

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование структуры и свойств TiSiN покрытий, сформированных методом дуального магнетронного распыления на поверхности полимерных мембран для приложений сердечно-сосудистой хирургии

УДК 621.793:621.385.64:66.081.6:617-089:616.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Лаушкина Алина Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник НОЦ Б.П. Вейнберга	Большасов Е.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ Б.П. Вейнберга	Блейхер Г.А.	д.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2022 г.

Компетенции выпускников ООП «Ядерные физика и технологии» по направлению
 14.03.02 Ядерные физика и технологии, специализация «Пучковые и плазменные
 технологии» (2018 года приёма)

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

Код компетенции	Наименование компетенции
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ПК(У)-1	Готов принимать участие в теоретических исследованиях в различных областях физики, связанных с современными высокотехнологическими способами энергетического воздействия на материалы, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых процессов.
ПК(У)-2	Способен участвовать в экспериментальных исследованиях в различных областях физики, связанных с воздействием плазмы и пучков заряженных частиц на вещество, самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий.
ПК(У)-3	Способен осуществлять самостоятельный поиск, изучение и использование научно-технической информации по тематике исследования, применять современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-4	Способен проектировать плазменно-пучковые технологические процессы и оборудование для применения в научных исследованиях и промышленности
ПК(У)-5	Готов к участию в производственно-технологической деятельности, связанной с применением плазменных и пучковых технологий для обработки материалов и синтеза новых материалов (в том числе нанесению

Код компетенции	Наименование компетенции
	функциональных покрытий), определению основных параметров технологических процессов, анализу физических и механических свойств изделий и материалов.
ПК(У)-6	Способен применять современные цифровые технологии и пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов.
ПК(У)-7	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования

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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Блейхер Г.А.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Лаушкина Алина Алексеевна

Тема работы:

Исследование структуры и свойств TiSiN покрытий, сформированных методом дуального магнетронного распыления на поверхности полимерных мембран для приложений сердечно-сосудистой хирургии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №47-2/с от 16.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2022 г.
--	---------------

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>	Объектом исследования служат полимерные мембраны, а предметом исследования функциональные свойства полимерных мембран.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных</i>	Обзор литературных источников и анализ методов модифицирования в плазме; постановка задачи исследования; исследование полученных образцов до и после модифицирования; анализ структурных и функциональных свойств полимерных мембран; раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;

<i>разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	раздел «Социальная ответственность».
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исследование структуры и свойств Ti-Si-N покрытий, сформированных методом дуального магнетронного распыления на поверхности полимерных мембран для приложений сердечно сосудистой хирургии 2. Актуальность 3. Постановка задачи 4. Цель и задачи 5. Создание полимерных мембран 6. Плазменное модифицирование внешней поверхности мембран 7. Структурный анализ поверхности сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) 8. Элементный состав поверхности мембран 9. Смачиваемость и поверхностная энергия 10. <i>In vitro</i> исследования 11. Заключение

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Передерин Юрий Викторович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.10.2021 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник НОЦ Б.П. Вейнберга	Большасов Е.Н.	к.т.н.		04.10.2021 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Лаушкина Алина Алексеевна		04.10.2021 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Лаушкина Алина Алексеевна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ. Им. Вейнберга
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Примерный бюджет проекта – 554 186,0 руб.; В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 30% Накладные расходы – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения (в т.ч. 30 % - отчисления во внебюджетные фонды по хоздоговорам)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета	Иерархическая структура работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	SWOT-анализ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-графики бюджет НТИ
4. График проведения и бюджет
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2022 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т.Б.	к.э.н.		28.03.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Лаушкина А.А.		28.03.2022 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Лаушкина Алина Алексеевна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ. Им. Вейнберга
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Исследование структуры и свойств TiSiN покрытий, сформированных методом дуального магнетронного распыления на поверхности полимерных мембран для приложений сердечно-сосудистой хирургии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: полимерные мембраны. Методика: модифицирование поверхности полимерных мембран в плазме. Место проведения исследований: НОЦ Б.П. Вейнберга, лаборатория № 101. Рабочая зона: экспериментальная ионно-плазменная установка Область применения: медицина.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. 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.	– ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенный уровень шума; – Отклонение показателей микроклимата; – Фактор, обладающий свойствами химического воздействия на организм. Опасные факторы: – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: – возникновение пожара, под которым понимается вышедший изпод контроля процесс горения

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2022 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Передерин Ю.В.	к.т.н.		28.03.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Лаушкина А.А.		28.03.2022 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 97 с., 19 рис., 27 табл., 48 источников и 0 приложений.

Ключевые слова: дуальное магнетронное распыление, TiSiN покрытия, полимеры, плазменная модификация, сердечно-сосудистая хирургия.

Объектом исследования являются полимерные мембраны.

Цель работы – исследование влияния времени плазменной обработки на функциональные свойства полимерных мембран.

В процессе исследования были изучены:

- микроструктура полимерных мембран до и после обработки в плазме;
- исследован химический состав поверхности мембран;
- измерена смачиваемость поверхности и рассчитана свободная поверхностная энергия мембран;
- изучена биосовместимость мембран до и после модифицирования.

Область применения: сердечно-сосудистая хирургия.

Значимость работы: были получены полимерные модифицированные мембраны, которые способны приживаться в организме.

Содержание

Введение.....	14
Раздел 1. Обзор литературы	17
1.1 Поливинилиденфторид	17
1.2 Сополимер винилиденфторида с тетрафторэтиленом П(ВДФ–ТФЭ) ...	20
1.3 Методы модифицирования полимерных мембран.....	21
1.3.1 Плазменная модификация поверхности полимерных мембран	22
1.3.2 Магнетронное распыление	23
Раздел 2. Экспериментальные методы и оборудование.....	26
2.1 Материалы и методы	26
2.1.1 Получение полимерных мембран	26
2.1.2 Модификация мембран в плазме дуального магнетрона с Ti и Si мишенями.....	28
2.2 Исследование прочности на разрыв	31
2.3 Изучение микроструктуры поверхности.....	32
2.4 Исследование элементного состава поверхности	34
2.5 Изучение смачиваемости и поверхностной энергии поверхности.....	35
2.6 <i>In vitro</i> исследования	37
Раздел 3 Результаты эксперимента и их анализ.....	40
3.1 Выбор режимов формирования полимерных мембран методом электроспиннинга	40
3.2 Исследование прочности на разрыв	41
3.3 Модификация мембран при магнетронном распылении Ti и Si в среде азота и аргона	42
3.4 Микроструктура поверхности	43

3.5 Исследование элементного состава поверхности	47
3.6 Изучение смачиваемости и поверхностной энергии поверхности.....	48
3.7 <i>In vitro</i> исследования	49
Раздел 4. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность.....	53
Введение	53
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	54
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	54
4.1.3 SWOT-анализ.....	56
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	57
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	57
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	58
4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	59
4.4 Бюджет научно-технического исследования.....	62
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	63
4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	63
4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	65
4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителям темы	67
4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	68
4.4.6 Накладные расходы.....	68

4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	68
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	69
Вывод по разделу	72
Раздел 5. Социальная ответственность	73
Введение	73
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности на рабочем месте	73
5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов	74
5.2.1 Отклонение показателей микроклимата	76
5.2.2 Повышенный уровень шума и вибрации	78
5.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	80
5.2.4 Опасность электрического тока	81
5.2.5 Пожарная и взрывная безопасность	83
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)	84
Вывод по разделу	87
Заключение	89
Список литературы	92

Введение

По статистике сердечно-сосудистые заболевания являются одной из главных причин смертности во всем мире. В России в год от болезней сердца и сосудов умирает более 900 тысяч людей. Одним из наиболее эффективных способов восстановления сосуда является замещение его пораженного участка с тромбом на искусственную мембрану [1-5].

Благодаря своим физико-химическим свойствам и гемосовместимости полимерные мембраны из поливинилиденфторида (ПВДФ) и его сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТФЕ) являются перспективными материалами для создания искусственных сосудов. Ввиду наличия фтора в их структуре данные полимеры обладают высокой химической стойкостью в различных агрессивных средах, они имеют низкий коэффициент трения и устойчивы к истиранию [6]. Не менее важно, что ПВДФ и его сополимеры обладают пьезоэлектрическими свойствами, высокой механической прочностью и упругостью, могут растворяться в органических растворителях с низкой токсичностью, таких как ацетон, метилэтилкетон, бутилацетат и этилацетат. Пьезоэлектрические мембраны, изготовленные из фторсодержащих полимеров (напр., ПВДФ или ВДФ-ТФЕ), под воздействием внешних механических стимулов способны усиливать миграцию, адгезию и уровень секреции цитокинов фибробластов, основных клеток кожи [7]. Данная способность позволяет пьезоэлектрическим фторполимерным мембранам генерировать электрические импульсы в результате механического воздействия на прилегающие ткани, что позволяет стимулировать процесс заживления [8]. Благодаря этому биосовместимые пьезоэлектрические фторполимеры уже активно используются при изготовлении тканеинженерных каркасов [7,8].

Несмотря на всё вышеперечисленное, главной проблемой полимерных мембран является их гидрофобность и биологическая инертность, которые ограничивают адсорбцию белков и, тем самым, снижается приживаемость

клеток в организме [9]. Для придания нужных свойств полимерным мембранам уже хорошо себя показала плазменная модификация их поверхности [5-13].

Плазменная обработка ионным пучком может существенно изменить поверхность полимерной мембраны, улучшив ее свободную энергию и повысив гидрофильность [12-13]. Но такая поверхность не обеспечивает повышение адгезии клеток. Для этого нужно изменить элементный состав поверхности полимерной мембраны. Ранее было продемонстрировано, что материалы с покрытием TiN более интенсивно взаимодействует с имитируемой жидкостью организма, повышая срастание тканей с внедряемым имплантатом [14]. Также установлено, что тонкие пленки TiSiN, имеющие нанокompозитную структуру из кристаллов TiN в аморфной матрице SiN_x, обеспечивают более высокую адгезию клеток с поверхностью имплантата [15]. Концентрация Si в таких плёнках значительно влияет на шероховатость и адсорбцию поверхности, благодаря чему смачиваемость значительно улучшается [16].

Поэтому более эффективным инструментом может быть модификация поверхности мембран в плазме магнетронной распылительной системы. Однако, несмотря на полученные высокие результаты применения плёнок TiSiN, нет данных о том, как длительность плазменной обработки влияет на структурные и функциональные свойства модифицированных полимеров. Это крайне важно для полимеров типа ПВДФ ввиду того, что они имеют низкую температуру деградации (не более 80 °С).

Поэтому требуется выполнить исследование с целью определения влияния длительности обработки полимеров ПВДФ и его сополимера ВДФ-ТФЕ в плазме магнетронной распылительной системы на его структурные и функциональные свойства. Для этого в работе было выполнено плазменное модифицирование полимерных мембран из ПВДФ и его сополимера с помощью дуального магнетронного распыления Ti и Si мишеней в атмосфере

аргона и азота. Далее были исследованы их структурные и функциональные свойства в зависимости от времени обработки.

Цель работы – исследование влияния времени плазменной обработки на функциональные свойства полимерных мембран.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- создание полимерных мембран методом электроспиннинга;
- модифицирование полимерных мембран в плазме дуального магнетрона при изменении времени плазменной обработки;
- анализ свойств полимерных мембран.

Объект исследования: полимерные мембраны.

Предмет исследования: функциональные свойства полимерных мембран.

Раздел 1. Обзор литературы

Целью данного раздела является краткий обзор научной литературы, посвященной полимерным материалам, которые используются в данной работе, а также методам модифицирования полимерных мембран.

1.1 Поливинилиденфторид

Полимеры поливинилиденфторид (ПВДФ) представляют собой полукристаллические и длинноцепочечные макромолекулы, которые содержат 59,4 масс.% фтора и 3 масс.% водорода [17]. Химическая структура ПВДФ показана на рисунке 1.

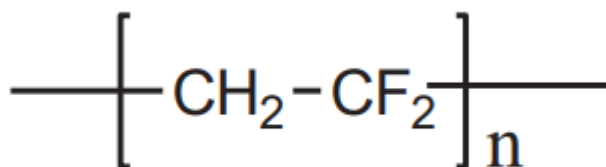


Рисунок 1 – Химическая структура.

Кристаллическая фаза PVDF имеет три различные молекулярные конформации и пять различных кристаллических полиморфов. Кристаллическими полиморфами называются α (фаза II), β (фаза I), γ (фаза III), δ и ϵ , среди которых наиболее частыми являются α -, β - и γ -фазы (рисунок 2) [18].

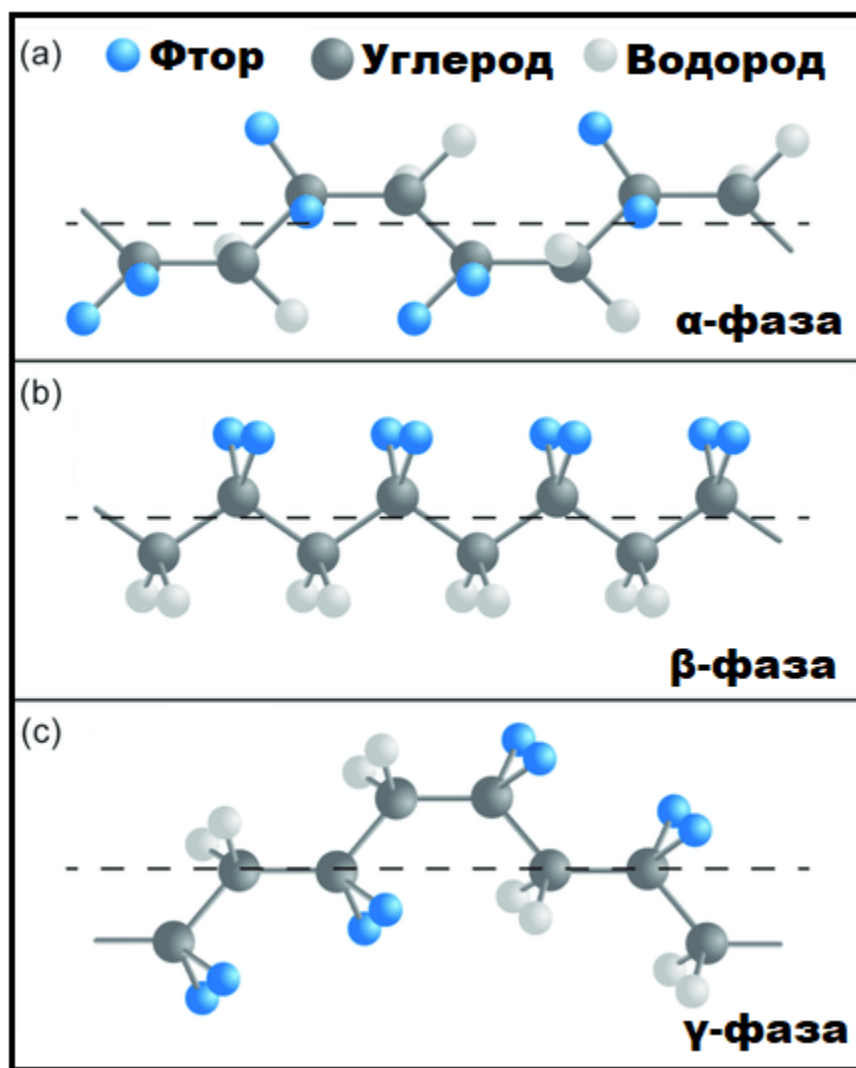


Рисунок 2 – Химическая структура альфа-фазы (α), бета-фазы (β) и гамма-фазы (γ) поливинилиденфторида [18].

α - и γ -фазы имеют одинаковую конформацию, β -фаза имеет иную конформацию ТТТ. α -форма является кинетически благоприятной, в то время как β -форма является наиболее термодинамически стабильной формой.

Полиморфизм ПВДФ напрямую связан с несколько большим ван-дер-ваальсовым радиусом атома фтора (1,35 Å) по сравнению с радиусом атома водорода (1,20 Å). На самом деле, наличие этих пяти типов кристаллических фаз в ПВДФ для синтетических полимеров является редкой характеристикой. Для α -фазы полимерные цепочки неполярны, а атомы водорода и фтора чередуются с обеих сторон цепочки, образуя структуру спирального типа

(рисунок 2). Для β -фазы с зигзагообразной конформацией ориентация сильного диполя в звеньях основания $-\text{CH}_2\text{CF}_2-$ вдоль полимерной цепи придает фторполимеру его пьезо-, пиро- и сегнетоэлектрические свойства [18]. γ -фаза имеет промежуточную полярную конформацию [19]. Эти различные кристаллические фазовые структуры уже были охарактеризованы [18,20].

ПВДФ инертен к различным растворителям, маслам и кислотам и обладает низкой проницаемостью для газов и жидкостей. Температуры стеклования (T_C) и текучести (T_T) аморфной и кристаллической областей ПВДФ находятся в диапазоне от -40 до -30 °C и $155-192$ °C соответственно. Молекулярная масса и количество дефектов цепи оказывают влияние на T_C и T_T . Аморфные области ПВДФ имеют плотность $1,68$ г/см³, α и γ фазы имеют плотность $1,92$ и $1,93$ г/см³ соответственно, в то время как плотность β – фазы составляет $1,97$ г/см³. Таким образом, типичная плотность данного полимера находится в диапазоне от $1,75$ до $1,78$ г/см³.

Благодаря превосходному сочетанию свойств и технологичности ПВДФ доступен в широком диапазоне в виде порошков и гранул для удовлетворения типичных производственных требований. Все распространенные методы формования могут быть использованы для обработки ПВДФ для формирования нужных форм. Такие полимеры используются для производства генераторов энергии, сенсоров и микророботов. Одной из перспективных областей применения является использование ПВДФ и его сополимеров для разработки «умных» имплантатов и матриц для тканевой инженерии. Такие устройства могут воздействовать на клетки и ткани с помощью электроэнергии без имплантации электродов и использования внешнего источника напряжения благодаря своим пьезоэлектрическим и сегнетоэлектрическим свойствам. Предполагается, что ПВДФ и его сополимеры могут быть использованы для инженерии тканей сердечно-сосудистой системы, травм спинного мозга, нервов, пищевода, регенерации

костной ткани, заживления ран, высвобождение лекарств и клеточная биология.

1.2 Сополимер винилиденфторида с тетрафторэтиленом П(ВДФ–ТФЭ)

Многие сополимеры ПВДФ были разработаны для получения более специфических свойств в соответствии с требованиями новых мембранных материалов. Такие свойства, как кристалличность, температура плавления, температура стеклования, стабильность, эластичность, проницаемость и химическая реакционная способность, могут быть изменены в результате сополимеризации [17].

П(ВДФ–ТФЭ) (рисунок 3) имеет хорошую механическую природу и может быть растворен в обычных растворителях, что открывает потенциал для изготовления микропористых мембран с помощью процесса фазовой инверсии.

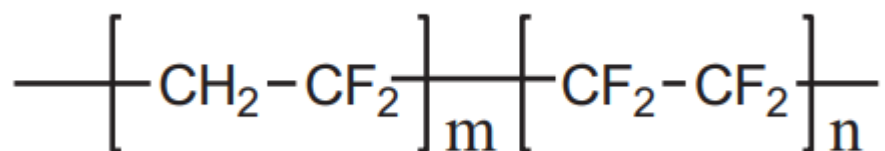


Рисунок 3 – Химическая структура П(ВДФ-ТФЭ).

Преимущество сополимеров заключается в том, что они могут кристаллизоваться непосредственно из состояния плавления в пьезоэлектрическую кристаллическую фазу, что исключает сложные процедуры последующей обработки [21].

П(ВДФ-ТФЭ) обладает ферромагнитными и пьезоэлектрическими свойствами, высокой химической стойкостью, хорошими механическими свойствами и способностью растворяться в органических растворителях с низкой токсичностью, таких как ацетон, метилэтилкетон, бутилацетат и этилацетат. Такие материалы используются для мембранной дистилляции,

сепараторов вторичных аккумуляторов и производства полимерных электролитов.

Пьезоэлектрические мембраны, изготовленные из фторсодержащих полимеров, под воздействием внешних механических стимулов способны усиливать миграцию, адгезию и уровень секреции цитокинов фибробластов, основных клеток кожи [22]. Эта способность позволяет пьезоэлектрическим фторполимерным мембранам (ФПМ) генерировать электрические импульсы в результате механического воздействия на прилегающие ткани, что позволяет стимулировать процесс заживления [23]. Использование материалов с пьезоэлектрическими свойствами приводит к стимуляции роста костей и дифференцировки нервных клеток. Благодаря этому биосовместимые пьезоэлектрические фторполимеры активно используются при изготовлении тканеинженерных каркасов. Несмотря на это, каркасы из П(ВДФ–ТФЭ) являются гидрофобными и не способны негативно влиять на количество патогенных бактерий, что ограничивает их использование в тканевой инженерии [24].

1.3 Методы модифицирования полимерных мембран

Для применения в медицинских областях часто требуются особые характеристики. Эти дополнительные требования часто называют 'биосовместимостью'. Понятие биосовместимости может быть истолковано таким образом, что базовый материал для имплантатов хорошо воспринимается клетками, которые размножаются на этом материале. Взаимодействие биологической системы с таким полимерным материалом начинается с адсорбции компонентов из биожидкости на поверхности полимера. Прежде всего, он адсорбирует белки, которые немедленно покрывают любую новую поверхность материала благодаря своему поверхностно-активному поведению. Таким образом, поверхности часто характеризуются тем, как они адсорбируют определенные белки. Для

улучшения биосовместимости полимерных поверхностей используются различные методы [25].

Модифицирование поверхности полимерных мембран может осуществляться некоторыми способами: плазменная обработка ионным пучком и в плазме магнетронной распылительной системы. В первом случае плазменная обработка осуществляется в целях активации поверхности мембраны. Во втором случае используется метод магнетронного распыления газа для осаждения пленки на поверхности изделия.

1.3.1 Плазменная модификация поверхности полимерных мембран

Фторполимеры обладают высокой химической инертностью и имеют низкую свободную энергию поверхности. В связи с этим применяют плазменную обработку с целью изменить физико-химические свойства (например, гидрофильности, адгезионной способности и др.) поверхности полимера, используя неполимеробразующие газы (например, азот, кислород, инертные газы и др.) [26]. Этот процесс называется активацией поверхности. За счёт бомбардировки поверхности энергетическими частицами плазмы ковалентные связи между поверхностными атомами разрушаются и на поверхности образуются активные радикалы. Эти радикалы взаимодействуют с частицами плазмы и образуют различные функциональные группы.

Плазменная обработка полимеров в атмосфере кислорода и азота приводит к улучшению адгезии и увеличению гидрофильности поверхности. Во время обработки, атомы кислорода и азота внедряются в поверхность и образуют гидроксильные, карбоксильные и карбонильные функциональные группы. При увеличении содержания кислорода обычно наблюдается деструкция полимеров (разрыв полимерных цепочек или травление с образованием газообразных продуктов).

При воздействии плазмы инертных газов на поверхности также образуются активные радикалы. Вместе с появлением радикалов происходит газификация молекулярных фрагментов полимера. Далее идет переосаждение

этих частиц на активированную поверхность, что приводит к образованию поверхностных слоев, сильно отличающихся по свойствам от основного материала. При плазменной обработке инертными газами вероятен эффект дегидрофторирования, в результате разрыва цепи с последующим сшиванием и образованием двойных связей [12]. Это приводит к увеличению шероховатости и свободной энергии поверхности

Плазменная активация может быть использована для изменения свойств поверхности полимера с гидрофильных на гидрофобные. Для этого полимер обрабатывают фторуглеродной плазмой. В процессе обработки происходит замещение связей С-Н на С-Ф на поверхности, а также прививка функциональных групп CF_2 и CF_3 [12-13].

1.3.2 Магнетронное распыление

Магнетронное распыление – технология нанесения тонких плёнок на подложку с помощью катодного распыления мишени в плазме газового разряда. С помощью магнетронного распыления удастся получить пленки абсолютно разного состава, начиная с металлических и заканчивая диэлектрическими. Для того, чтобы получить пленки сложного соединения можно использовать дуальное магнетронное распыление.

Дуальное магнетронное распыление осуществляется сдвоенными магнетронами, питание которых осуществляется среднечастотными импульсами (СЧ). Наиболее распространена схема питания дуальных СЧ магнетронов одним импульсным источником, в котором они запитаны в противофазе среднечастотными импульсным биполярным напряжением синусоидальной или близкой к прямоугольной формы. Значительно реже используются и два источника питания, импульсы которых могут быть как несинхронизированными, так и синхронизированными.

При питании дуальных магнетронов противофазным среднечастотным импульсным биполярным напряжением одну половину периода один магнетрон работает катодом, а другой – анодом. В другую половину периода

– наоборот. В этой ситуации мишень магнетрона, работающего в эту половину периода катодом, очищается от лишнего слоя диэлектрика. Кроме того, вторичные электроны, выбитые из мишени-катода, ускоряются ко второму магнетрону, мишень которого работает анодом, и нейтрализуют там положительный заряд на поверхности диэлектрика, частично покрывающего поверхность мишени, что предотвращает появление пробоев.

Принципиальная схема дуальной магнетронной системы представлена на рисунке 4.

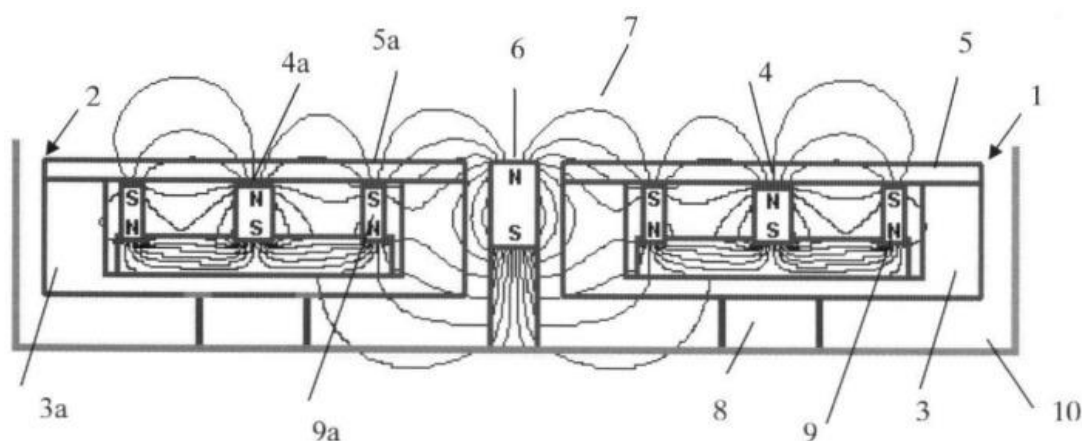


Рисунок 4 – Схема дуальной магнетронной распылительной системы [27].

Постоянные магниты (поз.4), (поз.4а), (поз.9), (поз.9а), и (поз.6) создают продольное магнитное поле (поз.7). К одному планарному магнетрону от источника питания подключено положительное напряжение, а к другому отрицательное. Таким образом, один магнетрон является катодом, а другой анодом.

Когда на магнетрон (поз.1) подается отрицательный потенциал, он начинает притягивать положительно заряженные ионы рабочего газа из плазмы. Ускоренные ионы бомбардируют и распыляют мишень (поз.5), одновременно передавая ей свой заряд. При этом мишень (поз.5) накапливает положительный заряд. Поле этого заряда компенсирует первоначальное поле магнетрона, находящегося под отрицательным потенциалом, и дальнейшее распыление становится невозможным, так как ионы из разряда не

притягиваются к мишени (поз.5). Одновременно на магнетрон (поз.2) подается положительный потенциал, и второй магнетрон выполняет функцию анода. Затем полярность напряжения на магнетронах меняется. После смены полярности положительный потенциал подается на магнетрон (поз.1), и он притягивает электроны, которые нейтрализуют заряд ионов, превращая их в атомы, таким образом очищая мишень (поз.5) магнетрона (поз.1). В это время магнетрон (поз.2) выполняет функцию катода. Т.е. ускоренные из плазмы рабочего газа ионы бомбардируют мишень (поз.5а), которая распыляется и на ней идет накопление положительного заряда, тормозящего процесс распыления. При очередной смене полярности начинает распыляться очищенная от окислов мишень (поз.5) [27].

Функция анода последовательно переходит от одного катодного узла к другому. Таким образом мишени (поз.5) и (поз.5а) поочередно распыляются и очищаются. Электрический разряд горит между парой магнетронов (поз.1) и (поз.2) и запыление поверхности рабочей камеры оксидными пленками не влияет на свойства разряда, т.е. конструкция лишена недостатков, связанных с «проблемой исчезающего анода» [27].

Смена полярности на магнетронах происходит с частотой 1-100 кГц. Замкнутое магнитное поле у поверхности позволяет лучше удерживать плазму разряда непосредственно у мишени (поз.5). Наличие дополнительной магнитной системы (поз.6) препятствует уходу электронов из системы. Это приводит к значительному росту степени ионизации плазмы, что в свою очередь повышает скорость распыления мишеней (поз.5) и (поз.5а), а, следовательно, и повышает скорость напыления пленок. Одновременная подача отрицательного и положительного потенциалов на магнетроны позволяет получать высококачественные покрытия, т.к. напыление происходит непрерывно и во время очистки одного из магнетронов загрязнения подложки не происходит (в это время происходит напыление другим магнетроном).

Раздел 2. Экспериментальные методы и оборудование

В данном разделе рассматриваются методы и оборудование, используемые в работе.

2.1 Материалы и методы

2.1.1 Получение полимерных мембран

Формирование мембран проводилось с использованием технологии электроспиннинга на установке «NANON-01A» (рисунок 5).



Рисунок 5 – Изображение установки электроспиннинга «NANON-01A».

Электроспиннинг – это процесс, который приводит к формированию структур наноразмерного уровня в результате воздействия электростатических сил на электрически заряженную струю полимерного раствора или расплава [28]. Принципиальная схема установки электроспиннинга представлена на рисунке 6.

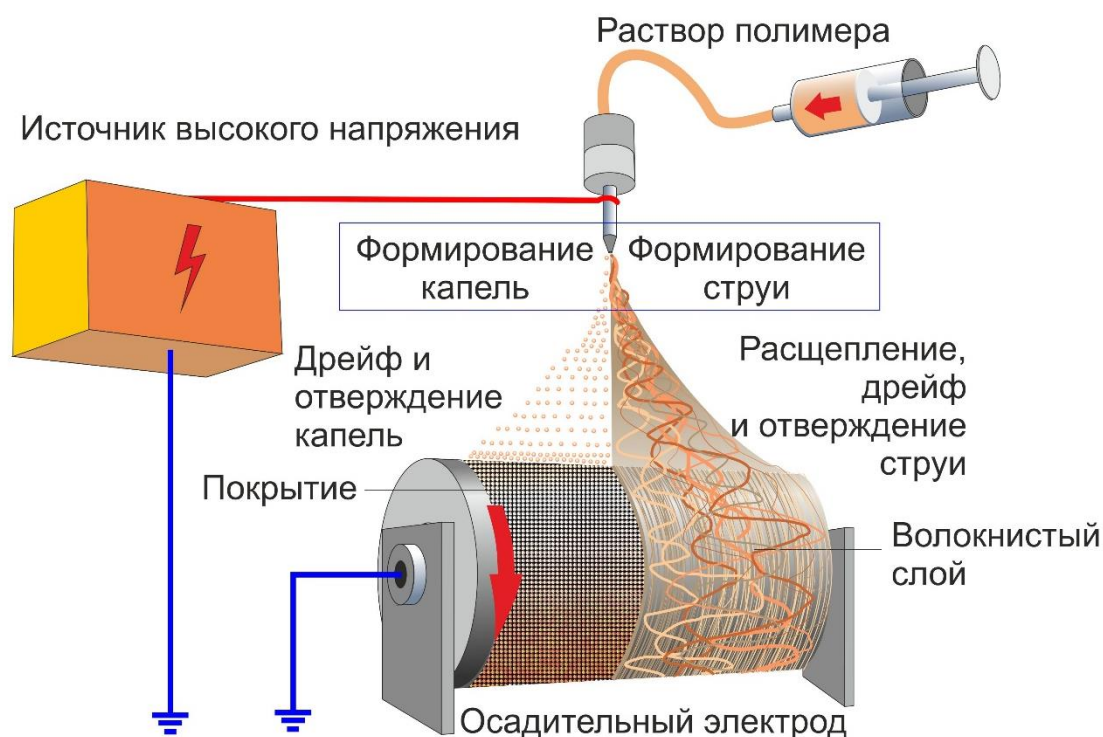


Рисунок 6 – Принципиальная схема процесса электроспиннинга [28].

Полимерный раствор заполняется в емкость (шприц) и с заданным расходом подается в капиллярное сопло (иглу). Одновременно с этим на иглу подается заданное электрическое напряжение и под действием электростатической силы образуются полимерные струи, ось которых совпадает с направлением электростатического поля. Сформированные струи осаждаются на вращающемся коллекторе (электроде) и на нем формируются волокнистые слои. Во время распыления раствора, игла равномерно движется вдоль коллектора для получения однородного распределения слоев. В итоге получается однородная полимерная мембрана.

Мембраны были получены из 6 масс.% раствора сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ–ТФЭ) и поливинилиденфторид (ПВДФ) с соотношением 4 к 1. Для приготовления данного раствора использовалось соотношение ацетона и диметилацетамида в соотношении 4 к 1. На держатель из стали 12x18н10т (длина 110 мм, диаметр - 9,8 мм) распылялся раствор полимера. Расстояние между инжектором (игла

20G) и держателем было 80 мм. Напряжение инжектора составляло 20 кВ, скорость расхода раствора - 6 мл/ч, а скорость вращения держателя - 200 об/мин.

2.1.2 Модификация мембран в плазме дуального магнетрона с Ti и Si мишенями

Для модифицирования поверхности мембран использовалась экспериментальная ионно-плазменная установка (рисунок 7), оснащенная дуальной магнетронной распылительной системой с Ti (99,9%) и Si (99,99%) мишенями в атмосфере аргона и азота. В работе был использован источник питания для дуального магнетрона, работающий при частоте следования импульсов 50 кГц и коэффициента заполнения 0,8. Плотность мощности, подаваемая на Ti и Si мишени, была равна 31,5 и 1,6 Вт/см², соответственно. Для минимизации воздействия плазмы на поверхность мембран было увеличено расстояние (15 см) от поверхности Ti и Si мишеней до мембран.



Рисунок 7 – Внешний вид экспериментальной ионно-плазменной установки.

Мембраны на металлических держателях помещались на подложкодержатель в вакуумную камеру (рисунок 8). Было применено

планетарное вращение подложки в процессе осаждения покрытий (скорость вращения подложки - 3 об/мин).

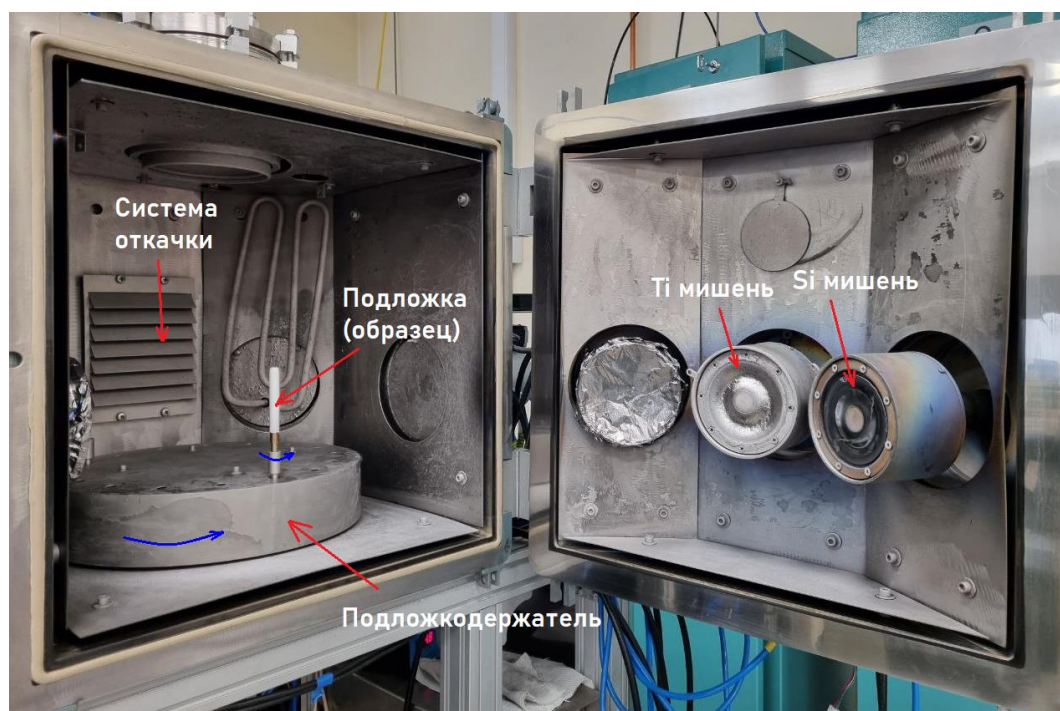


Рисунок 8 – Фотография мембраны на держателе в вакуумной камере перед напылением.

Для выбора режима модификации мембран были выполнены эксперименты по определению гистерезиса параметров распыления Ti и Si мишеней в смеси аргона и азота (рисунок 9). Поток аргона был постоянным ($23 \text{ см}^3/\text{мин}$), поток азота в камеру изменялся в диапазоне от 0 до $68 \text{ см}^3/\text{мин}$.

На рисунок 9 показано изменение напряжения при изменении величины потока натекаания азота при распылении титановой и кремниевой мишеней. По мере добавления азота мишень покрывается слоем химического соединения, что приводит к изменению параметров распыления. От 0 до $4,5 \text{ см}^3/\text{мин}$ можно наблюдать стабильный процесс, который не сопровождается резким изменением напряжения. Однако, в промежутке от $4,5$ до $59 \text{ см}^3/\text{мин}$ наблюдается нестабильность процесса в виде резкого снижения и повышения напряжения при увеличении и снижении потока азота в камеру. В этом диапазоне любые малые изменения потока реактивного газа могут привести к

изменению режима напыления. При дальнейшем увеличении потока азота выше 59 см³/мин можно заметить насыщение значений напряжения, что указывает на то, что поверхности мишеней полностью покрыты слоем нитридов. Режим нанесения в диапазоне от 59 см³/мин наиболее привлекателен для нанесения стехиометрических покрытий ввиду стабильности режима распыления.

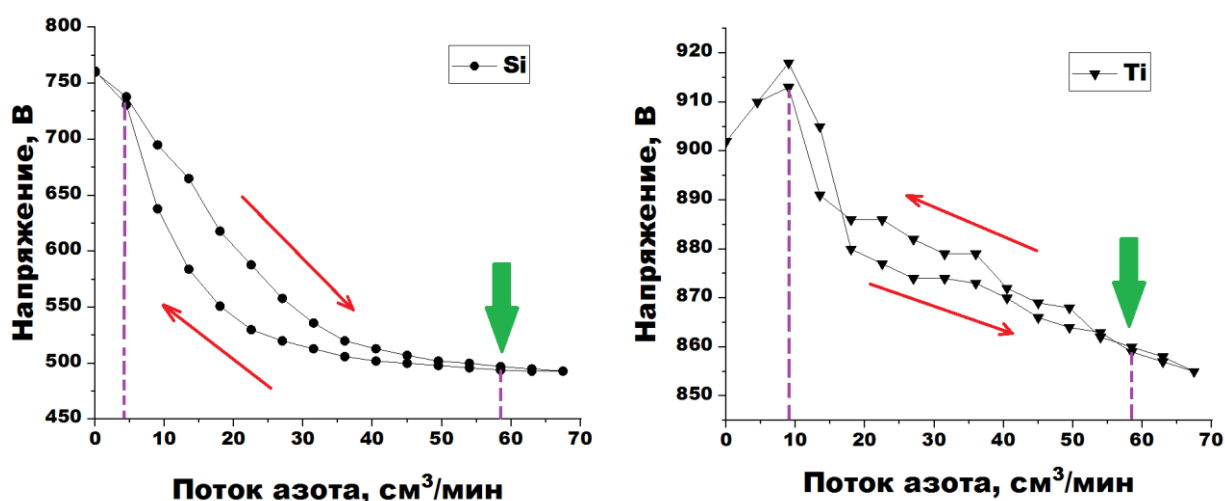


Рисунок 9 – Зависимость изменения напряжения на мишени от потока натекания азота (стрелками показано направление изменения потока азота).

На основе этих данных был выбран режим модифицирования мембран, соответствующий реактивному режиму. В эксперименте изменялась длительность модификации мембран (таблица 2.1). Немодифицированные образцы (серия TiSiN-0) использовали в качестве контрольной группы образцов для сравнения в ходе испытаний.

Таблица 2.1 – Режимы плазменного модифицирования мембран.

№	$P_{ост}$, Па	P , Па	$Q(N_2)$, см ³ /мин	t , мин
TiSiN-0	-	-	-	-
TiSiN-3	0,005	0,56	59	3
TiSiN-10	0,002	0,57		10

TiSiN-20	0,005	0,54		20
TiSiN-40	0,004	0,57		40

Примечание: t - время обработки; $Q(N_2)$ - поток азота в камеру; P - рабочее давление в камере; $P_{ост}$ - остаточное давление в камере перед напылением.

2.2 Исследование прочности на разрыв

Главной задачей являлось исследование образцов на растяжение для выявления самого прочного образца и, следовательно, оптимальных параметров распыления полимерной основы.

Исследование проводилось на установке GOTECH AL-7000M (рисунок 10).



Рисунок 10 - Установка GOTECH AL-7000M.

Полимерные образцы, подготовленные для анализа их механических свойств, представляют из себя плоские прямоугольники с длиной 50 мм и шириной 30 мм. Образцы закреплялись в зажимах с двух концов таким образом, чтобы рабочая площадь составляла 30х30 мм², как показано на рисунке 11.

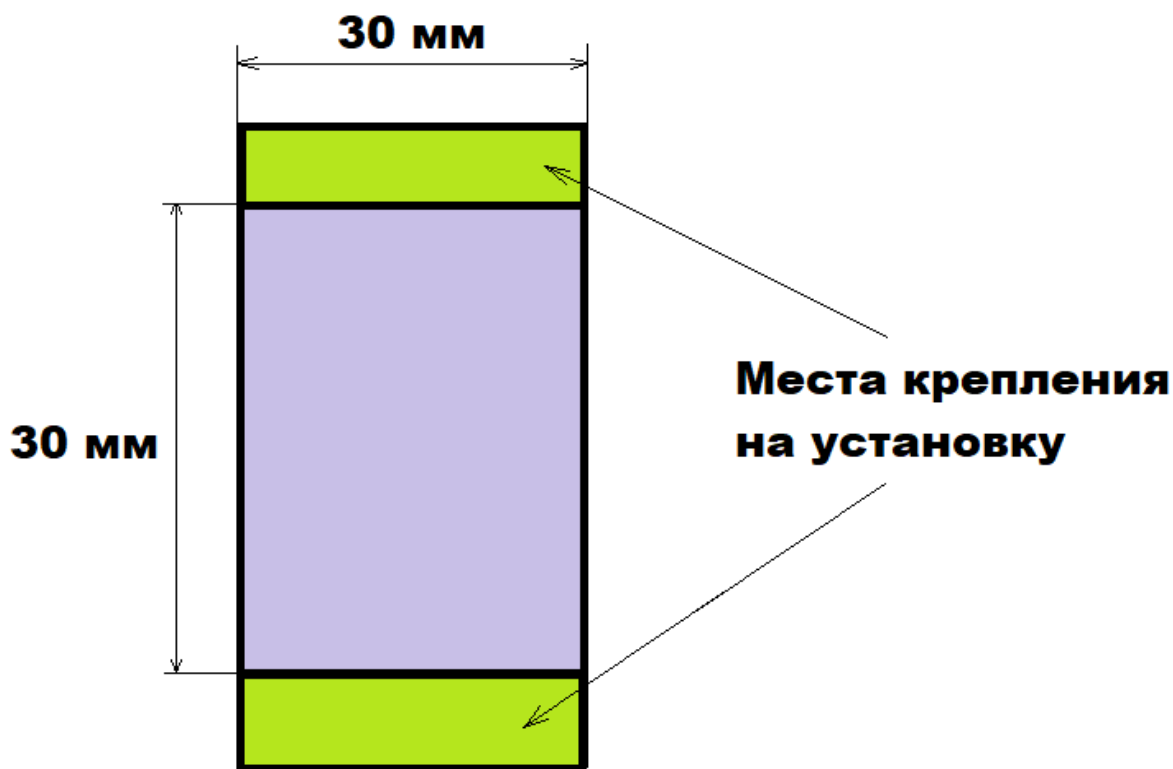


Рисунок 11 – Схематичное изображение исследуемых образцов и их крепления в захватах разрывной машины.

Далее каждый образец из всех трех партий подвергался растяжению, по данным разрывной машины, определялись прочность на разрыв и относительное удлинение мембран.

2.3 Изучение микроструктуры поверхности

Поверхностную структуру мембран до и после плазменного модифицирования исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, VEGA 3 SBH, Tescan, Brno, Czech Republic) в режиме SE (secondary electrons – детектор вторичных электронов). Диаметр волокон

мембран определялся по СЭМ изображениям в количестве 7 штук для каждой серии образцов с использованием программного обеспечения Image J. Для расчета среднего диаметра было выполнено не менее 200 измерений для каждого образца.

Сканирующий электронный микроскоп отображает исследуемый объект с помощью сфокусированного электронного луча (зонда), который формируется и сканируется колонкой микроскопа. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 12.

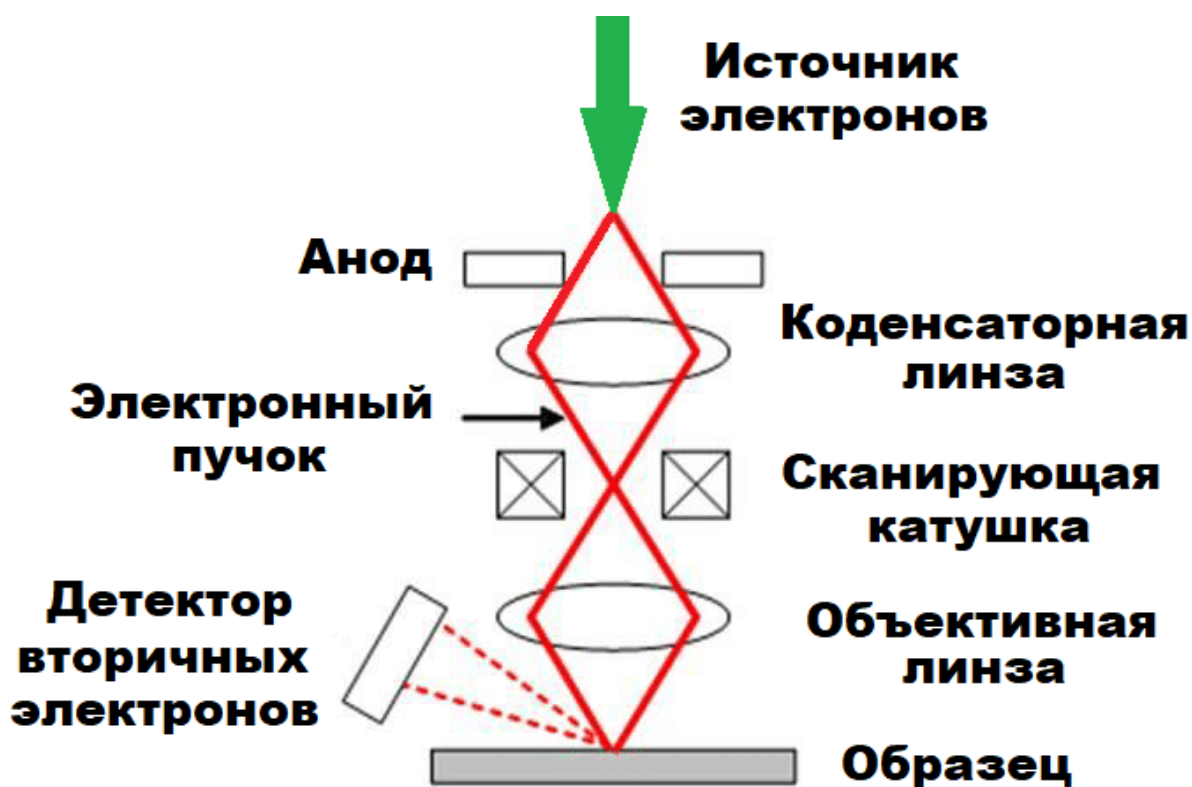


Рисунок 12 – Принципиальная схема сканирующего электронного микроскопа [29].

Детектор работает только в условиях высокого вакуума. Электроны с этого термокатода (источник электронов) ускоряются за счет притяжения к положительно заряженному аноду. Каким бы ни был источник, часть электронов будет проходить мимо анода. Они фокусируются магнитными линзами до размера пятна всего в несколько нанометров. Электроны конденсируются в пучок конденсаторными линзами, а затем фокусируются на

поверхности образца конечной линзой, также называемой линзой объектива, как показано на рисунке 12. Наклон источника и сканирование луча на образце осуществляются катушками в источнике и прямо над конечной линзой.

В результате падающий электронный пучок рассеивается в образце как упруго, так и неупруго, порождает вторичные электроны SE (secondary electrons). Они возникают в пределах нескольких нанометров от поверхности образца и имеют меньшую энергию по сравнению с обратно рассеянными электронами. Они очень чувствительны к структуре поверхности и предоставляют топографическую информацию. Далее эти электроны попадают в электронно-лучевую трубку, в которой они преобразуются в изображение. Детектор Эверхарта-Торнли является наиболее часто используемым устройством для обнаружения SE. Он состоит из сцинтиллятора внутри клетки Фарадея, который заряжен положительно и притягивает SE. Затем сцинтиллятор используется для ускорения электронов и преобразования их в свет перед поступлением в фотоумножитель для усиления. Детектор SE расположен сбоку от электронной камеры под углом, чтобы повысить эффективность обнаружения вторичных электронов [30].

2.4 Исследование элементного состава поверхности

Для элементного анализа образцов до и после модификации использовалась приставка для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС, Aztec Live Lite Xplorer 30, Oxford Instruments, UK).

Как упоминалось выше в разделе 2.3, образование вторичных электронов приведет к процессу релаксации атомов внутри образца. Этот процесс релаксации может привести к испусканию рентгеновских лучей. Энергия испускаемых фотонов зависит от конкретного элемента, что позволяет по их спектру определить элементный состав образца в спектре, как показано на рисунке 13.

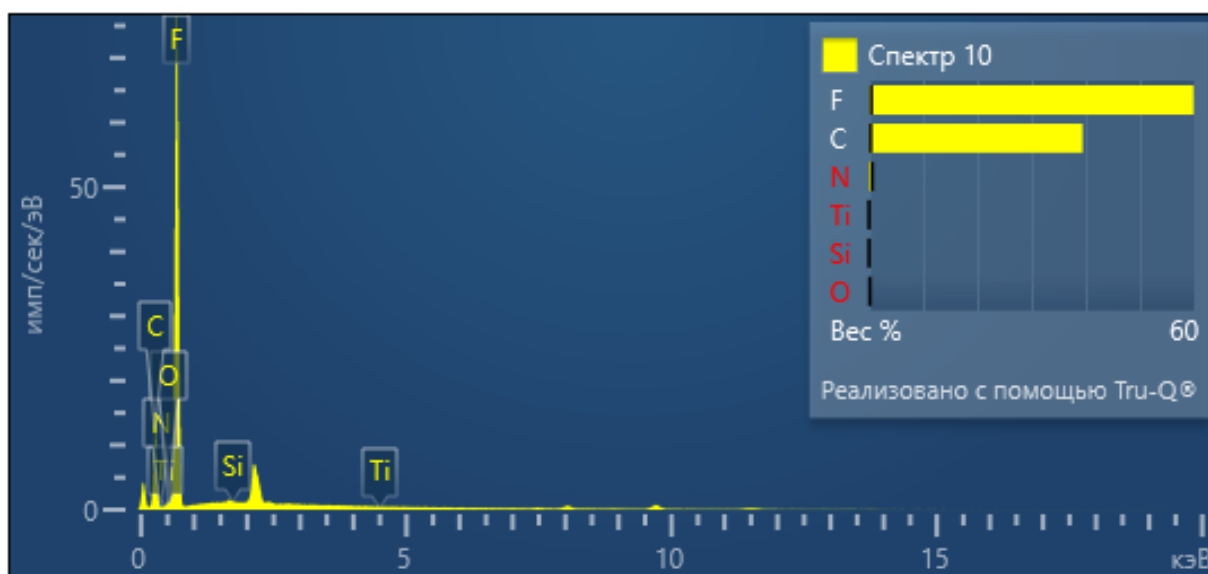


Рисунок 13 – Спектр энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии немодифицированного образца.

Как только рентгеновские лучи испускаются из образца, они собираются детектором. Как правило, это полупроводниковый кристалл, который преобразует поглощённый фотон в электрический сигнал. Это достигается за счет серии ионизаций внутри полупроводникового кристалла. Эмиттированный электрон, и связанная с ним дырка уносятся в противоположных направлениях, создавая заряд, прямо пропорциональный энергии рентгеновского излучения.

2.5 Изучение смачиваемости и поверхностной энергии поверхности

Измерения краевого угла смачивания поверхности и расчет свободной поверхностной энергии (СПЭ) образцов до и после модифицирования проводились с помощью метода лежащей капли на приборе DSA 25 (KRÜSS, Гамбург, Германия). Данные исследования проводились для полярной (вода – H_2O) и неполярной (формаид – CH_3NO) жидкостей. Объём используемой жидкости – 3 мкл, изображения снимались через 1 минуту после осаждения капли на образец. Были рассчитаны свободная энергия поверхности (σ), её дисперсионная (σ^D) и полярная (σ^P) составляющие с использованием метода

Оуэнса–Вендта–Рабеля–Кельбла (ОВРК) [31,32]. Этот метод основан на том, что СПЭ является суммой дисперсионной и полярной составляющих и определяется по линейной регрессии, построенной на основе результатов определения краевых углов смачивания жидкости с известными полярными и дисперсионными составляющими:

$$\frac{(\sqrt{\sigma_{ж}^P} + \sqrt{\sigma_{ж}^D})(\cos \theta + 1)}{2\sqrt{\sigma_{ж}^D}} = \sqrt{\sigma_{ТВ}^P} \frac{\sqrt{\sigma_{ж}^P}}{\sqrt{\sigma_{ж}^D}} + \sqrt{\sigma_{ТВ}^D}, \quad (2.1)$$

где $\sigma_{ж/ТВ}^D$ – полярная составляющая СПЭ жидкости и твердого тела;

$\sigma_{ж/ТВ}^P$ – дисперсионная составляющая СПЭ жидкости и твердого тела;

θ – краевой угол смачивания (рисунок 14).

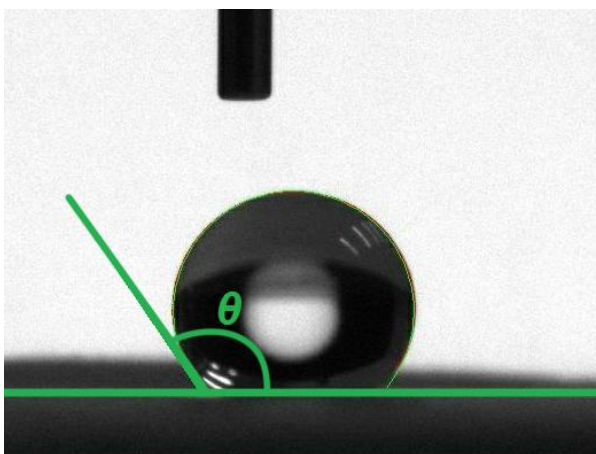


Рисунок 14 – Краевой угол смачивания.

Далее по графику линейной зависимости (2.1) на оси ординат откладывается левая часть уравнения $(\sqrt{\sigma_{ж}^P} + \sqrt{\sigma_{ж}^D})(\cos \theta + 1)/(2\sqrt{\sigma_{ж}^D})$, а по оси абсцисс множитель полярной компонентой твердого тела в правой части – $\sqrt{\sigma_{ж}^P}/\sqrt{\sigma_{ж}^D}$. По полученным данным измерениям полярной и неполярной жидкостью строится прямая (формула 2.2), по которой находят полярную и дисперсионную составляющую твердого тела.

$$y = Ax + B, \quad (2.2)$$

где A – это $\sqrt{\sigma_{ТВ}^P}$, а B – $\sqrt{\sigma_{ТВ}^D}$.

Затем найденные полярные и дисперсионные составляющие твердого тела суммируются и находится общая СПЭ исследуемой поверхности:

$$\sigma = \sigma_{\text{ТВ}} = \sigma_{\text{ТВ}}^P + \sigma_{\text{ТВ}}^D. \quad (2.3)$$

Полярная составляющая СПЭ определяется водородными связями и электростатическими взаимодействиями. Дисперсионная составляющая определяется взаимодействиями Ван-дер-Ваальса.

2.6 *In vitro* исследования

Исследование биосовместимости проводилось с использованием клеточной культуры. В качестве контроля использовали образцы TiSiN-0 и покровные стекла диаметром 12 мм. В качестве клеточной культуры использовали человеческие мультипотентные мезенхимальные стволовые клетки (ММСК), полученные из подкожной жировой клетчатки здоровых доноров. Культивирование клеток проводили в питательной среде альфа-MEM с добавлением 10 % фетальной бычьей сыворотки, 1 % L-глутамина и 1 % раствора пенициллина/стрептомицина в CO₂-инкубаторе при температуре 37 °C и 5 % содержании CO₂.

Образцы материалов прямоугольной формы размерами 12x8 мм (по размеру лунки) замачивали на 30 мин в фосфатно-солевом буферном растворе (ФСБ) с добавлением 2 % раствора пенициллина/стрептомицина с последующей трехкратной промывкой в ФСБ. Покровные стекла стерилизовали в 70 % растворе этилового спирта в течение 10 мин с последующей трехкратной отмывкой в ФСБ. Далее образцы и покровные стекла помещали в лунки 24-луночного планшета. В лунки добавляли по 1 мл суспензии ММСК с концентрацией 50 000 клеток/мл и сокультивировали в течение 72 часов в CO₂-инкубаторе. Эксперимент проводили в тройных повторях.

По истечении 3х суток образцы и стекла переключивали в лунки нового планшета, отмывали от остатков питательной среды в ФСБ и фиксировали в 4 % растворе параформальдегида (ПФА) в течение 10 мин.

После фиксации образцы и стекла отмывали от ПФА в ФСБ и подвергали окрашиванию родамин-меченным фаллоидином по ранее отработанному протоколу. Согласно протоколу, сначала образцы и стекла с клетками обрабатывали 0,05 % раствором Triton X-100 в течение 3 минут с последующей трехкратной отмывкой в ФСБ. Далее вносили в лунки раствор родамин-меченного фаллоидина в разведении 1:500 в 1 % ФБС-ФСБ, инкубировали 20 мин при комнатной температуре, после чего пятикратно отмывали в ФСБ. На завершающем этапе проводили окрашивание ядер клеток красителем DAPI (4,6-diamidino-2-phenylindole) в разведении 1:40 000, инкубировали 40 с, после чего образцы тщательно отмывали от остатков красителя в ФСБ.

После окраски образцы материалов хранили в ФСБ в темноте при + 4 °С. Покровные стекла с клетками из контрольных лунок монтировали на предметные стекла с использованием среды для заключения препаратов, хранили в темноте при комнатной температуре.

Окрашенные ММСК на образцах и стеклах подвергали флуоресцентной микроскопии с количественным и качественным анализом адгезировавшихся клеток. Для визуализации клеток использовали инвертированный флуоресцентный микроскоп Axiovert (Zeiss, Германия) и совместимого фотоаппарата Canon. Кусочки материалов с клетками помещали между двумя предметными стеклами. Флуоресценцию DAPI регистрировали с использованием соответствующего фильтра, флуоресценцию родамина-фаллоидина – с помощью канала Rhodamine. Фотографировали по 10 разных полей зрения при увеличениях x10 и x40 для каждого технического повтора. Количественный анализ проводили, анализируя фотографии на увеличении x10 (подсчет ядер клеток, окрашенных DAPI), в качестве контроля использовали образцы TiSiN-0, качественный анализ – по фотографиям на увеличении x10 и x40 (оценка морфологии клеток и их колоний по окрашенному цитоскелету), в качестве контроля использовали образцы TiSiN-0 и покровные стекла. Статистическую обработку полученных данных

проводили в компьютерной программе GraphPad Prism с использованием непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Результаты представляли в виде среднего арифметического, стандартного отклонения (формула 2.4) и стандартной ошибки (формула 2.5).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2.4)$$

где x_i – i -й элемент выборки;

\bar{x} – среднее арифметическое значение;

n – количество наблюдений (объем выборки).

$$S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.5)$$

Раздел 4. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность

Введение

На сегодняшний день перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение бюджета НИИ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями являются медицинские учреждения, а также различные исследовательские центры.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных решений целесообразно проводить при помощи оценочной карты, для этого были определены 2 конкурента на рынке. В качестве объектов сравнения были выбраны следующие: технология осаждения с помощью дуговых источников ($B_{к1}$), технология химического осаждения ($B_{к2}$).

Расчет показателя конкурентоспособности производился по следующей формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i \quad (4.1)$$

где B_i – балл i -го показателя, V_i – вес показателя (в долях единицы).

Оценочная карта сравнения конкурирующих технических решений исследования представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок): K_m – магнетронное распыление, $K_{к1}$ – дуговое осаждение, $K_{к2}$ – химического осаждения.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{ф}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{ф}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							

1. Производительность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
2. Простота методики получения покрытий	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Качество покрытий	0,2	5	4	2	1	0,8	0,4
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Стоимость технологии	0,2	4	4	5	0,8	0,8	1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
5. Послепродажное обслуживание	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Итого	1	37	33	30	4,65	4,1	3,65

Согласно вышеприведенному расчету видно, что предлагаемая нами технология магнетронного осаждения имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,65). Это обусловлено следующим рядом факторов: технология позволяет получить требуемые покрытия, при этом минимально повредив исходный образец мембраны, а также данная технология больше востребована на рынке и проста в эксплуатации. Суммарно это позволяет существенно снизить количество недостатков технологии и повысить число ее конкурентных преимуществ.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

В таблице 4.2 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	C1: не наносит вреда организму C2: образец дешевле своих аналогов	Сл1: отсутствие инжиниринговых компаний, способных построить производство
Возможности: В1: Расширение областей использования прибора, внедрения в медицинские учреждения	- Возможность создавать недорогие модифицированные мембраны, которые не наносят биологическим тканям ущерб.	- Вероятность отсутствия спроса на данный вид продукции.

<p>Угрозы:</p> <p>У1: Отсутствие финансирования со стороны государства и частных компаний</p> <p>У2: Провал клинических испытаний</p>	<p>- Публикация полученных данных в научном сообществе.</p>	<p>- Получение грантов на исследования.</p>
--	---	---

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться от 3 до 15 человек. В рамках текущей работы была сформирована рабочая группа, в состав которой вошли:

- руководитель;
- инженер.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении ВКР приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Список производимых задач и работ и их руководителя

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Составление плана экспериментов	Руководитель

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для экспериментов	Студент
	6	Проведение экспериментальных работ	Студент
	7	Выполнение расчётов	Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Студент
	9	Обсуждение и оценка эффективности результатов	Руководитель, Студент
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент
	11	Подготовка к защите	Студент

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т. к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

$t_{max\ i}$ – максимальная возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предложении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

Где T_{Pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$T_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.дн.;

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

4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.5)$$

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

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

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

Коэффициент календарности составит:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Результаты расчётов временных показателей по приведенным выше формулам представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ			Исполнитель	T_p , раб. дн	T_k , кал. дн
		t_{min} чел- дн.	t_{max} чел- дн.	$t_{ожi}$ чел- дн.			
1	Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	Руководитель	1,40	2
2	Подбор и изучение материалов по теме	1	3	2,5	Студент	2,50	4
3	Выбор направления исследования	2	3	2,5	Руководитель	2,50	4
4	Разработка общей методики проведения исследований	1	2	1,5	Руководитель	1,50	2
5	Календарное планирование работ по теме	1	2	1,5	Руководитель	1,50	2
6	Изучение прибора	2	3	2,5	Студент	2,50	4
7	Проведение экспериментов	12	20	16	Студент	16,00	24

	и получение данных по ним						
8	Анализ и обработка полученных данных	15	25	20	Студент	20,00	30
9	Оценка эффективности полученных результатов	3	5	4	Студент	4,00	6
10	Составление пояснительной записки	20	33	26,5	Студент	26,50	39
11	Подготовка к защите темы	3		3	Студент	3,00	4

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Ганта. График построен с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения данной дипломной работы в виде диаграммы Ганта представлен ниже в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнитель	Т кан.дн.	Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение	Руководитель	2	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	4	■												
3	Выбор направления исследования	Руководитель	4	■												
4	Разработка общей методики проведения исследований	Руководитель	2	■												
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	2	■												
6	Изучение прибора	Студент	4	■												
7	Проведение экспериментов и получение данных по ним	Студент	24			■	■	■								
8	Анализ и обработка полученных данных	Студент	30			■	■	■	■							
9	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	6						■							
10	Составление пояснительной записки	Студент	39								■	■	■	■		
11	Подготовка к защите темы	Студент	4													■

Условные обозначения

Руководитель



Студент



4.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В данном разделе подсчитываются следующие статьи расходов:

- материальные затраты;
- амортизационные отчисления;
- заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Также в стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены).

Таблица 4.6 – Сырье, материалы и комплектующие изделия.

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Полимер ПВДФ	1 кг	1	15 000	15 000
Сополимер ВДФ-ТФЕ	1 кг	1	15 000	15 000
Ацетон	0,8 кг	1	353	353
Диметилацетамид	0,8 кг	1	316	316
Баллон Аргон	40 л	1	3 500	3 500
Баллон Азот	40 л	1	2 200	2 200
Титановая мишень	Ti (99,95 % чистоты)	1	15 000	15 000
Кремневая мишень	Si (99,99 % чистоты)	1	15 000	15 000
Всего за материалы				66 369
Транспортно-заготовительные расходы (3–5%)				2 654,8
Итого				69 024

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты на его доставку и монтаж в размере 15 % от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, отображены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во единиц, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Вакуумная установка	1	15 000 000	17 250 000
Установка электроспиннинга	1	5 000 000	5 750 000

В таблице 4.8 приведены амортизационные отчисления, рассчитанные линейным методом.

Таблица 4.8 – Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Срок службы оборудования, лет	Норма амортизации, %	Время использования оборудования, дн	Величина амортизации, руб.
Вакуумная установка	17 250 000	5	20	20	191 667
Установка электроспиннинга	5 750 000				63 889

Величина амортизации рассчитывается по следующей формуле [33]:

$$A = \frac{C \cdot N_a \cdot a}{100 \cdot 12}, \quad (4.7)$$

где C – стоимость оборудования, руб.;

N_a – норма амортизации, % (за норму будем считать 20 %);

a – срок работы, месяц.

Норма амортизации:

$$N_a = \frac{1}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.8)$$

где T – срок эксплуатации, год.

$$H_a = \frac{1}{5} \cdot 100 \% = 20 \%. \quad (4.9)$$

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы. Баланс рабочего времени и расчет основной заработной платы представлены в Таблице 4.9 и 4.10, соответственно.

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячный должностной оклад работника (Z_m) равен:

$$Z_m = (Z_b + Z_b \cdot (k_{пр} + k_d)) \cdot k_p \quad (4.10)$$

который в свою очередь складывается из базового оклада (Z_b , руб.) и различных коэффициентов: $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, который здесь равен 0; k_d – коэффициент доплат и надбавок, также взят равным 0; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). По результатам нашего исследования премирования предусмотрено не было.

Для данного проекта – 2022 г исполнители являются:

- Руководитель – базовый оклад = 40 000 руб., рабочие дни – 28 дн.
- Инженер – базовый оклад = 25 000 руб., рабочие дни – 56 дн.

Все работают по 5-дневной раб. неделе.

$$З_m = (40000 + 40000 \cdot (0 + 0)) \cdot 1,3 = 52\ 000 \text{ руб.} \text{ — для руководителя}$$

$$З_m = (25000 + 25000 \cdot (0 + 0)) \cdot 1,3 = 32\ 500 \text{ руб.} \text{ — для инженера}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} \quad (4.11)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней. Действительный годовой фонд рабочего времени составляет 247 рабочих дней (остальные выходные и праздничные дни).

$$З_{\text{дн}} = \frac{52000 \cdot 11,2}{247} = 2\ 358 \text{ руб.} \text{ — для руководителя}$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{32500 \cdot 11,2}{247} = 1\ 474 \text{ руб.} \text{ — для инженера}$$

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) на предприятии рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (4.12)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, руб.;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочие дни;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, рассчитываемая по формуле 4.12, руб.

$$З_{\text{осн}} = 2358 \cdot 28 = 66\ 021 \text{ руб.} \text{ — для руководителя}$$

$$З_{\text{осн}} = 1474 \cdot 56 = 82\ 526 \text{ руб.} \text{ — для инженера}$$

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	З_б, руб	К_{пр}	К_д	К_р	З_м, руб	З_{дн}, руб	Т_р, раб.дн.	З_{осн}, руб
Руководитель	40 000	1	1	1,3	52 000	2 358	28	66 021
Инженер	25 000	1	1	1,3	32 500	1 474	56	82 526

4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителям темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы (Таблица 4.11).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.13)$$

где $k_{\text{доп}}$ - коэффициент дополнительной зарплаты.

Общая заработная плата исполнителей работы с учётом дополнительной заработной платы представлена в таблице.

Таблица 4.11 – Заработная плата исполнителей НТИ

Исполнители	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб.	66 021	82 526
$K_{\text{доп}}$	0,1	0,1
Дополнительная зарплата, руб.	6 602	8 253

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.14)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (66\,021 + 6\,602) = 21\,786,9 \text{ руб.} \text{ – для руководителя;}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (82\,526 + 8\,253) = 27\,233,7 \text{ руб.} \text{ – для инжнера.}$$

4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{5} \right) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.15)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов равна 16 %. Таким образом величина накладных расходов равна:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{537\,001,9}{5} \right) \cdot 0,16 = 17\,184,1 \text{ руб.}$$

4.4.7 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.

Таблица 4.12 – Расчет бюджета затрат НИИ

№ п/п	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты	69 023,8	п. 4.4.1 Таблица 4.6
2	Затраты на оборудование	255 555,6	п. 4.4.2 Таблица 4.8
3	Основная заработная плата исполнителей	148 547,0	п. 4.4.3 Таблица 4.10
4	Дополнительная заработная плата исполнителей	14 855,0	п. 4.4.4 Таблица 4.11
5	Отчисления во внебюджетные фонды	49 020,6	п. 4.4.5
6	Накладные расходы	17 184,1	п. 4.4.6
7	Бюджет затрат исследования	554 186,0	Сумма статей 1-6

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финри} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.16)$$

где $I_{финри}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (4.17)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Оценка характеристик исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Магнетронное распыление (исп.1)	Дуговое осаждение (исп.2)
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4	3
4. Энергосбережение	0,20	4	3
5. Надежность	0,25	4	3
6. Материалоемкость	0,15	4	3
ИТОГО	1	26	21

$$I_{p-исп.1} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,01$$

$$= 4,25;$$

$$I_{p-исп.2} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,01$$

$$= 3,35.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{финр}^{исп.2}} \quad (4.18)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,25}{1} = 4,25, \quad I_{исп.2} = \frac{3,35}{1} = 3,35.$$

Здесь $I_{финр}^{исп.1}$ и $I_{финр}^{исп.2}$ взяты за 1, т.к. имеют практически одинаковый финансовый показатель.

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.4.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.19)$$

Таблица 4.14 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,25	3,35

4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,27	0,79
---	--	------	------

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Таким образом, изначально выбранная методика является более эффективной, так как она более точна и проста в эксплуатации.

Вывод по разделу

В данной главе была проанализирована и рассчитана экономическая эффективность научного исследования.

Проанализирован целевой рынок и произведено сегментирование потенциальных покупателей разрабатываемых технологий или готового продукта. Также проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования, плановая себестоимость НИИ которого составляет 554 186,0 рублей.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный научно-исследовательский проект имеет не только научную новизну, но и является эффективным методом из всех рассмотренных.

Раздел 5. Социальная ответственность

Введение

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.

Настоящая дипломная работа посвящена осаждению покрытий с использованием магнетронной распылительной системы в помещении № 101 научного парка ТПУ. В данной работе эксперимент производился на вакуумной установке, состоящей из источника электромагнитного излучения, ЭВМ, баллонов с газами аргоном и азотом, форвакуумного пластинчатороторного и турбомолекулярного насосов, и блоков питания высокого напряжения. Следовательно, для внедрения определенных правил и мер предосторожности требуется разработать комплекс мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности на рабочем месте

К выполнению работы на вакуумных системах допускается работник не моложе 18 лет, прошедший медицинский осмотр и не имеющий противопоказаний по состоянию здоровья, имеющий необходимую теоретическую и практическую подготовку, получивший необходимые практические навыки по выполнению работ на вакуум-формовочной машине и прошедший вводный и первичный на рабочем месте инструктажи по охране труда [34].

Работник, независимо от квалификации и стажа работы, не реже одного раза в три месяца должен проходить повторный инструктаж по охране труда; в случае нарушения требований безопасности труда, при перерыве в работе

более чем на 30 календарных дней, он должен пройти внеплановый инструктаж.

Для того чтобы работник был допущен к самостоятельной работе на вакуум-формовочной машине, он должен пройти стажировку под руководством более опытного работника для приобретения практических навыков работы на станке.

Работник, показавший неудовлетворительные навыки и знания правил безопасности при работе на вакуум-формовочной машине, к самостоятельной работе не допускается.

Перед началом работы необходимо:

- привести в порядок спецодежду. Обшлага рукавов застегнуть, волосы убрать под плотно облегающий головной убор;
- проверить и убедиться в исправности приточно-вытяжной вентиляции;
- проверить исправность приборов на рабочем месте и наличие четких надписей на бутылках и склянках с реактивами;
- проверить наличие и целостность стеклянной посуды, бюреток, пипеток, исправность: электроприборов и их заземление, контрольно-измерительных приборов, состояние титровальных столов, достаточность реактивов и реагентов;
- проверить освещение рабочего места.

5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Выпускная работа выполнялась вакуумной установке по дуальному магнетронному осаждению. Согласно приведённой выше классификации, были выделены опасные и вредные производственные факторы при работе, представленные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Нормативные документы	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1 Отклонение показателей микроклимата	Требования к допустимым параметрам микроклимата регулируются СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [35].	3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[38].
2. Превышение уровня шума и вибрации	Требования к допустимым уровням шума приводятся в СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [36]. СН 2.2.4/2.1.8.566 Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [37].	4 Опасность поражения электрическим током	Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.019-2017 [39].

На инженера, работающего с вакуумной установкой, воздействуют следующие факторы:

1. физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное излучение, освещённость;
2. психофизиологические: физические перегрузки (статические, динамические), нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха.

Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 5.2. Допустимые микроклиматические не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [35].

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата [35]

Период года		Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Оптимальные параметры	22-24	40-60	0,1
	Допустимые параметры	20-22 / 24-25	15-40 / 60-75	0,1
Тёплый	Оптимальные параметры	23-25	40	0,1

	Допустимые параметры	21,23 / 25-28	15-40 / 40-75	0,1
--	----------------------	---------------	---------------	-----

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Согласно [40] кратность воздухообмена аудитории, учебных кабинетов, лабораторий равна 2 с^{-1} в 1 час, при условии минимального расхода наружного воздуха на 1 человека не менее $20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На установке предусмотрена принудительная вытяжка из вакуумного насоса.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – $0,1 \text{ м/с}$, температура летом – $20-25 \text{ }^\circ\text{C}$, зимой – $13-15 \text{ }^\circ\text{C}$. В лаборатории вентиляция осуществляется механическим путём.

Расчет вентиляции производится по формуле:

$$L = k \cdot V, \quad (5.1)$$

где L – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

k – кратность воздухообмена, ч^{-1}

V – объем помещения, м^3

Площадь помещения составляет:

$$S = 14,5 \cdot 9,5 = 137,75 \text{ м}^2. \quad (5.2)$$

Высота потолков 3 м. Отсюда следует, объем помещения:

$$V = 137,75 \cdot 3 = 413,25 \text{ м}^3. \quad (5.3)$$

Таким образом:

$$L = 2 \cdot 413,25 = 826,5 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.4)$$

Необходимый расход воздуха обеспечивает радиальный вентилятор ВЦ 4-70(М)-2,5 производительностью 380 – 880 м³/ч [41].

Параметры микроклимата в помещении № 101 научного парка ТПУ соответствуют нормам [35,40].

5.2.2 Повышенный уровень шума и вибрации

Основными источниками шума при работе на ионно-плазменной установке являются вытяжка, форвакуумный и турбомолекулярный насосы. Основная вытяжка работает постоянно, а дополнительная включается при удалении образцов из камеры. Форвакуумный насос работает только во время создания вакуума в камере, шум от которого не более 50 дБ, что соответствует допустимому уровню шума в лабораториях для проведения научных экспериментов, который не должен превышать 60 дБ [36].

В таблице 5.3 представлены предельно допустимые уровни звукового давления для лаборатории с шумным оборудованием.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые уровни звукового давления для лаборатории с шумным оборудованием [36]

Рабочее место	Частота, Гц								
	Уровень звукового давления, дБ								
Лаборатории с шумным оборудованием	31	65	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	103	91	83	77	73	70	68	66	64

К средствам коллективной защиты можно отнести средства, снижающие шум в самом источнике, которыми являются специальные наушники,

вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

К источникам вибрации в данном случае можно отнести форвакуумный насос. Результатом действия вибрации могут быть головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вегетативная неустойчивость, нарушения зрительной функции, снижение болевой, тактильной и вибрационной чувствительности и другие отклонения в состоянии здоровья.

Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» устанавливают классификацию, нормируемые параметры, предельно допустимые значения производственных вибраций, допустимые значения вибраций в жилых и общественных зданиях.

В таблице 5.4 представлены предельно допустимые значения производственной локальной вибрации.

Таблица 5.4 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации [37]

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение		Виброскорость	
	м/с ²	дБ	м/с ² ·10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109

Параметры шума и вибрации в помещении № 101 научного парка ТПУ соответствуют нормам [36,37].

5.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Согласно СНиП 23-05-95 [38], необходимо создать освещенность данного помещения не ниже $E_H = 200$ лк, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, очень малой точности). Значение отклонения светового потока должно находиться в диапазоне от -10 % до 20 %.

Таблица 5.5 – Параметры помещения

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
14,5	9,5	3,0	0,8

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B, \quad (5.5)$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 14,5 \cdot 9,5 = 137,75 \text{ м}^2.$$

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

В помещении установлены светодиодные светильники TDS-ARM 418-56 ESO, световой поток которых равен $\Phi_{ЛД} = 4000$ Лм, мощность 34 Вт, длина светильника равна 595 мм, ширина – 595 мм. В помещении находится 3 ряда осветительных приборов по 8 светильников в каждом ряду. Тогда $N = 24$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{П} = \frac{E_{н} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot 0,53} = \frac{200 \cdot 137,75 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,53} = 3573,7. \quad (5.6)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\%, \quad (5.7)$$

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = \frac{4000 - 3573,7}{4000} \cdot 100\% = 10,65\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 10,65\% \leq 20\%$. Значит световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Параметры освещенности в помещении № 101 научного парка ТПУ соответствуют нормам [38].

5.2.4 Опасность электрического тока

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электроtraвм и заболеваний, включая профессиональные и производственно-обусловленные заболевания [39].

В таблице 5.6 представлены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок.

Таблица 5.6 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок [42]

Род тока, Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t , с										
	0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Переменный 50 Гц, U, В I, мА	55 0 65 0	34 0 40 0	16 0 19 0	13 5 16 0	12 0 14 0	10 5 12 5	95 10 5	85 90	75 75	70 65	60 50
Переменный 400 Гц, U, В I, мА	65 0	50 0	50 0	33 0	25 0	20 0	17 0	14 0	13 0	11 0	10 0
Постоянный, U, В I, мА	65 0	50 0	40 0	35 0	30 0	25 0	24 0	23 0	22 0	21 0	20 0
Выпрямленный двухполупериодн ый, U, В I, мА	65 0	50 0	40 0	30 0	27 0	23 0	22 0	21 0	20 0	19 0	18 0
Выпрямленный однополупериодн ый, U, В I, мА	65 0	50 0	40 0	30 0	25 0	20 0	19 0	18 0	17 0	16 0	15 0

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока. Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием

агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (особо опасные помещения) [42].

Лаборатория относится ко второму классу «Помещение с повышенной опасностью» ввиду большого количества металлического оборудования. Имеется угроза поражения электротоком при косвенном касании токоведущих элементов. В результате пробоя изоляции на кожухе станка присутствует опасное напряжение [42].

В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений, расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

5.2.5 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [43] помещение, в котором производится работа с вакуумной установкой и прочими ее узлами относится к категории В4, т.е. к помещениям, в которых находятся (обрабатываются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть. Помещения категории В4 надлежит оборудовать системами автоматической противопожарной защиты, в соответствии с требованиями [44]. Согласно [45] класс зоны помещения № 101 научного парка ТПУ – П Па. В таких помещениях обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

Для получения экспериментальных образцов требуются газы аргон (Ar) и азот (N₂), которые находятся под высоким давлением. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется отверстие,

то газ истекает из него с критической скоростью. Разрушение баллонов может явиться причиной взрыва и пожара.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны в [46,47].

В целях безопасности, необходимо выполнение общих правил эксплуатации баллонов:

- баллоны должны быть установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, цепью, тросом и так далее, а также защищены от падения на них сверху каких – либо предметов;

- баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях, должны находиться от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0,1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей;

- выпуск газов из баллона должен производиться через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора должна иметь манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости;

- во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

При возникновении неисправностей в работе на вакуумной установке необходимо выполнить следующие действия:

- отключить питание компьютера;
- отключить действующие насосы;

- закрыть клапан подачи воды;
- закрыть вентиль подачи аргона;
- известить об этом вышестоящего руководителя.

В таблице 5.7 представлен перечень возможных чрезвычайных ситуаций, меры их предотвращения и меры по ликвидации последствий.

Таблица 5.7 – Чрезвычайные ситуации, меры их предотвращения и меры по ликвидации последствий

№	Чрезвычайная ситуация	Меры предотвращения ЧС	Меры по ликвидации ЧС
1	Разгерметизация и взрыв газовых баллонов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проверка целостности газового баллона и прочности его закрепления. 2. Вентиль газового баллона и резьба должны находиться в исправленном состоянии. 3. Редуктор должен соответствовать газу в баллоне. 4. Проведение периодических инструктажей по безопасности, связанной с утечкой газа из баллона. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю. 2. Позвонить по телефону 112. 3. Если есть пострадавшие, оказать первую помощь.
2	Возгорание	<ol style="list-style-type: none"> 1.Использование только исправного оборудования 2.Проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности 3.Отключение электрооборудования, 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прекратить работу. 2. Закрыть баллон с газом. 3. Отключить электрооборудование. 4. Сообщить о случившемся руководителю подразделения.

		освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ.	5. Позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 112. 6. Приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.
3	Поражение электрическим током	1.Использование только исправного оборудования. 2.Недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения. 3.Проведение периодических инструктажей по электробезопасности.	1. Отрубить электропитание и освободить пострадавшего от воздействия электрического тока. 2. О произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя подразделения. 3. Проверить состояние пострадавшего и позвонить в службу экстренного реагирования по телефону 112. 3. Оказать пострадавшему необходимую первую медицинскую помощь.

Для обеспечения пожарной безопасности необходимо выполнение требований, описанных в [48]:

– к работе в лаборатории допускаются лица, прошедшие инструктаж по противопожарной безопасности;

- ответственным за противопожарную безопасность является руководитель лаборатории;
- средства пожаротушения (огнетушители, находящиеся в каждой комнате лаборатории) должны быть в постоянной готовности и проходить своевременную техническую проверку;
- в лаборатории должен быть план эвакуации работников в случае пожара;
- в целях предупреждения ожогов запрещается курить, пользоваться открытым огнем, применять электронагреватели открытого исполнения и с несгораемым основанием;
- легко испаряющиеся горючие жидкости должны храниться в плотно закрытых сосудах, вдали от нагревательных приборов, в специально отведенных местах;
- уметь пользоваться средствами пожаротушения и своевременно применять их;
- уходя из лаборатории, отключать свет;
- в случае возникновения пожара звонить по телефону 01, сообщить о случившемся администрации университета, одновременно принять меры к ликвидации пожара с помощью первичных средств огнетушения (огнетушители), находящихся в корпусе.

Вывод по разделу

В разделе были рассмотрены вредные и опасные факторы в помещении № 101 научного парка ТПУ:

- микроклимат [35, 40];
- шум [36];
- вибрация [37];
- освещенность [38];
- электробезопасность [39,42];

- пожарная и взрывная безопасность [43-48].

Помещение № 101 научного парка ТПУ относится:

- по электробезопасности ко второму классу «Помещение с повышенной опасностью» [39,42];
- по взрывопожарной безопасности к категории В4 [44]. Класс зоны помещения П-Па [45].

Также в разделе рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, меры их предотвращения и меры по ликвидации последствий.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы было изучено влияние времени плазменной модификации внешней поверхности полимерных мембран. Были исследованы следующие функциональные свойства:

- Изучена микроструктура поверхности полимерных мембран до и после плазменного модифицирования. При увеличении времени модификации средний диаметр волокон увеличивается за счет роста покрытия. Вследствие длительного температурного воздействия плазмы на поверхность наблюдается поперечное разрушение волокон;
- Исследован химический состав поверхности мембран до и после плазменного модифицирования из которого выявлен рост покрытия на поверхности мембран;
- Измерена смачиваемость поверхности модифицированных и немодифицированного образцов, получена свободная поверхностная энергия. С увеличением времени, свободная поверхностная энергия увеличивается с 4 ± 1 до 2510 ± 30 мДж/м²;
- Изучена биосовместимость, используя ММСК. Все модифицированные образцы имеют более высокую биосовместимость по сравнению с исходным образцом. Наибольшей биосовместимостью среди исследуемых образцов обладает образец TiSiN-10, наименьшей – TiSiN-3.

При модифицировании поверхности полимерных мембран в течении 3х минут покрытие получается несплошное и тонкое. Поэтому такое покрытие хоть и повышает поверхностную энергию, но не позволяет существенно повысить адгезию клеток. При увеличении времени до 10 минут поверхностная энергия достигает максимума и далее практически не изменяется. Количество адгезировавшихся клеток также достигает максимума при таком времени обработки. Но при увеличении времени больше 10 минут

наблюдается снижение биосовместимости. Вероятнее всего это связано с увеличением количества кислорода в составе покрытия. Он может пагубно влиять на клетки, окисляя их и вызывая ранний апоптоз.

Таким образом, анализ приведенных выше данных показывает, что поверхность полимерных мембран, полученная при 10 минутах плазменного модифицирования, обладает оптимальными значениями свободной поверхностной энергии и максимальной биосовместимостью.

Автор выражает глубокую благодарность научным руководителям Сиделёву Д.В. и Больбасову Е.Н. за каждодневное обсуждение результатов, ценные комментарии и новые идеи. Выражаю благодарность сотруднику исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов Иванову Н.М. за помощь по измерению смачиваемости, сотруднику института молекулярной биологии и генетики ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Головкину А.С. за проведение *in vitro* исследований, а также сотруднику ТГУ Светличному В.А. за снятие СЭМ-изображений поверхности полимерных мембран и за проведение ЭДС исследования на определение элементного состава.

Список литературы

1. Yingmei Zhang, Yue Liu; Ziyi Jiang, Jing Wang, Zhangpeng Xu, Kai Meng, Huijing Zhao. Poly(glyceryl sebacate)/silk fibroin small-diameter artificial blood vessels with good elasticity and compliance // *Smart Materials in Medicine*. – 2021 – P. 74-86.
2. M.J. Moore, R.P. Tan, N. Yang, J. Rnjak-Kovacina, S.G. Wise. Bioengineering artificial blood vessels from natural materials // *Trends Biotechnol.* – 2021. – P. 693-707.
3. Manabe, K., Nara, H. Construction of Stable Biological Albumin/heparin Multilayers for Elastic Coatings on Hydrophobic Antithrombogenic Artificial Blood Vessels // *Tribology International*. – 2021.
4. Sofia El-Ghazali, Muzamil Khatri, Nadir Hussain, Zeeshan Khatri, Takayuki Yamamoto, Seong Hun Kim, Shunichi Kobayashi, Ick Soo Kim. Characterization and biocompatibility evaluation of artificial blood vessels prepared from pristine poly (Ethylene-glycol-co-1,4-cyclohexane dimethylene-co-isosorbide terephthalate), poly (1, 4 cyclohexane di-methylene-co-isosorbide terephthalate) nanofibers and their blended composition // *Materials Today Communications*. – 2021.
5. Guo Hong-Feng, Dai Wei-Wei, Qian De-Hui, Qin, Zhe-Xue, Lei Yan, Hou Xiao-Yu, Wen Can. A simply prepared small-diameter artificial blood vessel that promotes in situ endothelialization // *Acta Biomaterialia*. – 2017.
6. Ходыревская Ю. И., Твердохлебов С. И., Кудрявцева Ю. А. Плазмохимическое модифицирование полимерных материалов, предназначенных для сердечно-сосудистой хирургии, с целью управления степенью смачиваемости // *Известия ТПУ*. – 2014. – №2.
7. Hong-Feng Guo, Zhen-Sheng Li, Shi-Wu Dong, Wei-Jun Chen, Ling Deng, Yu-Fei Wang, Da-Jun Ying. Piezoelectric PU/PVDF electrospun scaffolds for wound healing applications // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2012. – P. 29-36.

8. Wang Aochen, Liu Zhuo, Hu Ming, Wang Chenchen, Zhang Xiaodi, Shi Bojing, Fan Yubo, Cui Yonggang, Li Zhou, Ren Kailiang. Piezoelectric nanofibrous scaffolds as in vivo energy harvesters for modifying fibroblast alignment and proliferation in wound healing // *Nano Energy*. – 2018. – P. 63–71.
9. Arsalan D. Badaraev, Marat I. Lerner, Dmitrii V. Sidelev, Evgeny N. Bolbasov, Sergei I. Tverdokhlebov. Electrospun VDF-TeFE Scaffolds Modified by Copper and Titanium in Magnetron Plasma and Their Antibacterial Activity against MRSA // *Technologies*. – 2021.
10. Badaraev A.D., Nemoykina A.L., Bolbasov E.N., Tverdokhlebov S.I. Magnetron plasma modification by sputtering copper target of electrospun fluoropolymer material to possess bacteriostatic properties. // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – P. 219–227.
11. Badaraeva A.D., Nemoykina A.L., Bolbasov E.N., Tverdokhlebov S.I. PLLA scaffold modification using magnetron sputtering of the copper target to provide antibacterial properties // *Resource-Efficient Technologies*. – 2017. – P. 204-211.
12. Mariana D. Duca, Carmina L. Plosceanu, Tatiana Pop. Surface modifications of polyvinylidene fluoride (PVDF) under rf Ar plasma // *Polymer Degradation and Stability*. – 1998. – №1. – P. 65–72.
13. Chul Woo Yun, Chen Ying, Tijing Leonard D., Phuntsho Sherub, He Tao, Choi June-Seok, Kim Seung-Hyun, Kyong Shon Ho. CF₄ plasma-modified omniphobic electrospun nanofiber membrane for produced water brine treatment by membrane distillation // *Journal of Membrane Science*. – 2017. – P. 234-242.
14. Shu-Chuan Liao. In vitro and in vivo biocompatibility study of surface modified TiN deposited on Ti6Al4V using high-power impulse magnetron sputtering technique // *Surface & Coatings Technology*. – 2020.
15. V.V. Anusha Thampi, Bendavid Avi, Martin P.J., Vaithilingam Vijay, Bean Penelope A., Evans Margaret D.M., Subramanian B. Biomineralisation with Saos-2 bone cells on TiSiN sputtered Ti alloys // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2017. – P. 1-10.

16. Movassagh-Alanagh Farid, Abdollah-zadeh Amir, Asgari Masoud, Ghaffari Mohammad Amin. Influence of Si content on the wettability and corrosion resistance of nanocomposite TiSiN films deposited by pulsed-DC PACVD // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2018.
17. Ameduri B. From vinylidene fluoride (VDF) to the applications of VDF-containing polymers and copolymers: Recent developments and future trends. *Chem Rev* – 2009. – P. 6632-6686.
18. Dillon DR, Tenneti KK, Li CY, Ko FK, Sics I, Hsiao BS. On the structure and morphology of polyvinylidene fluoride–nanoclay nanocomposites // *Polymer*. – №5. – 2006. – P. 1678-1688.
19. Boccaccio T, Bottino A, Capannelli G, Piaggio P. Characterization of PVDF membranes by vibrational spectroscopy // *Journal of Membrane Science*. – №2. – 2002.
20. Hasegawa R, Takahashi Y, Chatani Y, Tadokoro H. Crystal structures of three crystalline forms of poly (vinylidene fluoride) // *Polymer J*. – №5. – 1972. – P. 600-610.
21. Zhi-Yin Wang, Ke-He Su, Hui-Qing Fan, Zhen-Yi Wen (2007). Structure and electric properties of poly(vinylidene fluoride–tetrafluoroethylene) copolymer studied with density functional theory // *Polymer*. – №24. – 2007. – P. 7145-7155.
22. Guo H.F. Piezoelectric PU/PVDF electrospun scaffolds for wound healing applications // *Colloids Surfaces B Biointerfaces*. – 2012. – P. 29–36.
23. Wang A. и др. Piezoelectric nanofibrous scaffolds as in vivo energy harvesters for modifying fibroblast alignment and proliferation in wound healing // *Nano Energy*. – 2018. – P. 63–71.
24. Badaraev, A.D., Lerner, M.I., Sidelev, D.V., Bolbasov, E.N., Tverdokhlebov, S.I. Electrospun VDF-TeFE Scaffolds Modified by Copper and Titanium in Magnetron Plasma and Their Antibacterial Activity against MRSA // *Technologies*. – 2021.

25. Christian Oehr. Plasma surface modification of polymers for biomedical use // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2003. – P. 40–47.
26. Вакуумно-плазменные процессы и технологии: Учеб. Пособие/А.М. Евремов, В.И. Светцов, В., В.В. Рыбкин; ГОУВПО Иван. Гос. Хим.-технол. Ун-т Иваново, 2006. 206 с.
27. Дуальная магнетронная распылительная система [Электронный ресурс] // Пантеон патентов [сайт] – 2009. – Режим доступа: <https://patenton.ru/patent/RU2371514C1>, (Дата обращения 02.02.2022.)
28. Матвеев А.Т., Афанасов И.М. Получение нановолокон методом электроформования: Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы». Москва: Издательство МГУ, 2010. 83 с.
29. T. A. Nirmal Peiris. Microwave-assisted processing of solid materials for sustainable energy related electronic and optoelectronic applications // Doctoral Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Award of Doctor of Philosophy of Loughborough University. – 2014.
30. Principles of Scanning Electron Microscopy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thermofisher.com/ru/ru/home/materials-science/learning-center/applications/scanning-electron-microscope-sem-electron-column.html>. (Дата обращения: 15.05.2022).
31. D. K. Owens, R. C. Wendt. Estimation of the surface free energy of polymers // JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE. – 1969. – P. 1741-1747.
32. Kaelble D. H. Dispersion-Polar Surface Tension Properties of Organic Solids // The Journal of Adhesion. – 1970. – P. 66-81.
33. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

34. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 11 декабря 2020 г. № 887н “Об утверждении Правил по охране труда при обработке металлов”.

35. СанПиН 2.2.4/548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

36. СН 2.2.4/2.8.1.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

37. СН 2.2.4/2.1.8.566. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

38. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

39. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

40. СП 118.13330.2012*. Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06- 2009.

41. Ventel: [Электронный ресурс] // Вентилятор ВЦ 4-70 №2,5 низкого давления. URL: <https://www.lufter.ru/product/ventiljator-vc-4-70-25-radialnyj-nizkogo-davlenija/>, (Дата обращения 27.05.22).

42. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Поправкой).

43. СП 12.13130.2009. Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок во взрывопожарной и пожарной опасности.

44. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

45. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

46. ПБ 10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. – 1996.

47. ГОСТ 12.2.085-82. ССБТ. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности. – 1982.

48. ГОСТ 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.