10	4 284	2 053	3 250	115 668	143 710	32 500						
		Студент	5												
2	Литературный обзор	профессор	5												
		Студент	20												
3	Проведение экспериментов	профессор	5												
		Студент	15												
		ассистент	10												
4	Обработка результатов экспериментов	профессор	5												
		Студент	20												
5	Подведение итогов	профессор	2												
		Студент	10												
Итого										291 878					

Таблица 4.6.2 Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Ассистент	Студент
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней	118	118	118
- выходные дни			
- праздничные дни			

Потери рабочего времени	50	50	50
- отпуск			
- невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	197	197	197

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (6)$$

где T_p — продолжительность работ, выполняемых научно- техническим сотрудником, раб. дн;

$З_{\text{дн}}$ — среднедневная заработная плата сотрудника, руб, рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (7)$$

где $З_{\text{м}}$ — месячный должностной оклад работника, руб.; M — количество месяцев работы без отпуска в течение года, 10,4 ; $F_{\text{д}}$ — действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн.

Месячный оклад работника рассчитывается как:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_p \quad (8)$$

где $З_{\text{тс}}$ — заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ — премиальный коэффициент, равный 0,3; k_p — районный коэффициент, равный в Томске 1,3.

Таблица 4.6.3

Исполнители	Разряд	k_T	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	k_p	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Профессор	ППС 4	0,2	36 800	0,3	1,3	62 192	3283	30	98 490
Ассистент	ППС 1	0,2	20 800	0,3	1,3	35 152	1856	10	18 560
Студент	ППС 1	0,2	9 983	0,3	1,3	16 871	891	120	106 920

Итого	223970
-------	--------

4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{осн} \quad (8)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равный 30 % от заработной платы (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 4.7 Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Профессор	98 490
Ассистент	18 560
Студент	106 920
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30 %
Итого	$З_{внеб} = 67\,191$ рублей

4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице.

Таблица 4.8 Расчет бюджета затрат НИП

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты	2 480
2. Затраты на амортизацию специального оборудования для научных (экспериментальных) работ	73 000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	223 970
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	26 070
5. Отчисления во внебюджетные фонды	63 207
Итого	388 727

Выводы по разделу 4

Данный раздел помог рассчитать все необходимые для данного исследования расходы, включая материальные затраты, заработная плата, страховые отчисления во внебюджетные фонды.

Данное исследование может помочь в развитии биоразлагаемых имплантатов. При дополнительных исследованиях имплантатов поликапролактона с покрытием нитрида титана на время деградирования позволит внедрить данный тип имплантатов в повсеместное использование в качестве биоразлагаемых имплантатов. Данный факт позволит внести большой вклад в развитие медицины в направлении имплантологии.

В ходе выполнения работы были достигнуты все поставленные цели и решены необходимые для этого задачи. Было проведено планирование научно-

технических работ, была рассчитан бюджет НТИ, который составил 388 727 рублей.

Таким образом, подводя итоги данного раздела, хочется отметить, что предложенный исследовательский проект актуален в настоящее время, имеет научную новизну. Также планируемый проект является экологическим, энергоэффективным и экономически эффективным.

Для выполнения данного проекта необходимо 75 дней. С учетом выходных дней и длительности рабочего дня работа может быть выполнена за 3-4 месяца.

5. Социальная ответственность

В современных условиях труда для снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости важным является внедрение системы целенаправленных действий по защите и охране труда на всех стадиях производственного процесса.

В этом разделе рассмотрены вопросы, связанные с охраной труда в лаборатории №1 корпуса ТПУ №3 кафедры общей физики, правила эксплуатации помещения при возникновении опасных ситуаций. Также проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на исследователя, а также приведены методы обеспечения безопасности, как для лаборатории, так и для организации в целом.

Научно-исследовательская работа представляет собой исследование влияния времени покрытия нитрида титана на структуру и степень кристалличности поликапролактона, который используется в качестве биоразлагаемого имплантата. Экспериментальная часть производится с использованием рамановского спектрометра Cetaur U HR, на котором измеряются спектры образцов с разным временем покрытия и персональный компьютер. Согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 работа принадлежит к разряду легких, но носит характер высокой умственной и нервно-психологической нагрузки.

5.1 Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ (с измен. 1999 г.) при работе с рамановским спектрометром существуют вредные и опасные производственные

факторы, влияющие на здоровье и работоспособность человека. Они приведены в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1 Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ.

Наименование видов работ	Тип воздействия	Воздействующие факторы	Нормативные документы
1. Проведение измерений на рамановском спектрометре 2. Обработка измерений на ЭВМ	Вредные	Недостаточная освещенность	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
		Превышение уровня электромагнитных излучений	СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
		Психофизические факторы	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
	Опасные	Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

Освещенность

Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0 освещенность рабочего стола должна составлять не менее $300 \div 500$ лк, что может достигаться применением местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов (их яркость на экране не должна превышать 40 кд/м^2).

Данное условие освещенности не выполняется. На человека, работающего с рамановским спектром оказывает постоянное влияние недостаточная освещенность, так как для корректной работы на данном приборе необходимо отсутствие освещения, так как образец, облучаемый лазерным излучением не защищен от света. Для нормального нервного состояния необходимо делать перерывы при работе со спектрометром.

Превышение уровня электромагнитных излучений

При работе за установкой источником электромагнитных волн является дисплей компьютера и непосредственно установка рамановского спектрометра. Монитор компьютера излучает в рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной областях, а также в других длинах волн. Согласно Сан-ПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать 250 нТл в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В. В ходе работы использовался компьютер со

следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 3 В/м; поверхностный потенциал составляет 500 В. Данные компьютера не превышают предельно допустимых значений.

Психофизические факторы

Работа за компьютером при обработке измерений и формировании отчета характеризуется умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой операторов, высокой напряженностью зрительной работы. Утомление зрительного аппарата вызывается особенностями изображения на дисплее компьютера, а особенно при разнице яркости дисплея и фоновое освещение. Они не должны иметь большую разницу, в противном случае глаз человека испытывает перенапряжение и быстро утомляется. При работе за компьютером необходимо делать перерывы, в противном случае могут появиться головные боли. При длительных и интенсивных работах на компьютере возможно возникновение профессиональных заболеваний.

Поражение электрическим током

Данный фактор относится к опасным факторам, так как он может принести тяжкий вред здоровью человека. Лаборатория, в которой проводились измерения имеет большое количество аппаратуры, осуществляющей работу при помощи однофазного электрического тока напряжением 220 В. Однако данная лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности, ввиду отсутствия таких воздействующих факторов как: высокая температура, повышенная влажность и другие.

Все влияющие на человека факторы при работе за данными установками можно разделить на 2 группы:

1. Физические: электрический ток, электромагнитное освещение и освещенность.
2. Психофизиологические: физические перегрузки и нервно-психические перегрузки.

5.2 Эргономические условия работы на ПЭВМ

5.2.1 Требования к помещениям для работы с ПЭВМ

Помещения с компьютерами должны иметь искусственное и естественное освещение. Освещенность в помещениях с компьютерами должно удовлетворять требования СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0, а именно освещенность на рабочей поверхности должна составлять 300-500 лк. Окна в помещениях с эксплуатируемой вычислительной техникой должны быть ориентированы на север и северо-восток. Окна должны быть оборудованы устройствами с регулировкой.

Для внутренней отделки помещений с ПЭВМ должны использоваться диффузно-отражающие материалы, коэффициент отражения потолка должен составлять 0,7 - 0,8; стен – 0,5 - 0,6; пола – 0,3 - 0,5.

В помещениях с рабочими местами с ПЭВМ необходимо наличие защитного заземления, соответствующего техническим требованиям по эксплуатации.

5.2.2 Общие требования к организации и оборудованию рабочих мест пользователей ПЭВМ

Организационные мероприятия

Персонал лаборатории должен строго соблюдать правила техники безопасности. Для обучения персонала правилам техники безопасности используется вводной инструктаж и инструктаж на рабочем месте ответственным за лабораторию лицом.

Для работы с рамановским спектрометром допускаются лица не моложе 18 лет, которые не имеют медицинских противопоказаний, успешно прошедших инструктаж. К самостоятельной работе допускаются ответственные работники после краткого обучения и проверки знаний электробезопасности, имеют знания о принципе работы прибора, ознакомленные с инструкцией по эксплуатации прибора.

При работе за установкой под контролем ассистента необходимо соблюдать все правила безопасности, следовать инструкциям, даваемым ассистентом. Каждую работу с прибором необходимо фиксировать в журнале, указывая фамилию, дату эксплуатации и фамилию ассистента при его наличии.

Проведение всех видов инструктажа должно фиксироваться в журнале регистрации инструктажа, где необходимо наличие подписей инструктирующего и персонала, прослужившего инструктаж.

Организация рабочего места при работе на компьютере и рамановском спектрометре

Управление установкой осуществляется с помощью компьютера. Планировка рабочего места подразумевает четкий порядок, постоянство размещения предметов и всей документации. Все необходимое для осуществления работ на установке должно находиться в зоне досягаемости.

При проектировании письменного стола должны быть соблюдены следующие требования. Высота рабочей поверхности должна находиться в диапазоне 680-800 мм. Высота рабочей поверхности для установки клавиатуры должна быть 650 мм. Ширина рабочего стола должна составлять от 700 до 1400 мм. Под столом должно быть свободное пространство для ног высотой не менее 600 мм и шириной не менее 500 мм.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен составлять не более 45 градусов к нормали экрана. Необходима возможность изменения уровня контраста и яркости изображения на экране. Также необходима возможность регулировки положения экрана в левом и правом направлении, по высоте и по наклону относительно вертикали.

5.3 Экологическая безопасность

Исследуемые материалы в будущем являются биоразлагаемыми имплантатами, которые не требуют последующего извлечения из организма человека. Это говорит об экологической безопасности данного исследования. Однако загрязнение окружающей среды возможно при последующей утилизации используемого оборудования, при окончании его срока службы или выходе из строя.

Используемая установка имеет компоненты, которые содержат токсичные вещества, которые опасны для окружающей среды. Для предотвращения оказания опасного воздействия на окружающую среду, необходимы специальные методы утилизации. Для выполнения данного комплекса необходимо:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- переплавление металлических частей для последующего производства;
- специализированная переработка неметаллических частей либо их утилизация.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В лаборатории, где проводились эксперименты возможно возникновение чрезвычайных ситуации (ЧС) техногенного характера.

ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения местности и атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ), отравляющими веществами (ОВ), биологически (бактериологически) опасными и радиоактивными веществами. Аварии и катастрофы на объектах характеризуются внезапным обрушением зданий, сооружений, авариями на энергетических сетях (ТЭЦ, АЭС, ЛЭП и др.), авариями в коммунальном жизнеобеспечении, авариями на очистных сооружениях, технологических линиях и т. д.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (землетрясение, наводнение, пожары, химическое либо радиоактивное заражение и т.п.) должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;

- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В наиболее короткие сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения (пенсионеры, инвалиды, больные и т.д.) всеми видами имеющегося транспорта.

Рассредоточение и эвакуация населения комбинированным способом осуществляется по территориально-производственному принципу. Это значит, что вывод населения организуется через предприятия, учреждения, учебные заведения и домоуправление по месту жительства.

Спасательные работы надо начинать немедленно, чтобы не дать возможности аварии разрастись до катастрофических размеров. Очень важно обеспечить общественный порядок, что даст возможность свободному прибытию формирований гражданской обороны (ГО) к месту аварий. Формирования охраны общественного порядка должны приступить к работе в первую очередь.

Очень важны действия аварийно технических формирований, которые немедленно должны отключить ещё не повреждённые энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

Спасательные формирования ГО должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей, действуя совместно с формированиями ГО медицинской службы. Чем организованней, быстрее сработают все

подразделения различных служб, тем меньше материального ущерба и человеческих жизней унесёт авария.

Существует 5 степеней огнестойкости зданий, сооружений. Помещение лаборатории можно отнести к первой степени огнестойкости.

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

1. составление планов эвакуации;
2. назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проёмов, окон, проходов и лестниц;
3. ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации, который должен висеть на видном месте.

5.5 Законодательное регулирование проектных решений

Особое внимание при планировании помещения с рабочими местами следует обратить на пожарную безопасность, так как пожары в помещениях с компьютерной техникой влекут за собой опасность для жизни людей, а также большие материальные потери.

При продолжительной работе за компьютером необходимо соблюдать режим труда и отдыха. Данный режим предусматривает соблюдение определенного времени непрерывной работы за компьютером и перерывов,

которые регламентируются с учетом длительности рабочей смены, категории трудовой деятельности. Для предотвращения утомления оператора от работы за компьютером, рекомендуется чередование работы за компьютером с другим видом работы. При непрерывной работе за компьютером рекомендуется делать перерывы продолжительностью 10-15 минут каждые 45-60 минут работы.

Выводы по разделу 5

В данном разделе были рассмотрены правила эксплуатации помещения, в котором проводилась научно-исследовательская работа. Были рассмотрены возможности возникновения чрезвычайных ситуаций и поведение в этих ситуациях. Был проведен анализ вредных и опасных факторов и их влияние на здоровье человека. В данном случае вредными факторами являются недостаточная освещенность помещения, так как для корректной работы оборудования необходимо отсутствие света. Также к вредным факторам можно отнести превышение уровня электромагнитных излучений и психофизические факторы. К опасным факторам относится поражение электрическим током.

Заключение

Обзор литературы показал, что исследование биоразлагаемых полимеров актуально в настоящее время. Данные исследования могут способствовать развитию медицины в области имплантологии. Также существует необходимость в увеличении адгезии клеток импланта к организму, в то же время необходимо сохранение структуры и свойств полимера. В нашем исследовании изучается биоразлагаемый полимер поликапролактон. Для увеличения адгезии клеток используется покрытие нитрида титана.

Была выполнена главная задача научно-исследовательской работы – изучено влияние времени покрытия нитрида титана на степень кристалличности поликапролактона. Для изучения данной зависимости использовался метод КР спектроскопии.

При выполнении работы были сняты спектры комбинационного рассеяния образцов поликапролактона с разным временем покрытия. Из всего спектра два пика отвечают за степень кристалличности. Для проведения исследования были использованы спектрометры с длиной волны 532 и 785 нм.

Была получена зависимость ширины пиков на полувысоте от времени покрытия нитрида титана. При его увеличении уменьшается ширина пиков на полувысоте. Из чего следует что степень кристалличности возрастает с увеличением времени покрытия.

Следовательно, увеличивается время деградирования импланта из данного материала. Это позволит использовать имплант в более серьезных областях имплантологии.

При проведении сравнительного анализа спектрометра была определена повторяемость измерений. Стандартное отклонение позиции пика составило $0,2 \text{ см}^{-1}$. Также было определено спектральное разрешение используемых спектрометров. Для приборов Centaur U HR и Renishaw оно составило 3,7 и 7,4

см⁻¹ соответственно. При наличии образцов с аморфным и кристаллическим состояниями следующим этапом было бы измерение количественной характеристики кристалличности полимера.

Также были проведены измерения других полимеров – винилиденфтоида с тетрафторэтиленом с покрытием меди и полигидроксипропиридата. В первом случае планировалось исследование кристалличности, однако покрытие меди вызывало сильную люминесценцию. Данный факт сделал исследование невозможным. Целью измерений полигидроксипропиридата было наблюдение воспроизводимости измерений.

В ходе работы над разделом финансовая ответственность и ресурсоэффективность был составлен план проекта, график выполнения работ. Также были рассчитаны материальные затраты, заработная плата, страховые отчисления во внебюджетные фонды.

При анализе безопасности жизнедеятельности были проанализированы опасные и вредные факторы, рассмотрены правила эксплуатации помещения, в котором проводилась научно-исследовательская работа.

Данное исследование является ресурсоэффективным, актуальным и особо значимым в современной медицине.

Список используемых источников

- [1] I. Dion, F. Rouais, L. Trut, C. Baquey, J.R. Monties, P. Havlik, TiN coating: surface characterization and haemocompatibility, *Biomaterials*. 14 (1993) 169–176. doi:10.1016/0142-9612(93)90019-X.
- [2] K.B. Migler, A.P. Kotula, A.R. Hight Walker, Trans-rich structures in early stage crystallization of polyethylene, *Macromolecules* 48 (13) (2015) 4555e4561.
- [3] G. Kister, G. Cassanas, M. Bergounhon, D. Hoarau, M. Vert, Structural characterization and hydrolytic degradation of solid copolymers of d,l-lactide-co- ϵ -caprolactone by Raman spectroscopy, *Polymer* 41 (3) (2000) 925e932.
- [4] R. Barbucci . Integrated biomaterial science. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2002.
- [5] Lakshmi S. Nair, Cato T. Laurencin. Biodegradable polymers as biomaterials. / *Prog. Polym. Sci.* 32 (2007) 762–798
- [6] Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ, Lemons JE. Biomaterials science: a multidisciplinary endeavor. In: Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ, Lemons JE, editors. *Biomaterials science: an introduction to materials in medicine*. 2nd ed. Oxford, UK: Elsevier's Science & Technology; 2004. p. 1–9.
- [7] Pathiraja A.Gunatillake and Raju Adhikari. BIODEGRADABLE SYNTHETIC POLYMERS FOR TISSUE ENGINEERING / *European Cells and Materials* Vol. 5. 2003 (pages 1-16) DOI: 10.22203/eCM.v005a01 P
- [8] Chiari C, Koller U, Dorotka R, Eder C, Plasenzotti R, Lang S, et al. A tissue engineering approach to meniscus regeneration in a sheep model. *Osteoarthritis Cartilage* 2006;14:1056–65.
- [9] Mondrinos MJ, Dembzyński R, Lu L, Byrapogu VKC, Wootton DM, Lelkes PI, et al. Porogen-based solid freeform fabrication of polycaprolactone—calcium phosphate scaffolds for tissue engineering. *Biomaterials* 2006;27:4399–408.

- [10] Woodward SC, Brewer PS, Moatamed F. The intracellular degradation of poly(e-caprolactone). *J Biomed Mater Res* 1985;44:437–44.
- [11] D. Li, Y.N. Xia, Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel? *Advanced Materials* 16 (2004) 1151–1170.
- [12] D.H. Reneker, I. Chun, Nanometer diameter fibers of polymer, produced by electrospinning, *Nanotechnology* 7 (1996) 216–223.
- [13] Dehai Liang , Benjamin S. Hsiao, Benjamin Chu, Functional electrospun nanofibrous scaffolds for biomedical applications, / *Advanced Drug Delivery Reviews* 59 (2007) 1392–1412
- [14] DeValenceS., Tille J., MugnaiD. Long term performance of polycaprolactone vascular grafts in a rat abdominal aorta replacement model. *Biomaterials*. 2012; 33 (1): 38–47.
- [15] I. Dion, F. Rouais, L. lout*, Ch, Baquey, J,R. Monties and P. Havlik
TiN coating: surface characterization and haemocompatibility. *Biomaterials* 1993, , Vol. 14 No. 3
- [16] P.J. Hendra, C. Jones and G. Warnes, *Fourier Transform Raman Spectroscopy: Instrumentation and Chemical Applications*, Ellis Horwood, New York, 1991.
- [17] A.P. Kotula, C.R. Snyder, K.B. Migler, Determining conformational order and crystallinity in polycaprolactone via Raman spectroscopy, *Polymer*, 117 (2017).
- [18] A.P. Kotula, M. Meyer, F. de Vito, J.P. Plog, A.R. Hight Walker, K.B. Migler, The rheo-Raman microscope: simultaneous chemical, conformational, mechanical, and microstructural measures of soft materials, *Rev. Sci. Instrum.* 87 (10) (2016), 105105.

[19] Sanjeev K. Gupta and Prafulla K. Jha, Modified Confinement Model for Size Dependent Raman Shift and Linewidth of Silicon Nanocrystals, Mesoscale and Nanoscale Physics, 2017

[20] Ахманов С. А., Коротеев Н. И. Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света. — Москва: Наука, 1981. — (Современные проблемы физики).

[21] Hoheisel AL, Zernetsch H, Glasmacher B. Automatized Production of Scaffolds for Heart Valve Tissue Engineering. Poster presented at: 48th annual conference of the German Society for Biomedical Engineering, BMT 2014; Hannover, 08–10.10.2014.

[22] Biodegradable polymers: market report — David K. Platt, Rapra Technology Limited — Google Books

[23] How to help Raman spectroscopy [Электронный ресурс]: <http://www.innovativeideas.com/2017/03/raman-spectroscopy.html> (дата обращения: 21.01.2018)