

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Получение и исследование характеристик трековых мембран с ультрамалыми порами для очистки воды и растворов

УДК 678.674:66.081.6-048.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Берестов Кирилл Игоревич		25.05.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Л.И. Дорофеева	к.ф.-м.н., доцент		25.05.2020

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Н.с НЛ РВТ ИЯТШ ТПУ	В.В. Сохорева			25.05.2020

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Е.С. Киселева	к.э.н.		25.05.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		25.05.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.03.02 Ядерные физика и технологии	П.Н. Бычков	к.т.н доцент		25.05.2020

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к

	использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ П.Н. Бычков
« ____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Берестову Кириллу Игоревичу

Тема работы:

Получение и исследование характеристик трековых мембран с ультрамалыми порами для очистки воды и растворов

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-84/С от 28.02.2020 г.
---	----------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Задание, литературные источники по технологиям получения трековых мембран, программа расчёта потерь и пробега SRIMM, циклотрон Р-7М, лабораторное оборудование: установка травления, спектрофотометр, сканирующий электронный микроскоп, атомно-силовой микроскоп, установка кинетического микроиндентирования, установка для исследования полупроводящих свойств мембраны.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Литературный обзор технологий для получения ТМ при облучении протонами и альфа-частицами.2. Исследование воздействия ионизирующего излучения на ПЭТФ с последующим химическим травлением привитых образцов для получения

	ТМ. 3. Экспериментальные подтверждения рабочих характеристик полученной полимерной мембраны ПЭТФ. 4. Экономическое обоснование проведения НИР 5. Выводы по работе. Заключение
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	к.ф.-м.н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ Дорофеева Л.И. н.с. НЛ РВТ ИЯТШ ТПУ Сохорева В.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШИП Е.С. Киселева
Социальная ответственность	ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н., доцент		28.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Берестов К.И.		28.02.2020

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Берестову Кириллу Игоревичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/Физика кинетических явлений

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость расходных материалов; тариф на электроэнергию, должностные оклады исполнителей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Срок окупаемости; премии; надбавки; дополнительная заработная плата; накладные расходы; рабочий коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставки НДС и социального налога.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведение НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования;
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета, определение рисков
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка социальной эффективности проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания по линейному графику	28.02.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н., доцент		28.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Берестов К.И.		28.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Берестову Кириллу Игоревичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/Физика кинетических явлений

Тема ВКР:

Получение и исследование характеристик трековых мембран с ультрамалыми порами для очистки воды и растворов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Облучение исследуемых пленок ПЭТФ высокоэнергетическими протонами и альфа-частицами для получения трековых мембран и установление физико-химических процессов формирования треков. Область применения: биология, медицина, для ультраfiltrации различных растворов, очистки воздуха
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.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020); ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования..
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	- отклонение параметров микроклимата; - шум и вибрация; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - электромагнитное излучение; - психофизиологические факторы; - химические вредные вещества; - повышенный уровень ионизирующих излучений; - электрический ток
3. Экологическая безопасность:	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– анализ типичной ЧС – возникновение пожара на рабочем месте; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		25.05.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Берестов Кирилл Игоревич		25.05.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 99 страниц, 35 рисунков, 28 таблиц, 35 источников.

Объектом исследования является пленка на основе полиэтилентерефталата, которую облучали протонами и альфа-частицами с последующим химическим травлением, для формирования в ней сквозных треков.

Цель работы – исследование возможности получения трековых мембран путем облучения альфа-частицами и протонами, изучение условий формирования треков альфа-частиц и протонов.

В рамках ВКР в исследовании проводились:

- обзор научно-технической литературы по заданной теме;
- теоретические расчеты процессов взаимодействия заряженных частиц с полимером;
- исследования технологической модели трековой мембраны;
- химическое травление;
- исследование рабочих характеристик, сформированных ТМ.

В результате исследования получены образцы трековых мембран, пригодные для разделения растворов солей, а также экспериментальные зависимости диаметров пор от времени травления и дозы облучения.

Область применения трековых мембран, полученных путем облучения альфа-частицами и протонами – разделение биологических жидкостей, ультрафильтрация растворов, очистка воздуха.

Значимость работы: разработаны основы технологии получения ТМ на основе ПЭТФ с пористостью $\geq 10^{13}$ пор/см².

В дальнейшем планируется разработать промышленную технологию для формирования коммерчески доступных трековых мембран с высокой пористостью и порами ≥ 100 нм.

Обозначения и сокращения

ТМ – Трековая мембрана

ПЭТФ – Полиэтилентерефталат

SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter

NaOH – Гидроксид натрия

УФО – Ультрафиолетовое облучение

ВАХ – Вольт-амперная характеристика

СЭМ – сканирующий электронный микроскоп

Оглавление

Реферат.....	9
Введение.....	14
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Мембранные методы разделения растворов.....	15
1.2 Образование латентных треков.....	16
1.3 Первичная и вторичная ионизации. Пространственное распределение поглощенной дозы в треке тяжелого иона.....	18
1.4 Модель химического травления мембран.....	20
1.5 Электродиализ.....	22
2 Материалы и методы исследования.....	24
2.1 Исследуемые материалы.....	24
2.2 Циклотрон Р-7М НЛ РВТ, ТПУ.....	25
2.3 Установка для химического травления ультрафиолетового облучения.....	25
2.4 Спектрофотометр ССП-310.....	27
2.5 Сканирующий электронный микроскоп и атомно-силовой микроскоп.....	27
2.6 Лабораторная установка для исследования полупроводящих свойств мембраны.....	28
2.7 Метод пузырька для определения диаметров пор и проницаемости ТМ.....	29
3 Экспериментальная часть.....	30
3.1 Облучение ускоренными ионами на циклотроне Р-7М.....	31
3.2 Расчет пробегов и потери энергии ионов в ПЭТФ полимере.....	32
3.3 Расчет поглощенной дозы при облучении протонами и альфа- частицами.....	34
3.4 Сенсбилизация и травление латентных треков в облученных образцах ПЭТФ.....	37
3.5 Исследование характеристики сформированных ТМ.....	38

4	Результаты и обсуждения.....	40
4.1	Исследование оптической плотности ПЭТФ, облученной ионами УФО, методами УФ-спектроскопии	40
4.2	Исследование плотности пор ТМ.....	42
4.3	Исследование поверхности ТМ с помощью атомно-силового микроскопа.....	45
4.4	Исследование диаметров пор и производительности ТМ	48
4.5	Исследование полупроводящих свойств мембраны	50
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения.....	52
5.1	Предпроектный анализ.....	53
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	53
5.1.2	SWOT-анализ.....	54
5.2	Планирование управления научно-техническим проектом	58
5.2.1	Иерархическая структура работ проекта.....	58
5.2.	План проекта 2	58
5.2.3	Бюджет научно-технического исследования	61
5.2.3.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	61
5.2.3.2	Основная заработная плата.....	63
5.2.3.3	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	65
5.2.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды.....	65
5.2.3.6	Накладные расходы	66
5.3	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	66
	Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:	70
6	Социальная ответственность	71
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71

6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	71
6.1.2 Организация рабочего места исследователя.....	73
6.2 Производственная безопасность	75
6.2.1 Микроклимат.....	77
6.2.2 Шум и вибрация.....	78
6.2.3 Электромагнитное излучение.....	79
6.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	80
6.2.5 Психофизиологические факторы	81
6.2.6 Химическая безопасность	81
6.2.7 Радиационная безопасность.....	83
6.2.8 Электробезопасность.....	88
6.3. Экологическая безопасность	89
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
Выводы по разделу социальная ответственность.....	92
Выводы.....	94
Заключение	95
Список литературы	96

Введение

В настоящее время, при существенном разнообразии материалов, встречается множество растворов естественного и искусственного происхождения, в которых содержатся примесные вещества, в том числе различные соли.

Растворы широко распространены в природе и используются повсеместно:

- в качестве лекарственных веществ, которые более эффективны по сравнению с их твердыми аналогами;
- в атомной энергетике;
- в химической промышленности, в том числе, в текстильной и металлообрабатывающей промышленности;
- в сельском хозяйстве и других отраслях.

Однако наличие в растворах солей значительно снижает эффективность их использования, поэтому на сегодняшний день извлечение растворённых солей является одной из важнейших задач для промышленности, медицины и водоочистки.

Наиболее эффективным способом очистки растворов от различных примесей является использование трековых мембран, которые представляют пористый материал.

Необходимость проведения прецизионной фильтрации или разделения ионов в растворах указывает на то, что водоочистка с использованием трековых мембран имеет преимущества перед остальными методами, так как при изготовлении трековых мембран существует возможность задавать количество пор и осуществлять контроль их размеров.

1 Обзор литературы

1.1 Мембранные методы разделения растворов

Трековая мембрана – тонкая упругая лавсановая (полиэтилентерефталат) пленка (0,012 или 0,023 мм) с порами диаметром 0,2 или 0,3 мкм (0,0002 или 0,0003 мм) с плотностью пор по всему полю пленки до 400 млн. отверстий на 1 см². Трековые мембраны, полученные вследствие облучения ионами (Ar, Xe, Kr) применяются в разделении, микробиологических исследований, в процессах очистки воздуха и др [1].

Ключевым свойством мембраны является способность контролировать скорость проникновения химического вещества через мембрану. В технологии разделения цель состоит в том, чтобы допустить свободное проникновение одного элемента в мембрану, при этом не позволяя проникать другим элементам. Материалом для трековых мембран зачастую выбираются пленки на основе сложных полиэфиров, потому что они обладают следующими свойствами [2]:

- высокая прочность;
- химическая стойкость;
- стабильность механических свойств в широком диапазоне температур.

Мембранные процессы можно разделить на следующие группы:

Микро-, ультра- и нанофильтрации, обратный осмос, газоразделение, первапорация, электродиализ.

Для микро- и ультрафильтрации используются пористые мембраны с содержанием пор в диапазоне от 0,1 до 10 мкм для микрофильтрации и от 0,001 до 0,1 мкм для ультрафильтрации [3]. Одним из недостатков пористых мембран является загрязнение мембраны, которое вызывает уменьшение флюса со временем. Химическая и термическая стабильность также являются важными факторами, которые следует учитывать при выборе пористых

материалов, поскольку температура и концентрация влияют на селективность и флюс мембраны [4].

1.2 Образование латентных треков

Взаимодействие тяжелых заряженных ионов и вещества главным образом происходит благодаря кулоновским силам. Двигаясь в веществе, заряженные частицы теряют энергию, это происходит следующими путями [5, 6]:

1) Потери на ионизацию и возбуждение электронных оболочек атомов среды;

2) Поляризация атомов среды (эффект по плотности) – под действием электромагнитных полей происходит смещение электронных оболочек атомов и ионов, так что внешняя и более слабая электронная оболочка сдвигается на некоторое расстояние;

3) Радиационные потери (тормозные излучения)

4) Ядерное торможение и перезарядка

Взаимодействие тяжелых заряженных ионов и атомов в веществе описаны в работе [7]. На рисунке 1 показаны потери энергии ионов при ядерном и электронном взаимодействии.

Полные потери энергии можно представить в виде:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{полн}} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{яд}} + \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{эл}} \quad (1)$$

В уравнение (1), правая часть представляет собой сумму потерь ядерных и электронных взаимодействий. Заряженные ионы при электронном взаимодействии передают энергию за счет ионизации и возбуждения оболочек атомов среды [8, 9].

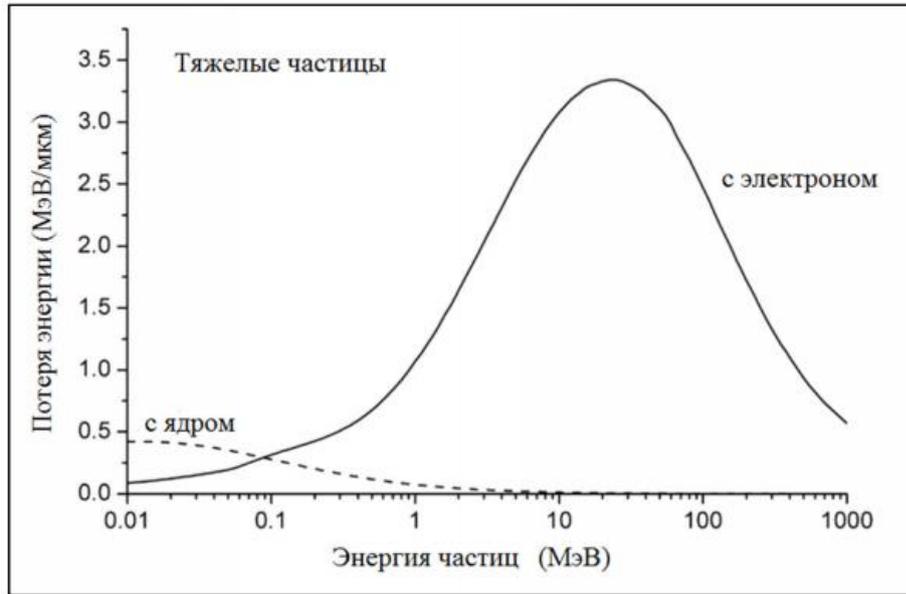


Рисунок 1 – Потеря энергий ионов при ядерном и электронном взаимодействии

Основой для расчета потерь энергии при взаимодействии частицы тяжелее электрона является формула Бете-Блоха:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi e^4 n Z q^2}{m_e c^2 \beta^2} \left(\ln \left[\frac{2m_e c^2 \beta^2 W_{\text{макс}}}{I^2 (1-\beta^2)} - 2\beta^2 - \delta - U \right] \right), \frac{\text{МэВ} \cdot \text{см}^3}{\text{г}} \quad (2)$$

Где: n – число атомов в 1 см^3 вещества, Z – его атомный номер, q – заряд частицы, e – заряд электрона, C – скорость света, $\beta = \frac{v}{c}$, I – средний ионизационный потенциал атомов среды, $W_{\text{макс}}$ – максимальная энергия, передаваемая частицей атомному электрону, $2\beta^2$ – релятивистская поправка, δ – поправка на эффект плотности, U – поправка на энергию связи электронов.

В области энергий $1 - 100 \text{ МэВ}$ величиной δ можно пренебречь.

Ионы, при прохождении в веществе теряют свою кинетическую энергию и в конечном итоге останавливаются. Путь, который проходит заряженный ион до остановки определяется из формулы (2).

$$R = \int \left(\frac{dE}{dx} \right)^{-1} dE \quad (3)$$

На рисунке 2 представлен график зависимости $\frac{dE}{dx}$ для некоторых ионов в ПЭТФ полимере и соответствующие данные для пробегов, взятые из [10].

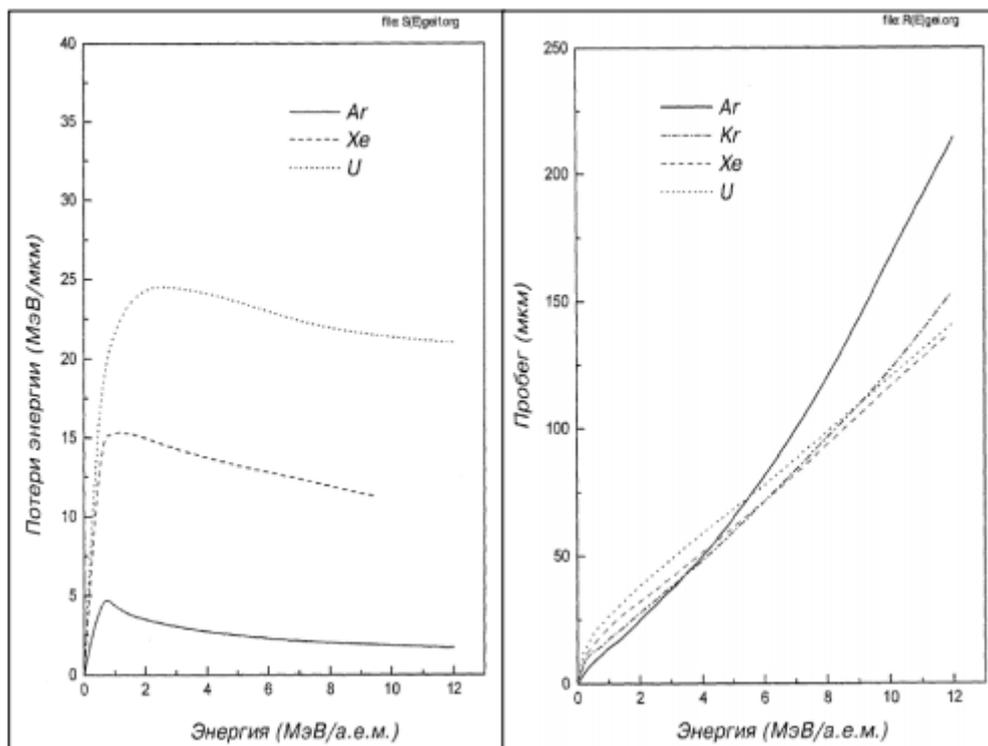


Рисунок 2 – Потери энергии ионов аргона (Ar), ксенона (Xe), урана (U) и пробег ионов аргона (Ar), ксенона (Xe), урана (U) в ПЭТФ полимере

1.3 Первичная и вторичная ионизации. Пространственное распределение поглощенной дозы в треке тяжелого иона

Тяжелые заряженные ионы, проникая в вещество, образуют за собой трек возбужденных атомов и свободных электронов с низкой энергией, которые возбудились в результате приобретения энергии от столкновения с другими атомами [11, 12]. Однако есть и такие электроны, которые получают достаточную энергию для перемещения на макроскопические расстояния, в результате создавая объемную плотность ионизации. Такие электроны называются дельта (δ) – электронами или вторичными электронами [13]. На рисунке 3 изображено образование латентного трека заряженного иона в веществе.

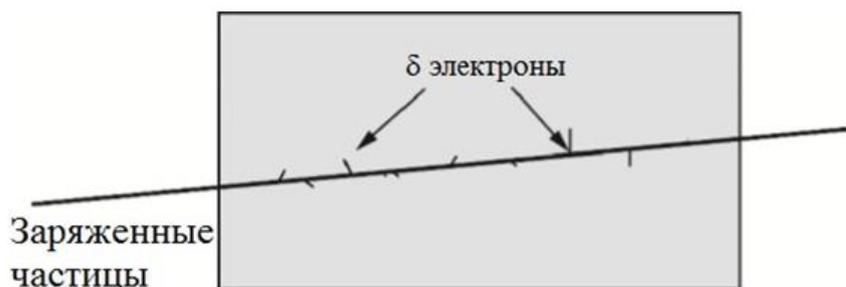


Рисунок 3 – Латентный трек заряженного иона в веществе

Процесс первичной ионизации описан в работе [19].

$$\frac{dn}{dE} = \frac{2\pi N Z_{\text{эфф}}^2 \cdot e^4}{m c^2 \beta^2} \frac{1}{E} \left| 1 - \frac{\beta^2 E}{E_m} + \frac{\pi \beta Z_{\text{эфф}}^2}{137} \sqrt{\frac{E}{E_m}} \left(1 - \frac{E}{E_m} \right) \right| \quad (4)$$

E_m – максимальная энергия, которую ион может переносить на свободный электрон, задаваемый формулой:

$$E_m = \frac{2m c^2 \beta^2}{1 - \beta^2} \quad (5)$$

Для описания первичной ионизации обычно используется функциональная форма, основанная на работе Бете [14]:

$$I = \frac{a Z_{\text{эфф}}^2}{1 - \beta^2} \quad (6)$$

Получившийся латентный трек при бомбардировке заряженного иона в образцах ПЭТФ состоит из двух частей: ядра и оболочки. Ядро образуется за счет первичной ионизации, оболочка образуется за счет вторичной ионизации. На рисунке 4 показано поперечное сечение латентного трека через 10-15 секунд после прохождения заряженного иона.

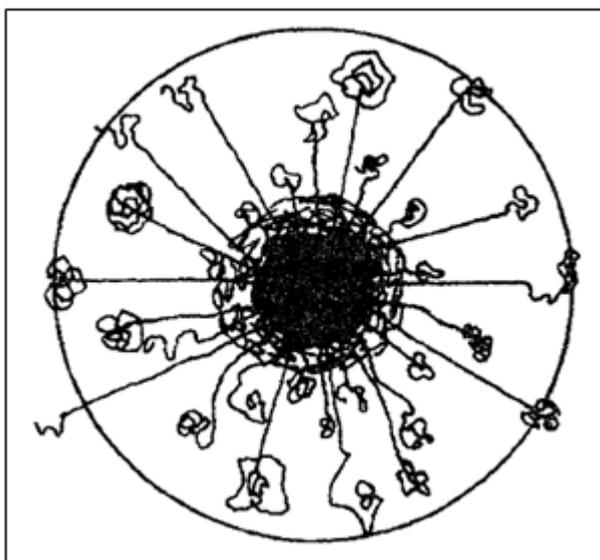


Рисунок 4 – Поперечное сечение латентного трека

Пространственное распределение поглощенной дозы $D(r)$ от функции радиуса r в полимерах представлено следующим выражением:

$$D(r) = K \left| \frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r \cdot r_{max})} \right| \quad (7)$$

где K – коэффициент, который зависит от свойств вещества, атомного номера и энергии иона; r_{max} – максимальный пробег δ -электронов.

1.4 Модель химического травления мембран

Допустим, что в полимерной пленке есть сквозные латентные треки, где L_0 – толщина пленки, ρ – объемная плотность полимера, N – плотность треков. Вследствие стохастического характера облучения, считается, что треки по поверхности распределены случайным образом. Такой полимер помещают в водно-спиртовой раствор щелочи, где происходит двухстороннее вытравление сердцевин трека и его ореола со скоростью V_T и медленное, послойное травление поверхностей пленки со скоростью V_B [15].

На границе раздела фаз полимер-жидкость, после образования пор с травящим раствором, происходит гидролиз пленки ПЭТФ. Схема протекания этих реакций в водных и водно-спиртовых растворах щелочи для ПЭТФ представлены в ряде публикаций [16,17].

Эволюция формы сквозных пор, получившихся в процессе травления, определяется скоростью травления полимера. Чрезмерное травление приводит к потере прочности мембраны, то есть к ее разрушению.

Рассмотрим, как в процессе травления изменяется во времени масса $M(t)$ мембраны площадью S . Если V_B и V_T постоянные величины ($V_T > V_B$), то при двухстороннем (симметричном) травлении пленки с латентными треками в ней образуются поры в виде конусов с осями, направленными вдоль треков или напоминающие форму песочных часов, когда время травления $t > L_0 / 2V_T$, т.е. когда треки оказываются протравленными по всей толщине пленки L_0 (рис.1 Б и В). Угол при вершине конуса δ и параметр $\beta = V_T / V_B$ связаны соотношением $\sin \delta = 1/\beta$ [17,18], очевидным аналогом формулы для вычисления направления распространения фронта ударной волны вдали от сверхзвукового самолета [19].

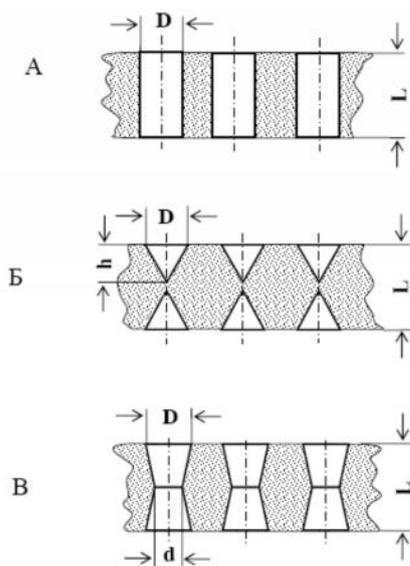


Рисунок 5 – Вид пор в трековых мембранах при нормальном облучении, А – цилиндрическая пора, Б – протравленные насквозь («глухие») конические поры, В – сквозные симметричные поры типа «песочные часы»

1.5 Изготовление (получение) трековых мембран

Сплошная полимерная, зачастую поликарбонатная пленка толщиной 5-12 мкм облучается потоком ускоренных тяжелых ионов или осколков

деления, направленных перпендикулярно пленке. Тяжелые заряженные частицы, обладая большой энергией, проходя через пленку, передают встречающимся на ее пути атомам энергию и образуют треки. С течением времени, атомы, теряя свой импульс, стремятся вернуться на прежние места. Такой видоизменяющийся трек называют латентным.

После образования треков, пленку погружают в ванну с кислотой или щелочью, где она подвергается химическому травлению по этим трекам, для образования цилиндрических пор с незначительным разбросом по размерам. Выбор травящего состава и режима обработки определяются природой полимера.

Наиболее удачным травителем является щелочь. Процесс изготовления трековых мембран представлен на рисунке 3.



Рисунок 6 – Схема процесса изготовления трековых мембран

1.5 Электродиализ

Электродиализ – это метод разделения растворов электролитов путем переноса ионов через мембрану в поле постоянного электрического тока. Скорость переноса ионов зависит от силы тока.

В электродиализных установках применяются селективно проницаемые мембраны для анионов и катионов, которые заключают между анодом и катодом [20].

Анионы под действием электрического поля двигаются в сторону анода, а катионы двигаются в сторону катода.

Исходный раствор чаще всего называют диализатом, а буферный раствор – диффузатом. Однако нужно иметь в виду, что иногда в литературе буферный раствор называют диализатом.

Принципиальная схема электродиализа представлена на рисунке 5.

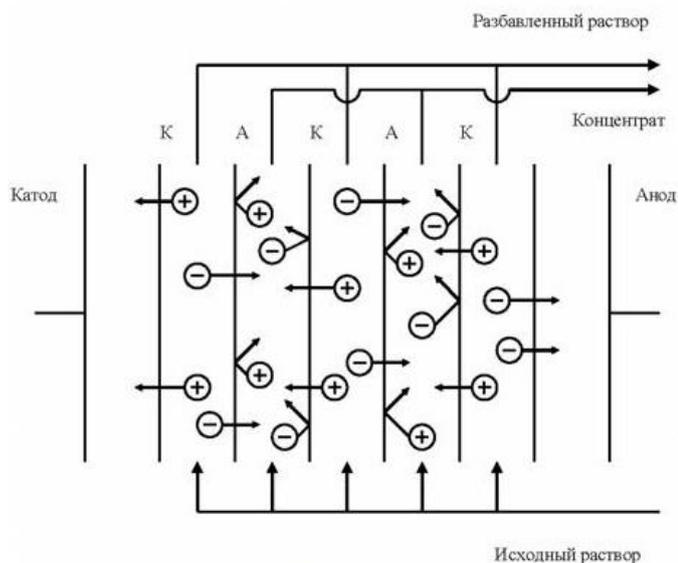


Рисунок 7 – Принципиальная схема электродиализа К – катионообменные мембраны, А – анионообменные мембраны

Таким образом, в процессе электродиализе исходный раствор очищается от растворенного в нем электролита, а ионы, прошедшие через мембрану, остаются в концентрате.

2 Материалы и методы исследования

Получение трековых мембран происходит путем облучения полимерных пленок ускоренными тяжелыми ионами, с последующим химическим травлением, полученных в ходе облучения латентных треков. Для проведения вышеописанных технологических процессов применялись следующие методы:

- Спектрофотометрическое исследование;
- Программа расчета потерь и пробега SRIMM;
- Микроскопический метод;
- Метод “Пузырька”.

В качестве оборудования для исследования применялись:

- Циклотрон Р-7М ФТИ, ТПУ;
- Спектрофотометр ССП-310;
- Сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-1000;
- Атомно-силовой микроскоп Интегра-Терма-Прима;
- Установка кинетического микроиндентирования;
- Лабораторная установка для измерения вольт-амперной характеристики.

2.1 Исследуемые материалы

Выбор материала для изготовления трековых мембран выбирается на основании требований, таких как: высокая прочность, химическая стойкость, доступность материала, стабильность механических свойств в широком диапазоне температур и др [21].

Исходя из этих требований, для изготовления трековых мембран нами была выбрана полиэтилентерефталатная (ПЭТФ) пленка с толщиной 10 мкм.

Преимущества ПЭТФ пленки представлены в работе [22].



Рисунок 8 – ПЭТФ пленка

Свойства ПЭТФ пленки представлены в работе [23].

2.2 Циклотрон Р-7М НЛ РВТ, ТПУ

Для получение трековых мембран в данной работе использовался циклотрон Р-7М НЛ РВТ ТПУ, (рис. 6). Данный циклотрон имеет напряженность магнитного поля 1,5 Т, радиус вывода пучка ионов 0,53 м. Параметры ускоряемых частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики ускоренных частиц на циклотроне

Частицы	$E_{\text{макс}}$ МэВ / $I_{\text{макс}}$ мкА
H	4,5-11 МэВ
He	4-28 МэВ
C, N, O, Ar	1 МэВ/нукл./0,15

2.3 Установка для химического травления ультрафиолетового облучения

После облучения полимерных пленок тяжелыми заряженными частицами образуются треки. Для образования сквозных пор в полимерах из

треков, полученных после облучения, применяется технология химического травления [24,25,26,27,28]. В нашей работе была использована щелочь на основе NaOH. На рисунке 9 показана установка для травления облученных полимеров в лаборатории 16, ФТИ, ТПУ.



Рисунок 9 – Установка для травления латентных треков

Перед химическим травлением облученные пленки подвергаются сенсibilизации в диапазоне волн 310-330 нм, благодаря этому мы получаем возможность управлять скоростью химического травления, для того, чтобы уменьшить время травления полимеров.

В данной работе сенсibilизацию проводили на установке УФО (рис. 10).



Рисунок 10 – Установка УФО для облучения пленки ультрафиолетом

2.4 Спектрофотометр ССП-310

Для исследования оптических изменений, произошедших в полимере после УФ-облучения, а конкретно для измерения оптической плотности и коэффициента пропускания, использовался спектрофотометр ССП-310 (рисунок 11).

Спектрофотометры данного типа позволяют исследовать оптические характеристики проб в УФ, видимо и ближнем инфракрасном диапазоне спектра, спектрофотометр работает на принципе спектрально-избирательном поглощении потока оптического излучения [29].



Рисунок 11 – Спектрофотометр ССП-310

2.5 Сканирующий электронный микроскоп и атомно-силовой микроскоп

Для исследования пористости и морфологии поверхностей полимеров после химического травления использовались микроскопические методы.

В нашем исследовании использовались сканирующий электронный микроскоп Hitachi “TM-1000” (рисунок 12) в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) и Атомно-силовой микроскоп Интегра-Терма-Прима (NT-MDT) в ТПУ (рисунок 13). Технические характеристики сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-1000 описаны в работе [29].



Рисунок 12 – Сканирующий электронный микроскоп Hitachi “TM-1000”

Технические характеристики атомно-силового микроскопа Интегра-Терма-Прима (NT-MDT) описаны в работе [30].



Рисунок 13 – Атомно-силовой микроскоп NT-MDT

2.6 Лабораторная установка для исследования полупроводящих свойств мембраны

Измерение ВАХ трековой мембраны и исследование полупроводящих свойств, проводились на двухсекционной лабораторной установке, собранной на 3D-принтере. Размеры ячейки: длина: ширина: высота – 10:10:10 см. Внутренний объем – 40 дм³, толщина боковых стенок 30 мм. В качестве материала для изготовления секций, был выбран полистирол, ввиду

своей высокой электрической прочностью, инертности в различных средах и технологичности.

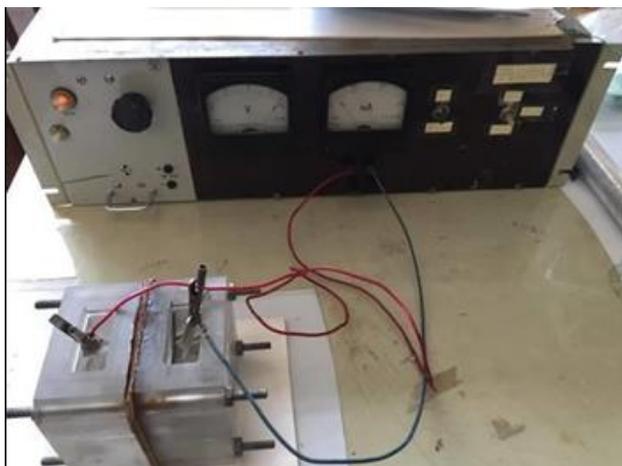


Рисунок 14 - Лабораторная установка для измерения ВАХ

2.7 Метод пузырька для определения диаметров пор и проницаемости ТМ

Диаметры пор трековых мембран определяли по максимальному давлению пузырьков (с помощью метода “пузырька”). Схема установки для определения диаметра пор представлена на рисунке 15.

Методика определения среднего размера пузырьков основана на измерение давления, необходимого, чтобы продавить воздух через поры мембраны, наполненные в нашем случае этиловым спиртом. В момент массового появления пузырьков газа, фиксируется давление на мембрану.

Диаметр пор определяется по формуле:

$$d = 0,65/P \quad (8)$$

где d – диаметр пор в мкм, P – давление в $\text{кг}/\text{см}^2$.

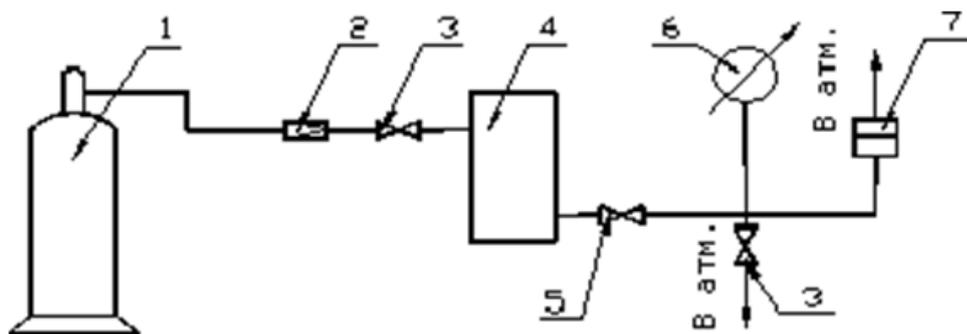


Рисунок 15 – Схема установки для определения диаметров пор. (1) Баллон с сжатым воздухом. (2) Редуктор 25-150, (3) Вентиль запорный, (4) Буферная емкость, (5) Вентиль регулировочный, (6) Манометр образцовый, (7) Устройства держателя с трековой мембраной

3 Экспериментальная часть

Для получения трековых мембран была разработана модель технологического процесса получения трековых мембран для нанофильтрации, которая продемонстрирована на рисунке 16.



Рисунок 16 – Технологическая модель процесса получения и исследования сквозных пор в облученном ПЭТФ

3.1 Облучение ускоренными ионами на циклотроне Р-7М

Исследуемые образцы ПЭТФ подвергались воздействию потоков высокоэнергетичных протонов с энергией 6,8 МэВ и альфа-частиц с энергией 28 МэВ ускоренных на циклотроне Р-7М ФТИ, ТПУ. Пучок ионов был выведен из ускорительной вакуумной камеры, где проходит через титановое окно с толщиной 40 мкм в воздух. Затем далее через воздух (20 мм) попадает на образец ПЭТФ с толщиной ~ (10-12) мкм. Схема облучения образцов приведена на рисунке 17.

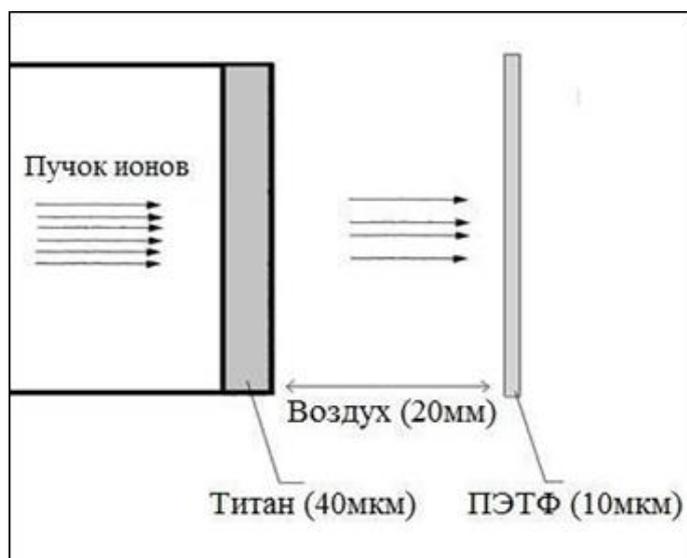


Рисунок 17 – Схема облучения образцов

Исследуемые образцы, диаметром 100 мм помещались в специальный держатель (рисунок 18).



Рисунок – 18 Исследуемый образец ПЭТФ в Al держателе

Исследование образцов ПЭТФ облученных протонами проводилось при плотности тока $0,1 \text{ мкА/см}^2$, для пленок, облученных альфа-частицами, плотность тока составляла $0,2 \text{ мкА/см}^2$. Время облучения для пленок ПЭТФ, облученных составило: 90, 120, 150 и 180 секунд. Для пленок, облученных альфа-частицами, время облучения составило 90 секунд. Исследования проводились на 9 образцах: 4 образца облучались протонами, 5 образцов облучались альфа-частицами.

После облучения, образцы помещались в герметичный пакет, из которого откачивался воздух, и выдерживались около 10 часов.

3.2 Расчет пробегов и потери энергии ионов в ПЭТФ полимере

Для того чтобы создать сквозной трек в полимере ПЭТФ, налетающие ионы должны обладать достаточной энергией. Для определения величины энергии, упавшей на образец, и глубины проникновения ионов проводились расчеты потери энергии и пробег налетающих на пленку ПЭТФ ионов [31].

При расчете полных потерь энергии применяется формула Бете-Блоха (1).

В данной работе использовалась компьютерная программа SRIM и онлайн программа NIST, которая позволяет рассчитывать величины dE/dx и R , а также многие другие параметры взаимодействия частицы с веществом

мишени, в том числе дисперсии пробегов, потерь энергии и отклонение траектории ионов. В качестве алгоритма для расчета потерь энергии частиц была заложена формула (2). На рисунке 19 показаны расчеты потерь энергий для протонов и альфа-частиц.

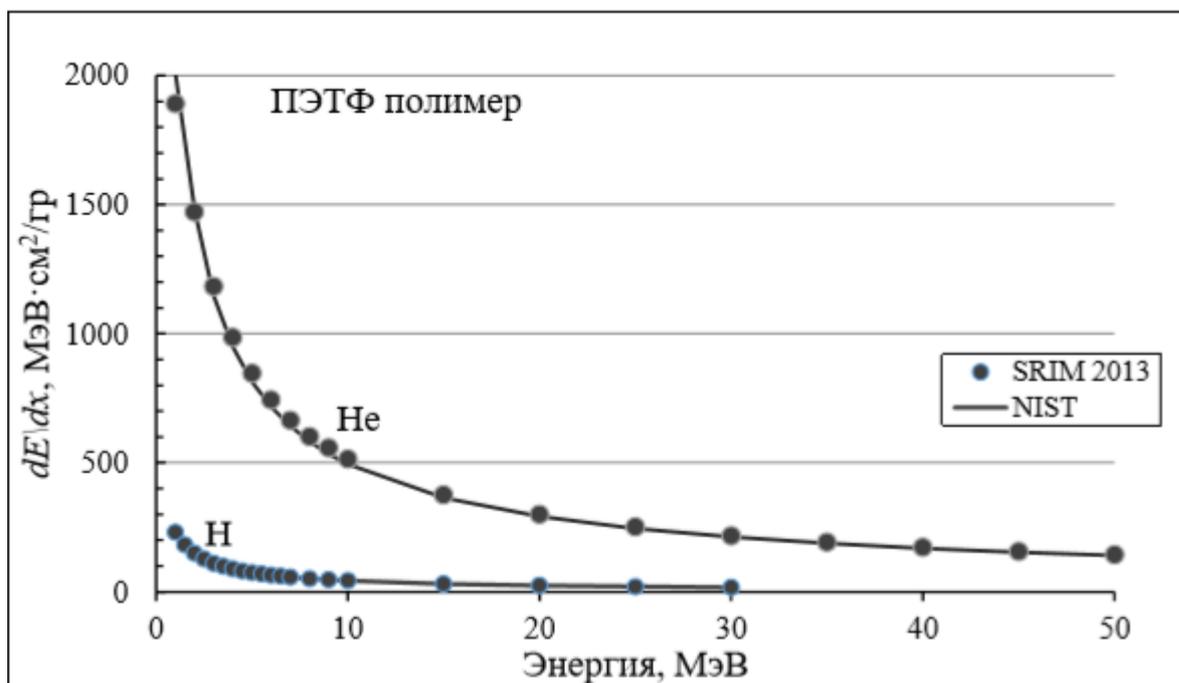


Рисунок 19 – Потери протонов и альфа-частиц в ПЭТФ полимере

На рисунке 19 видно, что пучок протонов с энергией 6,8 МэВ и альфа-частиц с энергией 28 МэВ подают на титановое окно и когда проходит через окно титана, они теряют энергии. Далее теряют энергии через воздух и на ПЭТФ пленку подают протоны с энергией 5,9 МэВ, альфа-частицы 24,5 МэВ. Если протон входит в пленку 10мкм ПЭТФ с энергией $E=5,9$ МэВ, то величина потерь энергии на пленке ПЭТФ будет $dE/dx= 6,6 \cdot 10^{-2}$ МэВ·см²/(мг). Если альфа-частица входит в пленку 10мкм ПЭТФ с энергией $E=24,5$ МэВ, то величина потерь энергии на пленке ПЭТФ будет $dE/dx= 2,6 \cdot 10^{-1}$ МэВ·см²/(мг).

На рисунке 20 показаны результаты расчетов пробегов протонов и альфа-частиц для полимера ПЭТФ. Величина пробега протонов для энергии 6,8 МэВ составил 470 мкм, в то время как величина пробега для альфа-частиц с энергией 28 МэВ составила 490 мкм. Исходя из полученных данных был

сделан вывод, что начальной энергии протонов и альфа-частиц достаточно, чтобы пройти и оставить сквозной трек в пленке ПЭТФ с толщиной 10 мкм.

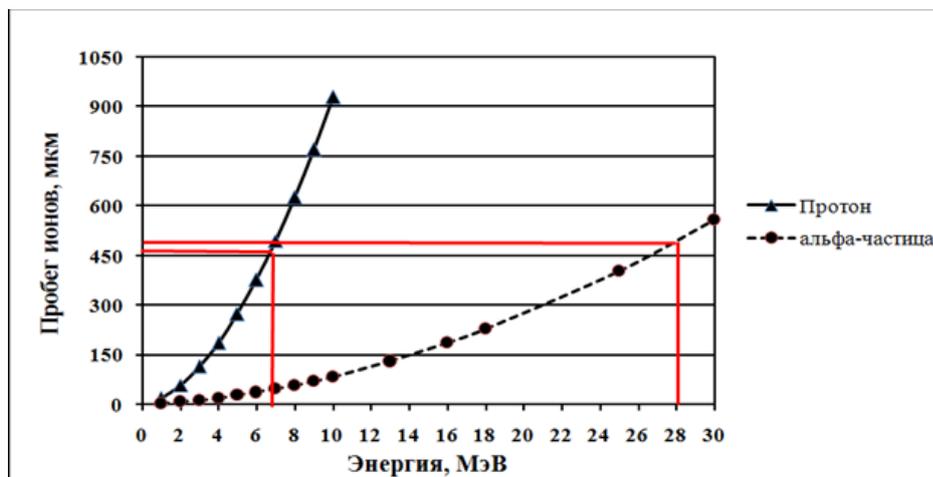


Рисунок 20 – Пробег протонов и альфа-частиц в ПЭТФ полимере

3.3 Расчет поглощенной дозы при облучении протонами и альфа-частицами

Был проведен расчет поглощенной дозы ионов в облученном полимере. Доза излучения определялась как отношение поглощенной веществом ионизирующей энергии (E) к массе этого вещества (m) [31]:

$$D = E/m \quad (9)$$

Единицей измерения, принятой в системе СИ для выражения поглощенной дозы, является Грей (Гр). Образцы с диаметром ~ 10 см, толщиной ПЭТФ – 10 мкм облучались протонами с энергией 6,8 МэВ при плотности тока $0,1$ мкА/см².

Для расчета поглощенной дозы необходимо было рассчитать общий заряд ионов при времени облучения 90 секунд для образца ПЭТФ № 1:

$$q_{\text{общ}} = I \cdot t \quad (10)$$

$$q_{\text{общ}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 90 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/см}^2$$

Заряд протона определяется как:

$$q_{\text{протон}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Число упавших ионов на пленке ПЭТФ № 1 при времени 90 секунд на 1 см^2 определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{q_{\text{общ}}}{q_{\text{протон}}} \quad (11)$$

Таким образом, число упавших ионов:

$$N = \frac{9 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 5,6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$$

тогда поглощенная доза будет определяться как:

$$D = N \frac{dE}{dx} \quad (12)$$

где N – число упавших частиц на 1 см^2 , dE/dx – удельная потеря энергии.

Удельная потеря энергии для протонов в данном случае равна $dE/dx = 6,6 \cdot 10^{-2} \text{ МэВ} \cdot \text{см}^2 / (\text{мг})$.

Тогда поглощенная доза на пленке ПЭТФ № 1 при времени облучения 90 секунд равна:

$$D = N \frac{dE}{dx} = 5,63 \cdot 10^{13} \frac{1}{\text{см}^2} \cdot 6,6 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Дж} \cdot \text{см}^2}{\text{кг}} = 0,59 \text{ МГр}$$

Аналогично, для остальных образцов ПЭТФ были проведены такие же расчеты поглощенной дозы, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет поглощённой дозы при облучении протонами в ПЭТФ полимере

№ образца ПЭТФ	Число упавших ионов на 1 см^2 , см^{-2}	dE/dx , $\text{МэВ} \cdot \text{см}^2 / \text{мг}$	Время облучения, сек	D, МГр
1	$5,6 \cdot 10^{13}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	90	0,59
2	$7,5 \cdot 10^{13}$		120	0,78
3	$9,4 \cdot 10^{13}$		150	0,99
4	$11,3 \cdot 10^{13}$		180	1,2

Исходя из полученных данных, был построен график зависимости поглощенной дозы на пленке ПЭТФ от времени облучения протонами (рисунок 21). Из графика следует, что величина дозы облучения прямо пропорциональна времени облучения.

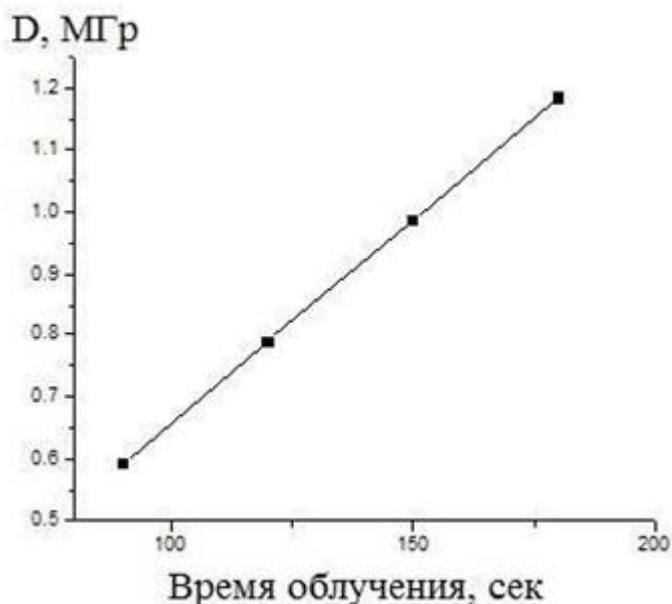


Рисунок 21 – График зависимости поглощенной дозы от времени облучения на пленке ПЭТФ

Образцы ПЭТФ с диаметром ~ 10 см, толщиной ПЭТФ – 10 мкм облучались альфа-частицами с энергией 28 МэВ при плотности тока $0,2$ мкА/см². Облучение альфа-частицами проводилось по времени 90 секунд для всех образцов ПЭТФ.

Для расчета поглощенной дозы необходимо было рассчитать общий заряд ионов для времени облучения 90 секунд:

$$q_{\text{общ}} = 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 90 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/см}^2.$$

Заряд альфа-частица определяется как:

$$q_{\alpha} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-19}.$$

Число упавших ионов на пленке ПЭТФ при времени 90 секунд на 1 см² определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{18 \cdot 10^{-6}}{3,2 \cdot 10^{-19}} = 5,6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}.$$

Если альфа-частица входит в пленку 10 мкм ПЭТФ с энергией $E=24,5$ МэВ, то величина потерь энергии на пленке ПЭТФ будет $dE/dx = 2,6 \cdot 10^{-1} \text{ МэВ} \cdot \text{см}^2 / (\text{мг})$.

Тогда поглощенная доза на пленке ПЭТФ при времени облучения 90 секунд равна:

$$D = N \frac{dE}{dx} = 5,6 \cdot 10^{13} \frac{1}{\text{см}^2} \cdot 2,6 \cdot 10^{-1} \cdot 1,6 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Дж} \cdot \text{см}^2}{\text{кг}} = 2,3 \text{ МГр.}$$

Таблица 3 – Расчет поглощённой дозы при облучении альфа-частицами в ПЭТФ полимере.

№ образца ПЭТФ	Число упавших ионов на 1 см^2 , см^{-2}	dE/dx , МэВ·см ² /мг	Время облучения, с	D, МГр
1,2,3,4,5	$5,6 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	90	2,3

3.4 Сенсibilизация и травление латентных треков в облученных образцах ПЭТФ

После облучения на циклотроне, в образцах ПЭТФ из-за взаимодействия с воздухом начинается процесс окисления, для устранения возможных дефектов исследуемые образцы облучались между эритемными лампами с $\lambda=330$ нм на установке УФО.

Время экспозиции для образцов составляло 30 минут для образцов, облученных протонами и 120 минут для образцов, облученных ионами гелия соответственно.

Для получения сквозных пор в образцах после сенсibilизации облученные образцы подвергались химическому травлению в 2N растворе NaOH. Характеристики образцов ПЭТФ полученные при травлении указаны в таблице 4.

Для удаления остатков NaOH с образцов, пленки ПЭТФ для реакции нейтрализации, после химического травления погружали в кислоту

(CH₃COOH) на 30 минут. Далее для нормализации естественной среды образцы погружали в ванну с дистиллированной водой.

Таблица 4 – Характеристика облученных образцов ПЭТФ при травлении

№ образца	Источник облучения	Время травления, мин	Температура травления, °С
1	протон	25	70
2			
3			
4			
1	альфа-частица	25	72
2		35	
3		45	
4		50	
5		60	

Обработка УФ излучением повышает избирательность травления материала трека и ускоряет сам процесс получения мембран. Для того чтобы избирательность травления была значительной, необходимо выдерживать оптимальные условия, такие как температура и концентрация химического реагента.

3.5 Исследование характеристики сформированных ТМ

С помощью микроскопа Hitachi TM-1000 исследовали микроструктуру образцов и плотности пор мембран. Исходя из подсчета количества пор, определили плотность пор. Статистическая погрешность при определении плотности треков данными методами составляла, как правило, менее 5%. При исследовании поверхности мембраны методом РЭМ из-за электронного пучка микроскопа происходит зарядка поверхности мембраны и как следствие, искажение изображения. Для устранения этого артефакта на поверхности исследуемых образцов методом термического испарения в вакууме наносились тонкие слои алюминия. При микроанализе заряд стекал с исследуемых образцов, и контрастность снимков увеличивалась.

Также были проведены исследования и получены изображения пористой поверхности ТМ с помощью атомно-силового микроскопа NT-MDT в режиме постоянного сканирования.

После морфологического исследования проводилось измерение прочности сформированных трековых мембран с порами на установке кинетического микроиндентирования.

Метода “Пузырька” измеряли диаметр пор ТМ и проницаемость Q , проницаемость зависит от диаметров и числа пор. Формула (11) использовалась для определения диаметров пор ТМ.

4 Результаты и обсуждения

4.1 Исследование оптической плотности ПЭТФ, облученной ионами УФО, методами УФ-спектроскопии

После УФО проводились исследования оптических характеристик облученных пленок ПЭТФ. На рисунке 22 показаны спектры пропускания для облученных альфа-частицами образцов ПЭТФ, а также после воздействия УФО в течение 2 часов. Исходя из полученной зависимости можно сделать вывод, что спектр для образца, облученного ионами гелия и УФО, сдвинут в сторону большей длины волны по сравнению с спектром от образца, облученного только ионами гелия.

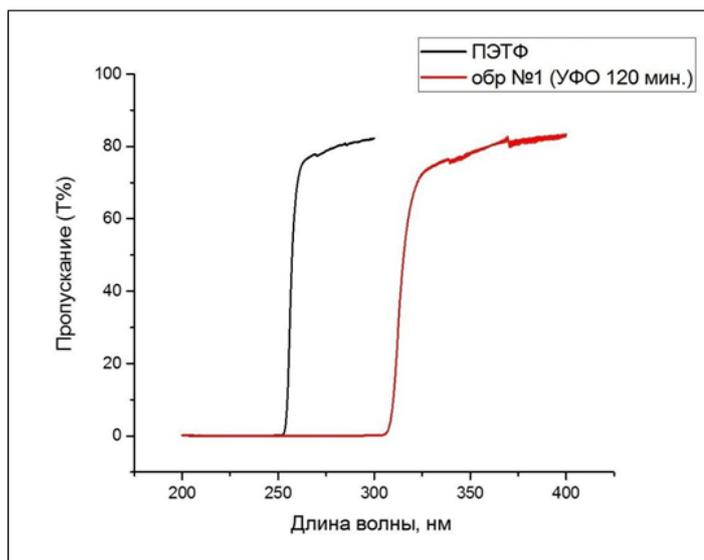


Рисунок 22 – УФ-спектры пропускания для пленок ПЭТФ

Сдвиг спектральной линии объясняется разрывом ковалентных связей и образованием в треке “пустот”.

Получены образцы, облученные протонами при разных экспозициях. На рисунке 23 представлены УФ-спектры для серии образцов облученных протонами.

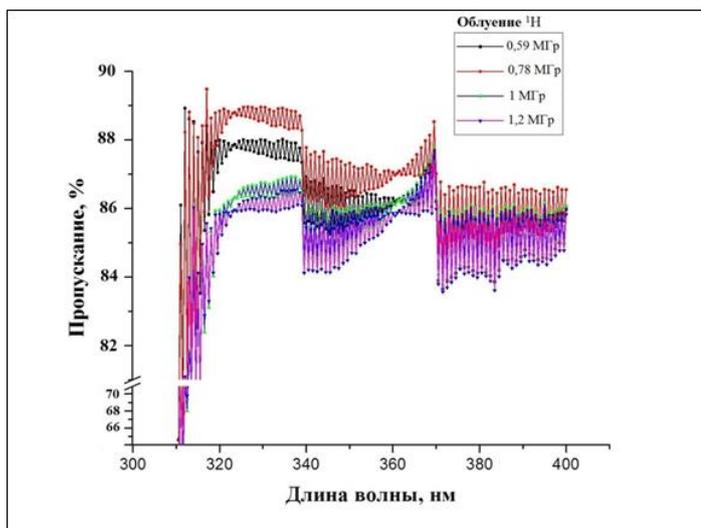


Рисунок 23 – УФ-спектры пропускания для образцов для получения ^1H

Анализируя полученную зависимость можно сказать, что при увеличении дозы облучения понижается оптическая плотность образцов ПЭТФ после УФО. На графике видно, что при дозе облучения равной 0,78 МГр идет резкое повышение оптической плотности, что связано с некорректной калибровкой прибора.

На рисунке 24 показаны УФ-спектры для образцов, облученных протонами и последующим облучением УФО в течение 30 минут. Исходя из полученных УФ-спектров видно, что после облучения УФО увеличилась дефектность кристаллической структуры исследуемых пленок ПЭТФ и уменьшило пропускание УФ.

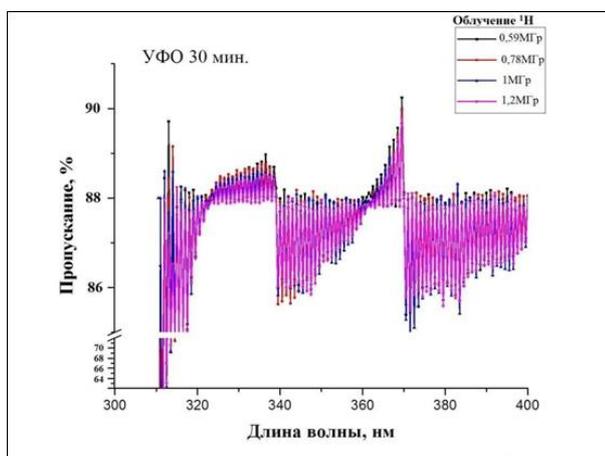


Рисунок 24 – УФ-спектры пропускания для образцов ПЭТФ

Для получения высококачественных ТМ с минимальной дисперсией по величине диаметров необходимо выдерживать скорость травления вдоль треков частиц выше скорости травления неповреждённого материала. Таким образом, облучение ПЭТФ в ультрафиолетовой области спектра позволяет усилить деструкцию в дефектных областях.

4.2 Исследование плотности пор ТМ

После химического травления исследовали микроструктуры образцов плотности пор мембраны с помощью микроскопа Hitachi TM 1000 и атомно-силового микроскопа NT-MDT.

Фотографии поверхностей ТМ, после получения сквозных пор посредством химического травления продемонстрированы на рисунке 25.



Рисунок 25 – Фотография поверхностей ТМ с сквозными порами

На рисунке 26 показаны микрофотографии поверхности ТМ, облученных протонами в разных экспозициях для энергии 6,8 МэВ. На рисунке а) – доза облучения 0,59 МГр, б) – 0,78 МГр, в) – 0,99 МГр, д) – 1,2 МГр.

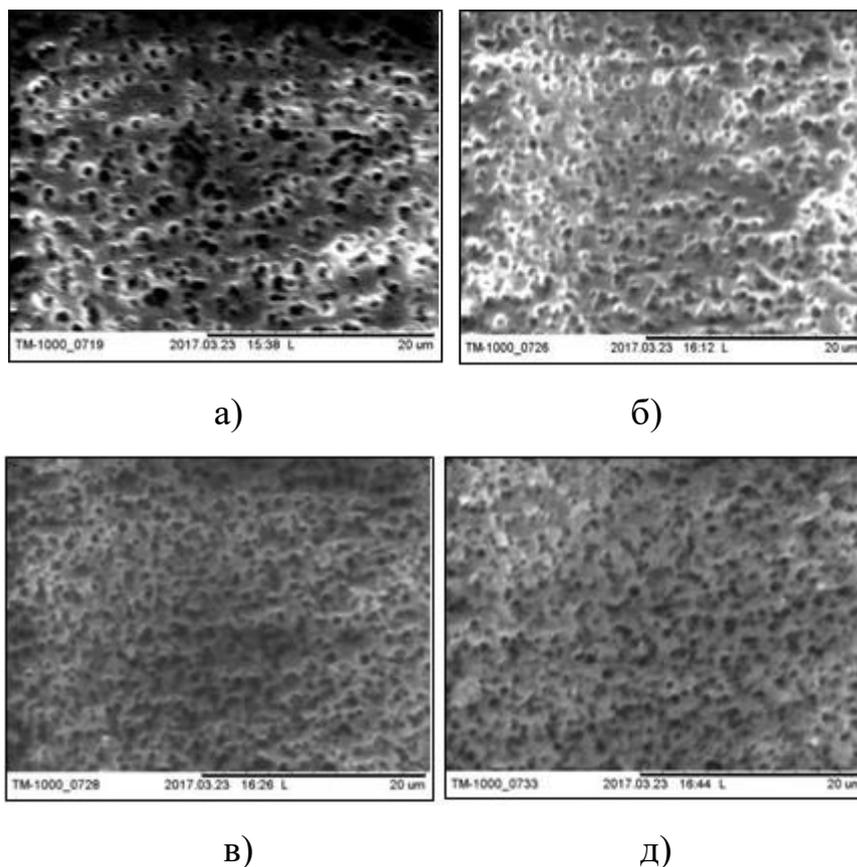
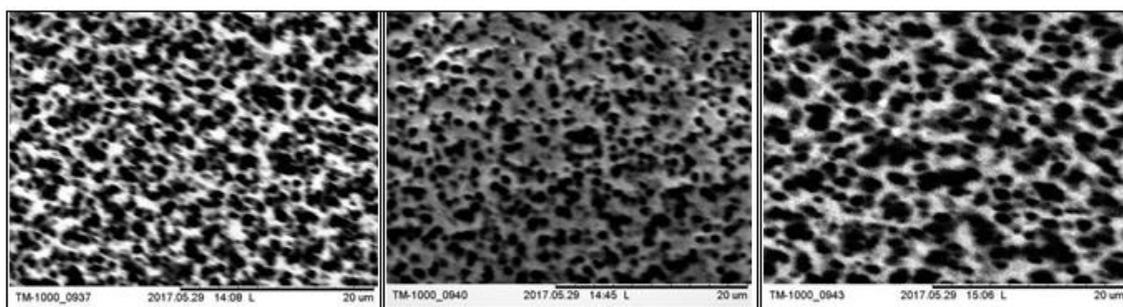


Рисунок 26 – Электронная микрофотография поверхности ТМ (облучение протонами)

На рисунке 27 показаны микрофотографии поверхностей ТМ, облученных альфа-частицами с дозами 2,3 МГр в разных экспозициях для энергии 28 МэВ, на рисунке а) – время травления 25 минут, б) – 35 минут, в) – 45 минут, д) – 50 минут, е) – 60 минут.

Исходя из этих снимков, не представляется возможным, из-за большого количества пор, которые, возможно прикрываются и из-за этого размеры диаметров не соответствуют истинным, определить их диаметр. Поэтому диаметр пор определяли методом “пузырька”.



а)

б)

в)

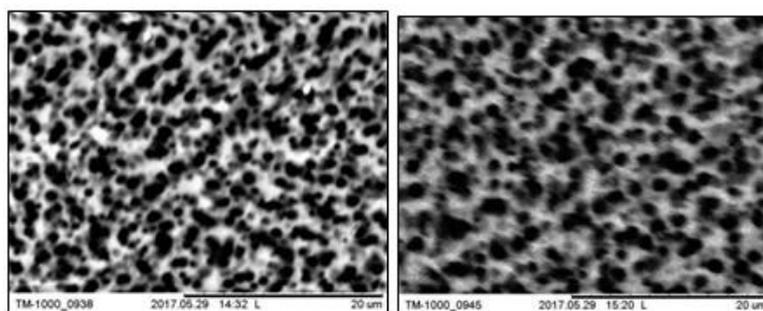


Рисунок 27 – Электронные микрофотографии ТМ (облученные альфа-частицами)

Для определения плотности пор и их количества, на участке площадью 2 см^2 проводился подсчет пор и определялась пористость. Результаты расчетов приведены в таблице 5 и 6.

Таблица 5 – Характеристики ТМ, облученные протонами

№ образца	Время облучения, сек.	Доза облучения, МГр	Время травления, мин	Количество пор, $1/\text{см}^2 \pm 5\%$
1	90	0,59	25	$2,7 \cdot 10^7$
2	120	0,78		$3,2 \cdot 10^7$
3	150	0,99		$3,8 \cdot 10^7$
4	180	1,2		$4,4 \cdot 10^7$

Таблица 6 – Характеристики ТМ, облученные альфа-частицами

№ образца	Время облучения сек	Доза облучения, МГр	Время травления, мин	Количество пор, $1/\text{см}^2 \pm 5\%$
1	90	2,3	25	$3,5 \cdot 10^{13}$
2			35	$4,7 \cdot 10^{13}$
3			45	$5 \cdot 10^{13}$
4			50	$5,5 \cdot 10^{13}$
5			60	$6 \cdot 10^{13}$

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что при облучении образцов альфа-частицами была сформирована ТМ с плотностью пор $\sim 10^{13}$ пор/ см^2 , при облучении образцов протонами была сформирована ТМ с плотностью пор $\sim 10^7$ пор/ см^2 . Такое различие в пористости, полученных ТМ можно объяснить размерами и массой протона, которая в 4 раза меньше чем у иона гелия.

4.3 Исследование поверхности ТМ с помощью атомно-силового микроскопа

Для исследования рельефа поверхности ТМ использовался атомно-силовой микроскоп, кусочки ТМ размером 2x2 см помещались в исследуемую камеру.

Сила, приложенная при сканировании, находилась в диапазоне 1,0-45 кН. Поля сканирования имели размеры: 10x10 мкм, число точек сканирования – 512.

Изображения поверхностей ТМ, полученных на атомно-силовом микроскопе приведены на рисунке 28.

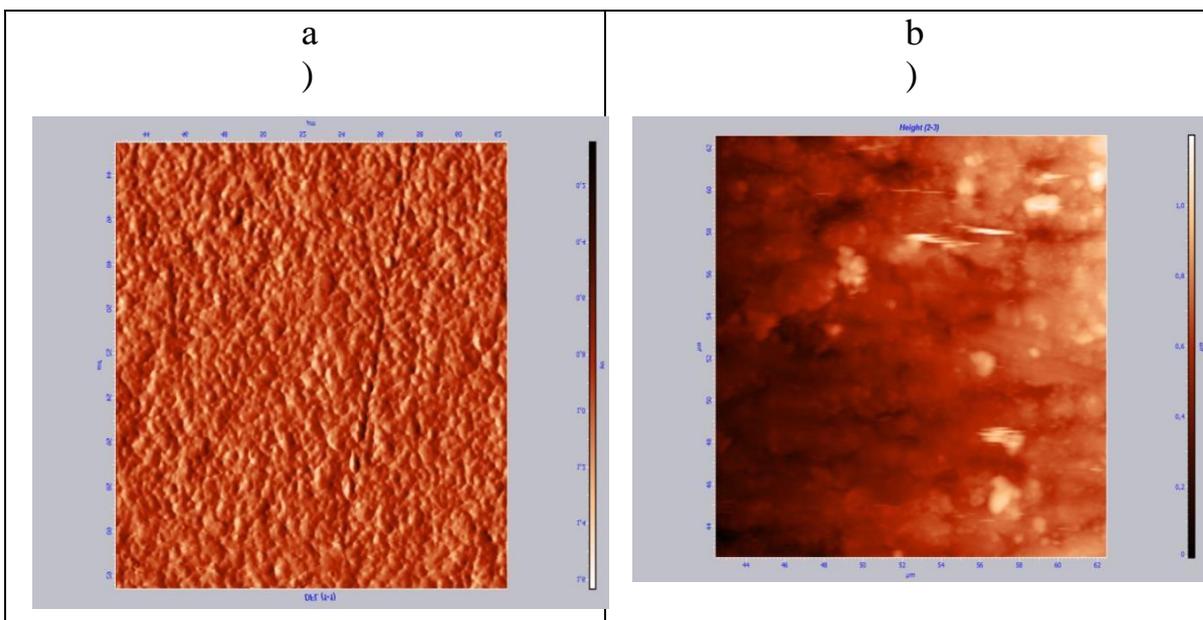


Рисунок 28 – Рельеф поверхности трековых мембран. а) поверхность ТМ, облученная ионами гелия; б) ТМ – облученная протонами

Исходя из полученных снимков, можно сказать, что после травления, на поверхности полимера появляются дефекты в виде небольших кратеров. Кратеры появляются из-за различной скорости травления поверхностей ПЭТФ. Для минимизации количества дефектов, при химическом травлении нужно соблюдать соотношение $\frac{V_t}{V_b} \leq 100\%$, где V_t – скорость травления в треке, V_b – скорость травления основы.

На рисунке 29 показаны снимки поверхностей ТМ в режиме 3D.

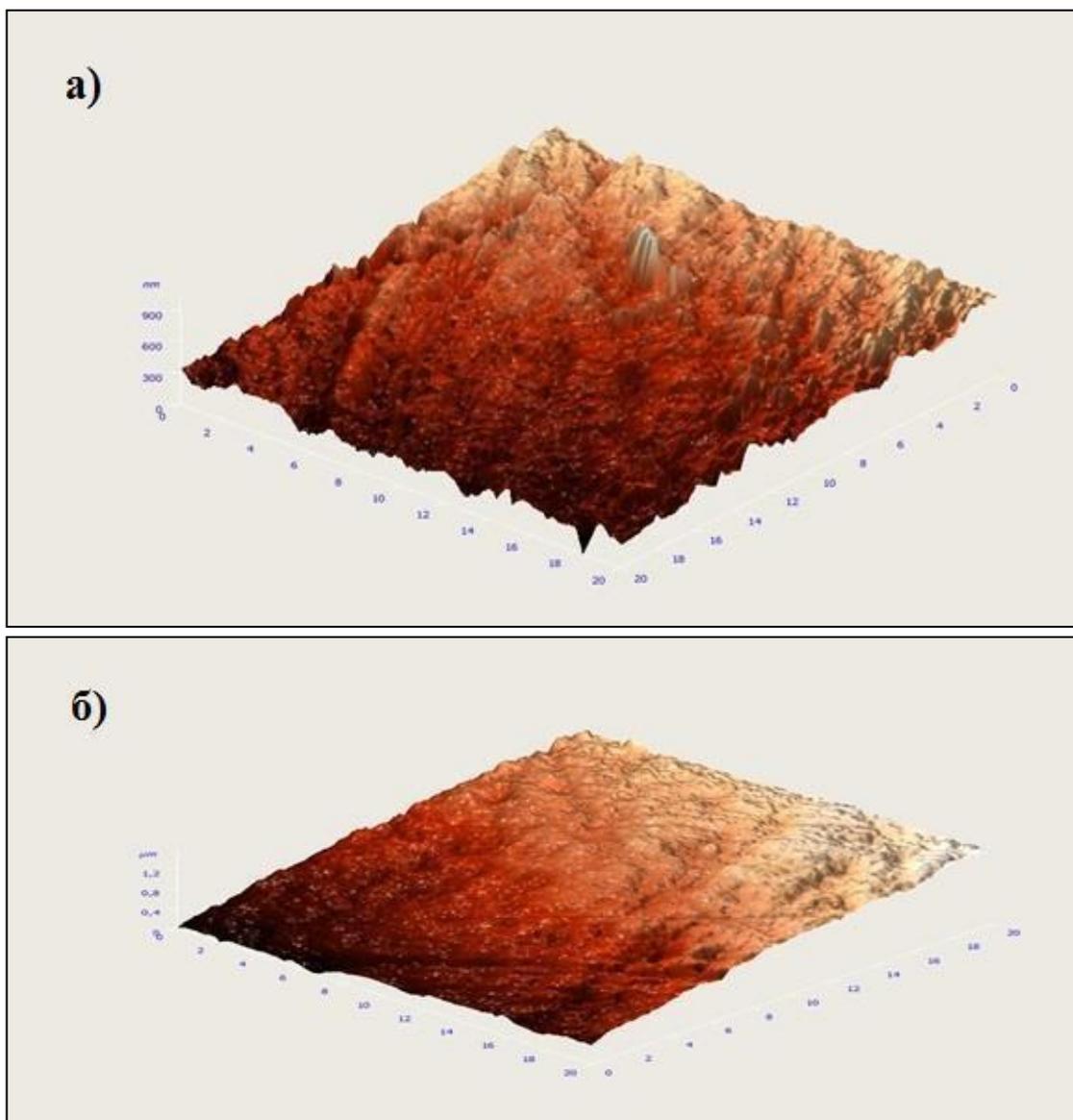


Рисунок 29 – Изображение области поверхности ТМ, облученной альфа-частицами (а) и облученной протонами (б)

Исходя из полученных рисунков видно, что поверхность ТМ, облученная ионами гелия нарушена больше, чем поверхность ТМ, облученная протонами, объяснить это можно тем, что масса гелия в 4 раза больше массы протона и расстояние между порами будет больше, чем при облучении протонами.

4.4 Исследование диаметров пор и производительности ТМ

Диаметры пор ТМ рассчитывались с помощью метода “пузырька” по формуле (11), в таблице 7 представлены результаты полученных диаметров пор и проницаемости ТМ, облученных протонами.

Таблица 7 – Основные характеристики ТМ (облученные протонами)

№ образца	Доза облучения, МГр	R, кг/см ²	Диаметр пор по методу “пузырька”, нм, ± 5%	Проницаемость, л/мин·(см ²)
1	0,59	12,2	53,4	45,5
2	0,78	10,8	60,2	56
3	0,99	10	64,7	62,5
4	1,2	9	72	68,5

График зависимости диаметров пор от дозы облучения показан на рисунке 30.

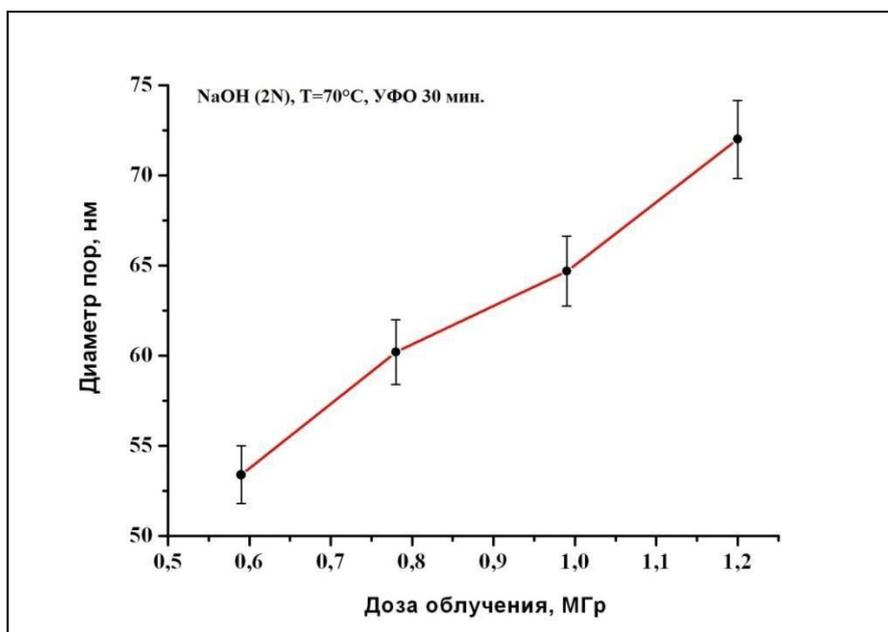


Рисунок 30 – График зависимости диаметра пор ТМ (облученные протонами) от дозы облучения

Исходя из полученных зависимостей, можно сделать вывод, что самые большие диаметры пор 70 нм, были получены при дозе облучения 1,2 МГр.

Также, с помощью метода “пузырька” были рассчитаны диаметры пор и проницаемость ТМ, облученных протонами. В таблице 8 представлены результаты полученных диаметров пор и проницаемости.

Таблица 8 – Основные характеристики ТМ (облученные альфа-частицами)

№ образца	Доза облучения, МГр	Р, кг/см²	Диаметр пор по методу “пузырька”, нм, ± 5%	Проницаемос, л/мин·(см²)
1	2,3	8,6	75,7	97,5
2		7,5	86,7	113,5
3		6,7	97,4	132,5
4		6,8	95,8	140
5		5	130,2	157,5

Зависимость диаметров пор ТМ (облученная альфа-частицами) от времени травления показана на рисунке 31.

Исходя из полученной зависимости, можно сделать вывод, что увеличение диаметров пор имеет линейную зависимость в пределах 25-45 минут. Отклонение графика обусловлено уменьшением температуры травящего раствора.

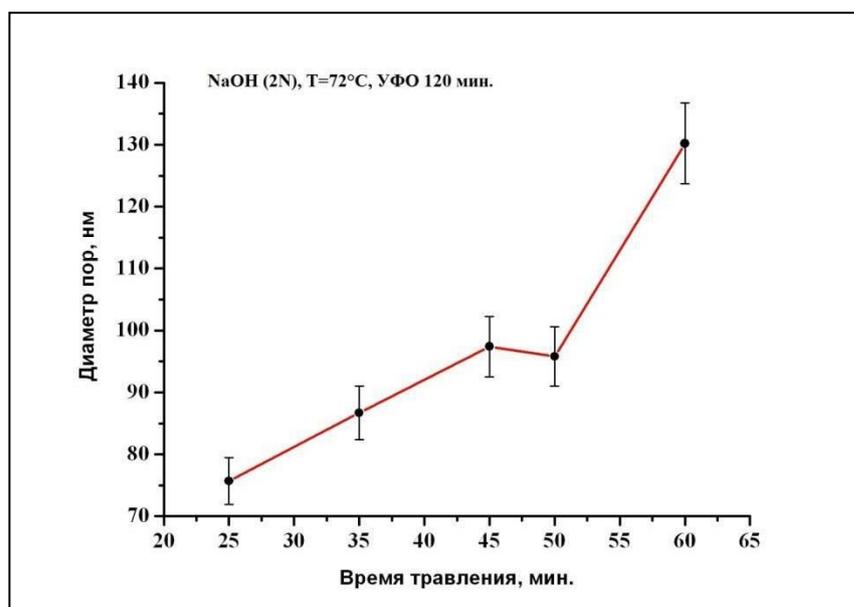


Рисунок 31 – График зависимости диаметров пор ТМ (облученные ионами гелия) от времени травления

4.5 Исследование полупроводящих свойств мембраны

Для обессоливания раствора морской воды был проведен эксперимент с использованием созданной ТМ.

Эксперимент по исследованию полупроводящих свойств мембраны проводился, на собранной, на 3D-принтере двухсекционной ячейке, в одной из ячеек находился модельный раствор NaCl с концентрацией 30 гр/л, в другой дистиллированная вода. Анод и катод были из платиновой фольги. Напряжение подавалось от источника питания СА-01.

На рисунке 32 представлена вольт-амперная характеристика ТМ, облученной альфа-частицами.

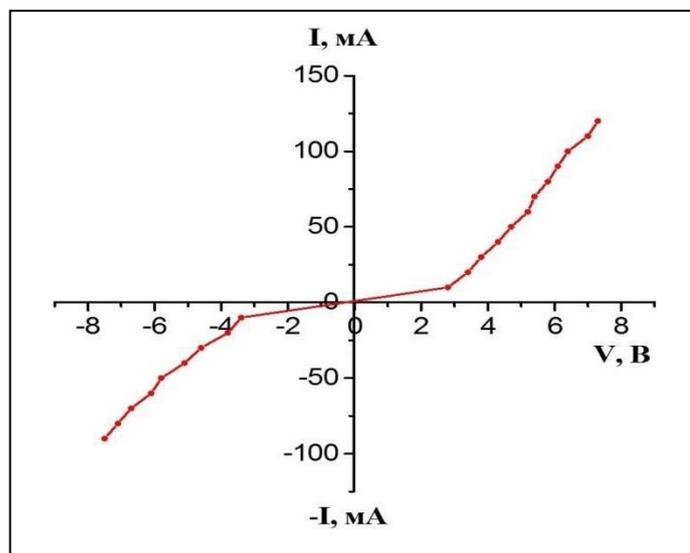


Рисунок 32 – Вольт-амперная характеристика ТМ, облученных альфа-частицами

Исходя из полученного графика можно сказать, что смена напряжения на электродах в обратном направлении приводит к образованию плато на обратной ветви ВАХ, что говорит нам о том, что поры в сформированной нами мембране имеют асимметрию, поэтому скорость ионов в растворе различна. Измерение плотности раствора, показало, что при обратном включении увеличилась концентрация ионов натрия в левой части ячейки, что говорит нам о том, что полученная нами ТМ облученная альфа-частицами и протонами может быть использована для разделения растворов солей.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения

Работа направлена на моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия для разделения ионов солей. В настоящей работе проводились исследования возможности использования полимерных трековых мембран с высокой пористостью и регулируемыми толщинами для разделения ионов одного заряда.

Основной проблемой для широкого использования мембранных методов является разработка и изготовление мембран, которые удовлетворяли бы ряду противоречивых требований: высокой разделяющей способности и высокой проницаемости, высокой прочности и стабильности характеристик в процессе эксплуатации, а также обладающих экономически приемлемой стоимостью.

Для получения мембран используются самые разные материалы: полимерные пленки, стекло, керамика, металлические пленки и др. Все мембраны разделяют на непористые, в которых разделение веществ происходит в процессе диффузии через вещество мембраны, и пористые, в которых разделение веществ происходит в результате фильтрации вещества через капиллярную структуру мембраны.

- Инициация проекта;
- Планирование проекта;
- Исполнение проекта.

Данным этапам должен предшествовать предпроектный анализ, направленный на сбор информации, описывающий требования к продукту или услуге.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Конечным продуктом данного научного исследования является трековая мембрана с ультрамалыми порами и ее проводящие свойства. Сегментам рынка данной продукции можно отнести здравоохранительные производственные, учебные учреждения.

Для проведения анализа конкурентоспособности исследуемого метода разделения ионов солей будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 1. В качестве конкурирующих разработок были приняты: М – трековая мембрана, Х – метод хроматографии, А – амальгамный метод разделения. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (13)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _М	Б _Х	Б _А	К _М	К _Х	К _А
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Скорость разделения	0,15	5	3	5	0,50	0,50	0,30
2. Компактность	0,05	5	2	5	0,25	0,10	0,25
3. Энергоемкость	0,1	4	5	4	0,60	0,75	0,60

4. Чистота продукта	0,2	5	5	1	0,15	0,25	0,25
5. Безопасность эксплуатации	0,1	4	5	1	0,60	0,45	0,45
6. Надежность	0,05	4	5	4	0,20	0,25	0,20
7. Простота эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,15	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Уровень проникновения на рынок	0,10	3	5	5	0,50	0,40	0,50
2. Цена	0,10	5	4	4	0,75	0,60	0,60
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	4	0,20	0,25	0,20
4. Финансирование научной разработки	0,05	3	3	3	0,25	0,25	0,25
Итого	1	48	47	41	4.45	4,35	4.05

Из данного анализа видно, что среди исследуемых методов разделения ионов солей электро-мембранный метод является наиболее конкурентным. Основными преимуществами являются скорость разделения и чистота выхода продукта.

5.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Он проводится в несколько этапов.

В первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Соответствия или несоответствия помогут выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа строится интерактивная матрица проекта (таблица 10). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечаем либо

знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табличной форме (таблица 9).

Таблица 9 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Оригинальные методы и подходы для создания ТМ с высокой пористостью. С2. Низко затратные высокоэффективные мембранные материалы для процессов разделения. С3. Радиационно-химическая разработка не требует использования инициаторов, что обеспечивает чистоту продукта. С4. Большие возможности управления структурой и матрицы ПЭТФ. С5. Экологичность технологии.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Литературные данные о получении ТМ при облучении ионами аргона немногочисленны. Сл2. Широкий спектр используемых методов не всегда позволяет получить должного результата. Сл3. Недостаток финансовых средств. Сл4. Проблемы материального обеспечения.
Возможности: В1. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У3. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.		

Таблица 10 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	0	+	-
	B2	-	-	-	-	+
	B3	-	0	0	-	0

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	B1	-	+	+	
	B2	-	-	0	
	B3	-	0	0	

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	-	0	0	0
	У2	0	-	0	0	-
	У3	+	-	-	-	-

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	B1	-	-	0	0
	B2	-	-	0	-
	B3	0	-	-	+

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 11).

Таблица 11– Итоговая матрица SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1. Оригинальные методы и подходы для создания ТМ с высокой пористостью.</p> <p>C2. Низко затратные высокоэффективные мембранные материалы для процессов разделения.</p> <p>C3. Радиационно-</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Литературные данные о получении ТМ при облучении ионами аргона немногочисленны.</p> <p>Сл2. Широкий спектр используемых методов не всегда позволяет получить должного результата.</p>
--	--	---

	химическая разработка не требует использования инициаторов, что обеспечивает чистоту продукта. С4. Большие возможности управления структурой и матрицы ПЭТФ. С5. Экологичность технологии.	Сл3. Недостаток финансовых средств. Сл4. Проблемы материального обеспечения.
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Понижение стоимости данной разработки.</p>	<p>При использовании инновационной инфраструктуры ТПУ упрощается проведения процессов модифицирования полимерных пленок, с помощью которого появиться возможность получения ТМ с высокой пористостью.</p> <p>Для проведения радиационно-химической разработки применяют широкий спектр различных источников ионизирующего излучения, что возможно при использовании инфраструктуры ТПУ.</p> <p>Появление спроса на новый продукт может быть увеличен за счет технологичности и экологичности продукта.</p>	<p>Результат экспериментальных данных может позволить нам выявить возможность использования трековых мембран, произведенных в ТПУ, для разделения различных растворов и ионов металлов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии.</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У3. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.</p>	<p>На сегодняшний день существует широкий спектр различных методов для разделения ионов солей, что может быть причиной затруднения вывода трековых мембран на рынок</p>	<p>Отсутствие спроса на новые технологии, могут ограничить поступление финансовых средств.</p>

Исходя из полученных из таблицы 11 результатов, можно сделать вывод о том, что сильные стороны устранят угрозы проекта, единственное, что может вызвать затруднение – поиск финансирования проекта.

5.2 Планирование управления научно-техническим проектом

5.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. План управления научным проектом должен включать в себя иерархическую структуру работ.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 33 представлена иерархическая структура по выпускной квалификационной работе.



Рисунок 33 – Иерархическая структура по ВКР

5.2. План проекта 2

В рамках планирования выпускной квалификационной работы построен календарный график работы (таблица 12).

Таблица 12 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Траб	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников Ф.И.О
1	Разработка ТЗ на ВКР	3	1	01.02.2020	03.02.2020	Руководитель
2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	25	19	04.02.2020	28.02.2020	Руководитель, Студент
3	Выбор направления исследований	3	2	01.03.2020	03.03.2020	Руководитель
4	Календарное планирование работ по теме	3	3	04.03.2020	06.03.2020	Руководитель
5	Разработка экспериментов	19	13	07.03.2020	25.03.2020	Студент
6	Теоретические и экспериментальные исследования	21	15	26.03.2020	15.04.2020	Руководитель, Студент
7	Постановка и проведение эксперимента	40	28	07.03.2020	15.04.2020	Студент
8	Обработка данных	6	4	16.04.2020	21.04.2020	Руководитель, Студент
9	Оценивание правильности полученных данных	9	6	22.04.2020	30.04.2020	Руководитель, Студент
10	Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	9	3	01.05.2020	09.05.2020	Руководитель, Студент
11	Определение целесообразности и проведения исследования	3	1	10.05.2020	12.05.2020	Руководитель, Студент
12	Оформление пояснительной записки	9	7	13.05.2020	21.05.2020	Студент

	полученных результатов																		
11	Определение целесообразности проведения исследования	Р, С	3																
12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	С	9																
13	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Р, С	10																

■ – студент;

■ – руководитель

5.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

5.2.3.1 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.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчёт затрат по статье "Сырьё и материалы"

Материалы	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб,	Сумма, руб.
1. ПЭТФ	кг	0,001	1310,1	1,31
2. Платина	г	0,05	1500	75
3. Гидроксид натрия	кг	0,04	80	3,2

4.	Уксусная кислота	кг	0,05	130	6,5
5.	Хлорид магния	кг	0,78	300	23,4
6.	Хлорид кальция	кг	0,041	43	1,76
7.	Оксид лютеция	г	1	130	130
8.	Оксид иттербия	г	1	45	45
9.	Лабораторная химическая посуда	мл.	0,08	5000	400
10.	Компьютер	дней	2	20000	40
Всего за сырье и материалы					726
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					36
Итого по статье С _м					762

На статью "Спецоборудование" для разработки и экспериментальных работ относятся затраты на приобретение, изготовление, аренду или амортизационные отчисления специальных приборов, устройств и т.д. При выполнении данной работы всё используемое оборудование собственное.

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается по следующей формуле:

$$C_a = \sum_i^n \frac{C_{бал} \cdot H_a \cdot g_i \cdot t}{\Phi_{эф}} \quad (14)$$

где $C_{бал}$ – стоимость i -го вида оборудования, руб; H_a – норма годовых амортизационных отчислений; g_i – количество единиц i -го вида оборудования; t – время работы i -го вида оборудования; $\Phi_{эф}$ – эффективный фонд времени работы оборудования.

Эффективный фонд рабочего времени $\Phi_{эф}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$\Phi_{эф} = (\Phi_{кал} - \Phi_{пр,вых}) \cdot k_{см} \cdot k_{нп} \quad (15)$$

где $\Phi_{кал}$ – количество календарных дней в году, дни; $\Phi_{пр,вых}$ – количество праздничных и выходных дней в году, дни; $k_{см}$ – коэффициент сменности (в данном случае $k_{см}=1$); $k_{нп}$ – коэффициент неучтённых потерь ($k_{нп}=20 \div 30$ %).

Эффективный фонд рабочего времени составляет 250 дней.

Таблица 15 – Расчёт затрат по статье "Спецоборудование"

Наименование оборудования	Стоимость оборудования, руб.	Норма Амортизации, %	Время использования, час.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1 Циклотрон	10000000	15	4	3000
2 Электронный микроскоп	2150000	12,5	2	269
Итого по статье С _а :				3269

Затраты на потребляемую электроэнергию рассчитываются по следующей формуле:

$$Z_{\text{э\textsubscript{э}}} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot T_{pi}) \cdot \tau, \quad (16)$$

где $T_{\text{раб1}} = 100$ часов – время работы компьютера; $P_1 = 0,3$ кВт – потребляемая мощность компьютера; $T_{\text{раб2}} = 832$ час – время в течение которого действует освещение; $P_2 = 0,35$ кВт – мощность, необходимая для освещения лаборатории; $T_{\text{раб3}} = 50$ часов – время работы источника питания; $P_3 = 0,5$ кВт – потребляемая мощность источника питания; $\tau = 5,8$ руб./кВт·ч – тариф на электроэнергию.

Тогда:

$$Z_{\text{э\textsubscript{э}}} = (T_{\text{раб1}} \cdot P_1 + T_{\text{раб2}} \cdot P_2) \cdot \tau = (100 \cdot 0,3 + 832 \cdot 0,35 + 50 \cdot 0,5) \cdot 5,8 = 2007,96 \text{ руб.}$$

5.2.3.2 Основная заработная плата

В настоящую статью включена 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 (размер определяется Положением об оплате труда).

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (17)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (18)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (19)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} = 30000 \cdot 1,3 = 39000 \text{ руб.},$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $K_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

На примере расчета основной заработной платы руководителя, проводим расчеты для дипломника, затем сводим все результаты в таблицу 17.

Таблица 17 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	К _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _{раб} раб.дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	30000	1,3	39000	2038,19	54	110062,26
Студент	17890	1,3	23257	1168,06	102	119142,12
Итого, Зосн, руб.						229204,38

5.2.3.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (20)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}}=0,1$); $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 39000 = 3900 \text{ руб.}$$

5.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным нормам от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (21)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (39000 + 3900) = 12955,8 \text{ руб.}$$

5.2.3.6 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хоз. инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 30 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (22)$$

где $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 1,3 \cdot (39000 + 3900) = 55770 \text{ руб}$$

5.3 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	4631,4
2. Прочие прямые затраты	762
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	229204,38

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3900
5. Отчисления во внебюджетные фонды	12955,8
6. Накладные расходы	55770
Бюджет затрат НИИ	307223,58

5.4 Ресурсоэффективность

Все научно-исследовательские работы должны проводиться с полным технико-экономическим обоснованием ожидаемой и фактической эффективности результатов разработки. В связи с многообразием форм воздействия результатов НИОКР на все стороны общественного развития, виды эффекта от выполняемых работ можно классифицировать грубо по двум признакам; по сфере проявления эффекта и характеру его воздействия на общественное развитие. По характеру воздействия на общественное развитие выделяется три основных эффекта; экономический, оборонный, социальный.

В связи с тем, что под эффектом НИОКР, в общем, подразумевают полезный результат, отдача её выполнения и последующего за тем внедрения, существует система количественных и качественных характеристик оценки разных видов эффектов.

Социальный эффект можно рассматривать как совокупность его основных разновидностей:

- социально-политический,
- социально научный,
- социально-культурный.

Социально-научный эффект в росте числа открытий, изобретений, увеличение суммарного объема научно-технической информации, полученной в результате выполнения НИОКР. За последние годы появилось предположение не только определять по количественной характеристике социального эффекта, но и по системе количественных показателей его оценки.

Элементом количественной оценки социально-научного эффекта следует определение научно-технического эффекта проекта по методике. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент социально-научного эффекта НИОКР:

$$H_r = \sum_{i=1}^4 r_i k_i \quad (23)$$

где r_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта, k_i – количественная оценка i -го признака.

Количественная оценка уровня новизны определяется на основе значений баллов. Теоретический уровень полученных результатов проекта определяется на основе значений баллов, приведенных в таблице 18.

Таблица 18 – Весовые коэффициенты признаков научно-технического эффекта

Признаки научно-технического эффекта	Примерные значения r_i
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,3
Масштабы реализации	0,3

Оценим по данной методике научно-технический эффект данной дипломной работы и сравним её по коэффициентам научно-технического эффекта с максимально и минимально возможным.

Таблица 19 – Баллы уровней новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	баллы
Принципиальное	По-новому или впервые улучшены известные факты, закономерности. Разработано существенное усовершенствование.	8-10
Новое	Разработано усовершенствование. Впервые упрощены расчеты. Разработаны более простые	5-7

	способы для достижения прежних результатов	
Относительно новое	Результаты исследований систематизируются и обобщаются имеющиеся сведения. Определяют пути дальнейшего исследования. Проведена рациональная частичная модификация	2-4
Традиционные	Работа выполнена по традиционной методике. Результат исследований носит информационный характер. Подтверждены или поставлены под сомнение известные представления, нуждающиеся в проверке.	1
Не обладающие новизной	Получен результат который был ранее известен.	0

Таблица 20 – Вероятность реализации научных результатов (теоретических работ) по времени и масштабу реализации

№	Время реализации	Баллы
1	В течение первых лет	5-10
2	От 5 до 10 лет	3-4
3	Более 10 лет	0-2

Таблица 21 – Масштабы реализации

№	Масштабы реализации	Баллы
1	Одно или несколько предприятий	0-2
2	Отрасль (министерство)	3-4
3	Народное хозяйство	5-10

Настоящая дипломная работа оценивается следующим образом:

- балл уровня новизны – 4
- балл значимости теоритического уровня – 5
- балл по времени реализации – 10
- балл по масштабам реализации – 3

Коэффициент научно-технического эффекта дипломной работы составляет:

$$HN_{rr} = 0,4 \cdot 4 + 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 2 = 5,2 \quad (24)$$

Максимальный возможный коэффициент:

$$NN_{TTmmax} = 10,4 \quad (25)$$

$$NN_{TTmin} = 1 \quad (26)$$

Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:

Работа была направлена на моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении их ионами гелия.

Из проделанных расчетов следует, что основные затраты на научно-техническое исследование приходятся на оплату труда исполнителей темы. Это связано с тем, что при выполнении данной работы ввиду ее особенностей отсутствовали, либо были минимизированы прочие затраты.

В ходе выполнения данной дипломной работы был составлен календарный план по НИОКР, рассчитана смета затрат на проект, общая сумма затрат на проект равна 307223,58 руб. Произвели оценку научно-технического эффекта НИОКР, которая получилась равной 5.2. При сравнении с максимальным коэффициентом $NN_{TTmmax} = 10,4$, пришли к выводу, что работа выполнена на среднем уровне.

Результатом исследования является получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия. Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации, связанные с ионообменными мембранами. В связи с обширным диапазоном практических приложений мембранные технологии быстро развиваются на целом ряде российских предприятий: ОАО «Пластполимер» (г. Санкт-Петербург), ООО «Инновационные предприятие «Мембранная технология» (г. Краснодар).

6 Социальная ответственность

Полимерные трековые мембраны (ТМ) изготовленные с применением ядерных технологий представляют собой пористый материал толщиной 10-20 мкм с очень гладкой гидрофобной поверхностью. В настоящее время они довольно широко используются в различных областях науки и техники (финишная доочистка питьевой воды, очистка воздуха в особо чистых помещениях, микроэлектроника, медицина и многое другое). Возможность задавать количество пор и контролировать их размеры обеспечили ТМ преимущества перед другими методами, в которых необходимо проводить прецизионную фильтрацию или разделение ионов в растворах.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование возможности применения пучков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов для получения трековых мембран, и установление физико-химических процессов: формирования треков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов, разработка технологии трековых мембран для фильтрации.

Целью данного раздела является анализ и оценка вредных и опасных факторов, которые могут оказать воздействие на персонал, занимающийся проведением исследований на экспериментальном стенде. Также рассмотрены вопросы, касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даны рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья

трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным

нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

6.1.2 Организация рабочего места исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации.

То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 38.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура – в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева);
- литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

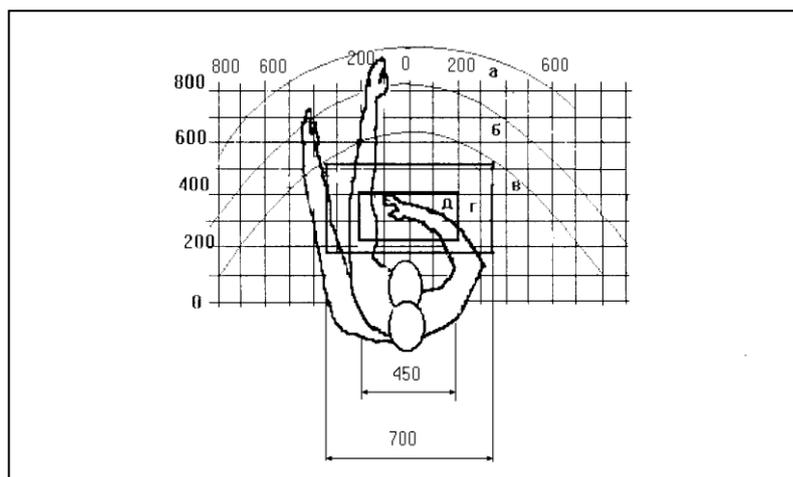


Рисунок 34 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [32].

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем [32].

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в

горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30° . Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [33].

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана [33]:

- по высоте 3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100–300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15° . Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели [33].

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов).

При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

6.2 Производственная безопасность

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов (таблица 4.1), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксперимент	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Превышения уровня шума	-	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
4. Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	-	-	+	СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы»..
5. Психофизиологические факторы	-	-	-	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. Химические вещества	-	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
7. Воздействие ионизирующих излучений	-	+	+	СП 2.6.1-758-99. Нормы радиационной безопасности, НРБ-99.

8. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	Требования к электрической безопасности устанавливается ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
---	---	---	---	---

В данном разделе рассмотрены условия работы на циклотроне Р-7М ФТИ ТПУ, выделены опасные и вредные производственные факторы, а также существующие средства и методы защиты, описаны организационные и технические мероприятия, проводимые перед началом работы.

Данная работа направлена на моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении их ионами аргона. Модифицирование пленки происходило радиационно-химическим способом. Для таких целей применялся циклотрон Р-7М, а также проводились химические реакции.

6.2.1 Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [34] и приведены в таблице 23.

Таблица 10 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	23-25	40	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. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция [34].

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 м/с, температура летом – 20-25°С, зимой – 13-15°С [34].

6.2.2 Шум и вибрация

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы, уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ [34].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной защиты (СКЗ) и средств индивидуальной защиты (СИЗ).

К СКЗ относятся:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

В качестве СИЗ:

- применение спецодежды, спецобуви;
- защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

6.2.3 Электромагнитное излучение

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более [34]:

- в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц – 25 нТл.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение при экранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

6.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

По нормативам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий) освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных;
- помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы;
- комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
- местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

6.2.5 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки). Трудовая деятельность работников непроизводственной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д.. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональных на активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»).

6.2.6 Химическая безопасность

Лаборатория, в которой проводились эксперименты, характеризуются наличием вредных для человеческого организма паров, газов и пыли различных химических веществ, таких, как уксусная кислота и хлор.

Ниже в таблице 11 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых химических веществ в воздухе помещения [35].

Таблица 11 – ПДК химических веществ

Наименование веществ	ПДК р.з., мг/м ³
Щелочи, NaOH	0,5
Серная кислота, хлор	1
Уксусная кислота, CH ₃ COOH	5

При работе в химической лаборатории необходимо соблюдать требования техники безопасности, обеспечивать нормальные условия работы.

Нормальные для работы условия в лабораториях обеспечиваются при создании приточно-вытяжной вентиляции, поддержании температуры воздуха в цехе в летнее время в пределах 18-20°C и хорошем освещении.

Используемый раствор серной кислоты и щелочи представляют собой едкие вещества, с особыми токсичными действиями. Вдыхание паров серной кислоты вызывает затруднение дыхания, кашель, поражая дыхательные пути и слизистые оболочки. Раствор щелочи, при попадании на кожу быстро проникает вглубь тканей, вызывает покраснение, образование пузырей.

При работе с серной кислотой и щелочью следует соблюдать следующие правила техники безопасности [35]:

- Хранить концентрированную кислоту (КК) и щелочи следует в вытяжном шкафу в прочной посуде на поддоне.
- Все работы с КК и щелочами нужно проводить в вытяжном шкафу.
- Разбавление кислот следует проводить в тонкостенной стеклянной или фарфоровой посуде, при этом кислоту следует приливать к воде небольшими порциями. Нельзя приливать воду к КК, так как в этом случае выделяется большое количество теплоты. Вода, как менее плотное вещество, вскипает на поверхности кислоты, и жидкость может быть выброшена из сосуда. Разливать кислоты следует обязательно через воронку, предохраняя глаза с помощью защитных очков.
- Нельзя добавлять концентрированную серную кислоту в толстостенные стеклянные приборы.

– Разбивание кусков гидроксида натрия следует производить в специально отведенном месте, предохраняя глаза с помощью защитных очков. При растворении куски щелочи можно брать только пинцетом или шпателем, но не руками. Растворение гидроксида натрия следует проводить небольшими порциями.

– Остатки кислот и щелочей сливают в специальную хорошо закрывающуюся и небующуюся пластмассовую емкость.

Таким образом, лабораторное помещение, помимо общей приточно-вытяжной вентиляции, должны быть оборудованы вентиляционными устройствами для отсоса воздуха из установки для УФО и установки для травления пленки. Рабочие столы и вытяжные шкафы, предназначенные для работы с кислотами и щелочами – должны быть покрыты антикоррозионным материалом. Перед уходом из лаборатории необходимо убрать за собой рабочее место, проверить выключены ли все нагревательные приборы, электроприборы.

6.2.7 Радиационная безопасность

Основные требования к защите людей от облучения в результате воздействия ионизирующего излучения и к безопасности источников излучения обычно излагаются в нормах радиационной безопасности. Основным сборником таких норм являются «Нормы радиационной безопасности НРБ-99».

Основными факторами радиационной опасности на циклотроне являются:

– пучки выведенных ускоренных частиц и сопутствующие им нейтроны, тормозное излучение, бета-частицы и рентгеновское излучение;

– в процессе работы ускорителя ускоренные частицы наводят на деталях ускорителя остаточную активность и детали продолжают испускать лучи и при выключенной машине;

- на взвешенных частицах пыли в воздухе образуются активные аэрозоли, которые могут попасть внутрь организма при вдыхании;
- выхлопные газы от форвакуумных насосов, которые могут быть радиоактивными;
- косвенные факторы: озон и оксиды азота, которые образуются в результате ионизации воздуха.

Радиационно-опасные места на циклотроне: ускорительная камера, выводной патрубков из ускорительной камеры, ионопроводы, фланцы, выводные окна каналов циклотрона, пробники тока пучка, дефлектор, дуанты.

Экспериментальные работы на циклотроне включают в себя работу, связанную с подготовкой мишени к облучению, работу во втором канале по ее установке и снятию, а также работу, связанную с дальнейшим измерением наведенной активности.

Облучение может быть внутренним или внешним и может происходить различными путями.

Внутренне облучение происходит, когда радионуклиды вдыхаются, поглощаются или иным образом попадают в кровообращение (например, в результате инъекции, ранения). Внутреннее облучение прекращается, когда радионуклид выводится из организма либо самопроизвольно (с экскрементами), либо в результате лечения.

Внешнее облучение может возникнуть, когда радиоактивный материал в воздухе (пыль, жидкость, аэрозоли) оседает на кожу или одежду. Такой радиоактивный материал часто можно удалить с тела простым мытьем.

Воздействие ионизирующего излучения может также произойти в результате внешнего излучения из соответствующего внешнего источника (например, такое как воздействие радиации, излучаемой медицинским рентгеновским оборудованием). Внешнее облучение прекращается в том

случае, когда источник излучения закрыт, или когда человек выходит за пределы поля излучения.

По отношению к облучению население делится на 3 категории.

Категория А облучаемых лиц или персонал (профессиональные работники) – лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений.

Категория Б облучаемых лиц или ограниченная часть населения – лица, которые не работают непосредственно с источниками ионизирующего излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию ионизирующих излучений.

Категория В облучаемых лиц или население – население страны, республики, края или области.

Для категории А вводятся предельно допустимые дозы – наибольшие значения индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год, при которой равномерное облучение в течение 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. Для категории Б определяется предел дозы.

Устанавливается три группы критических органов:

- 1 группа – все тело, гонады и красный костный мозг.
- 2 группа – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаз и другие органы, за исключением тех, которые относятся к 1 и 3 группам.
- 3 группа – кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени и стопы.

Дозовые пределы облучения для разных категорий лиц указаны в таблице 12.

Таблица 12 – Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения (бэр/год)

Категория лиц	Группы критических органов		
	1	2	3
Категория А, предельно допустимая доза (ПДД)	5	15	30
Категория Б, предел дозы (ПДД)	0,5	1,5	3

Организационные мероприятия, проводимые перед началом работы:

- к работе на циклотронной установке допускаются лица не моложе 18 лет;
- вводный инструктаж, проводимый научным руководителем при поступлении на циклотрон Р-7М;
- медицинское освидетельствование, которое не обнаружило медицинских противопоказаний для работы, связанной с источниками ионизирующего излучения;
- сдача экзамена по радиационной безопасности для получения допуска к работе, связанной с источниками ионизирующего излучения;
- прошедшие курс обучения по принципам работы с вычислительной техникой, специальное обучение по работе на персональном компьютере с использованием необходимого для работы программного обеспечения.

Для работ, проводимых на циклотроне, персоналу выдаются необходимые индивидуальные средства защиты (хлопчатобумажный халат, чепчик, обувь) и индивидуальный дозиметр.

Технические мероприятия, проводимые при подготовке мишени к облучению и при измерении наведенной активности уже после облучения:

- необходимо предупредить о начале работы с источником ионизирующего излучения всех работающих в данной лаборатории;
- перед началом работы с радиоактивными веществами необходимо тщательно подготовить рабочее место таким образом, чтобы сам работающий не подвергался облучению свыше предельно допустимой дозы (источники излучения разместить за защитными экранами,

предохраняющими их от случайных аварий). Соседние рабочие места также не должны подвергаться негативному воздействию ионизирующего излучения. На рабочем месте должно находиться минимально необходимое количество источников ионизирующего излучения, и только, то оборудование и приборы, которые нужны для проведения данной работы;

- перед началом работ необходимо убедиться в технической исправности используемого оборудования и приборов (категорически запрещается иметь на рабочем месте посторонние предметы и личные вещи);

- источники ионизирующего излучения открытого и закрытого типа, не используемые в работе, а также по окончании работы с ними, должны храниться в специально отведенных для этих целей и соответственно оборудованных хранилищах (помещение, сейф и т.п.);

- место хранения источников должно быть обозначено знаком радиационной опасности;

- после окончания работы рабочее место должно быть прибрано и дезактивировано до допустимых величин;

- в лабораториях, где проводятся работы с радиоактивными веществами, должна быть установлена контрольная дозиметрическая аппаратура для измерений загрязнений рук. Во время проведения работ с радиоактивными веществами эта аппаратура должна быть включена и находиться в рабочем состоянии.

Транспортировку радиоактивных источников внутри здания следует производить с соблюдением условий безопасности (в перчатках, в контейнерах, на специальных тележках) с учетом вида ионизирующих излучений и активности транспортируемых препаратов.

При правильно организованной работе вредное действие излучений можно свести к минимуму. Наоборот, пренебрежение правилами безопасности приводит к тяжелым последствиям, как для успеха всей выполняемой работы, так и для здоровья самого человека, а иногда и

нескольких людей. Следует помнить, что ликвидировать загрязнение радиоактивным веществом всегда труднее, чем предупредить эту опасность.

6.2.8 Электробезопасность

Электронасыщенность современного производства формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, электрифицированное оборудование и инструмент, вычислительная и организационная техника, работающая на электричестве [35].

Для проведения опытов использовали различные электрооборудования и электроприборы.

В данной работе исследования проводились на электроустановках с напряжением 220В, что вызывает опасности для жизни. Все электрооборудование и приборы находятся на специально отведенных местах и заземлены.

Правила работы с электрическими приборами в лаборатории [35]:

- Нельзя переносить с места на место включенные в электросеть приборы, а также ремонтировать электрооборудование, находящиеся под током.
- В случае перерыва в подаче тока все электроприборы следует немедленно выключить.
- При работе с легковоспламеняющимися жидкостями (стирол, толуол) допускается применять электронагревательные приборы только с закрытой спиралью с асбестовым покрытием.
- Все электронагревательные приборы должны быть размещены на термоизоляционном материале – асбестовом покрытии, керамических плитках и т.д.

Основными техническими средствами защиты являются защитное заземление и защитное отключение.

Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и к

другим нетоковедущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам. При этом все металлические нетоковедущие части электроустановок соединяются с землей с помощью заземляющих проводников и заземлителя.

Для заземления оборудования в первую очередь используют естественные заземлители: железобетонные фундаменты, а также расположенные в земле металлические конструкции зданий и сооружений.

Системой защитного отключения называется быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности пробоя на корпус.

Системы защитного отключения обеспечивают наибольшую электробезопасность при прикосновении к корпусам электроустановок. Но применяются они только в сочетании с защитным заземлением и защитным занулением.

Помещение, в котором проводится работа, относится к группе помещений без повышенной опасности: сухое (влажность воздуха не превышает 75%), не жаркое (температура не превышает 28 °С), токонепроводящими полами, без токопроводящей пыли. Все провода, подводящие напряжение к электрооборудованию, электроизолированы и находятся в заземленной металлической оплетке. Рубильник распределительного щитка имеет пластмассовый кожух. Также имеются отключающие автоматы. Выполнен контур защитного заземления из стальной полосы сечением 30 мм² по периметру помещения. Все электрические приборы в лаборатории заземлены.

6.3. Экологическая безопасность

В работе проводится исследование возможности применения пучков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов для получения трековых мембран. Влияние работы ПЭВМ на экологическое состояние планеты сложно недооценить. Наибольший вред от него в работе – потребление

электроэнергии. ПЭВМ не производит выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют серьезную проблему. Также стоит отметить, что при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением, ответственно относиться к утилизации различных устройств, т.к. они могут разлагаться в окружающей среде от десятков до сотен лет.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной ЧС при проведении исследований является возникновение пожара в рабочем помещении. Кроме того, ЧС может возникнуть при стихийных явлениях и техногенных авариях.

Согласно НПБ 105-95 (нормам пожарной безопасности), в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, так как содержит твердые сгорающие вещества.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Согласно требованиям пожарной безопасности на этаже находится два огнетушителя ОП-3, лестничные пролеты оборудованы гидрантами, имеется кнопка пожарной сигнализации. План эвакуации изображен на рисунке 35.

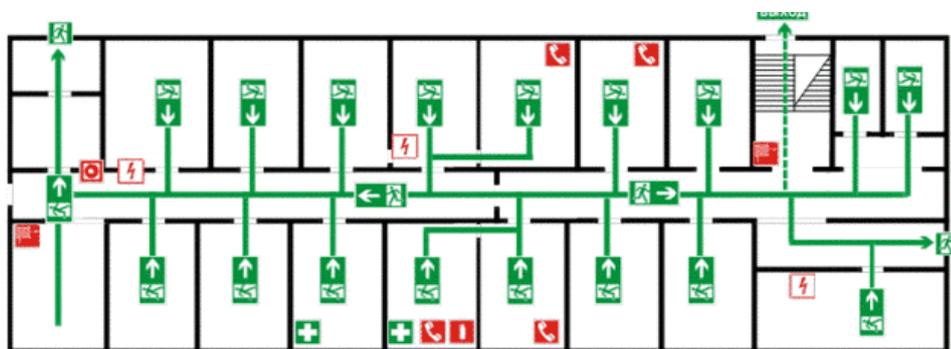


Рисунок 35 – План эвакуации

В целях предупреждения возникновения пожара в лабораториях проводятся следующие мероприятия:

- помещения постоянно содержатся в чистоте и порядке;
- курение разрешено только в специально оборудованных местах, где имеются урны и ванночки с водой; эти места обозначены табличкой “Место для курения”;
- проходы, выходы и лестницы постоянно содержатся в хорошем состоянии, не загромождаются и имеют свободный проход для людей и эвакуации оборудования лабораторий;
- все лаборатории и другие помещения обеспечены первичными средствами пожаротушения;

– работа в лаборатории с легковоспламеняющимися и горючими веществами без наличия проточно-вытяжной вентиляции строго воспрещается;

– запрещается в лаборатории оставлять без присмотра включенные приборы и оборудование.

В случае внезапного возгорания ни в коем случае нельзя паниковать, необходимо сразу принимать оперативные действия

- необходимо обесточить сеть, питающую прибор;

- изолировать источник возгорания;

- закрыть форточки (чтобы не возникал сквозняк, который может усилить процесс горения);

- устранить источник возгорания при помощи огнетушителя, вызвать пожарную часть.

В случае если нет возможности устранить источник возгорания самостоятельно, необходимо, по возможности, изолировать источник возгорания, вызвать пожарную часть, эвакуироваться.

Выводы по разделу социальная ответственность

В данном разделе были рассмотрены вопросы социальной ответственности, к которым относятся правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, а также безопасность в ЧС.

В первой части раздела рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

В подразделе «Производственная безопасность» проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования и которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, также рассмотрены мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

В подразделе «Экологическая безопасность» проведен обзор возможного влияния процесса исследования на окружающую среду, также рассмотрены мероприятия по защите окружающей среды.

В заключительном подразделе «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» проведен анализ вероятной чрезвычайной ситуации (ЧС), которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. Помимо этого, были рассмотрены мероприятия по пожарной профилактике, а также представлен ход действий в случае внезапного пожарного возгорания.

Выводы

1. Проведен обзор и анализ литературы и показано, что использование трековых мембран с заданными свойствами является актуальным направлением исследований.

2. Рассчитаны пробеги альфа-частиц и протонов, потери энергии после попадания в ПЭТФ пленку, а также проведены экспериментальные исследования на циклотроне Р-7М и получены образцы ТМ с размерами пор в диапазоне $50 \div 130$ нм и высокой пористостью $5 \cdot 10^7 \div 5,4 \cdot 10^{13}$ пор/см².

3. Разработана модель технологического процесса получения трековых мембран путем облучения альфа-частицами и протонами с последующим химическим травлением, и экспериментально показано, что сформированная ТМ по данной технологической модели может быть использована для разделения растворов солей.

4. Экспериментально получены зависимости диаметров пор от дозы облучения и времени травления, на основе которых разработана технология изготовления ТМ на основе ПЭТФ с высокой пористостью.

5. Исследованы оптические характеристики пленок на основе ПЭТФ после УФО и даны рекомендации для их использования в процессах разделения биологических жидкостей, ультрафильтрации растворов, очистки воздуха.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были получены образцы ТМ с порами $50 \div 130$ нм и разработана технология их изготовления, путем облучения пленок ПЭТФ пучками протонов и альфа-частиц, которая является коммерчески привлекательной и может быть использована при отсутствии тяжелых ионов.

Использование пучка альфа-частиц для получения трековых мембран, даёт высокую плотность пор 10^{13} пор/см², а предложенный метод позволяет увеличить толщину мембраны ≥ 100 мкм, что в свою очередь позволяет использовать ТМ также в процессах очистки растворов, когда мембрана подвергается воздействию высокого давления.

Список литературы

1. Кравец Л. И., Дмитриев С.Н., Апель П. Ю. Получение и свойства полипропиленовых трековых мембран. – 1997. – С. 1-12.
2. Митерев А. М. Теоретические представления о формировании и эволюции треков заряженных частиц //Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – №. 10. – С. 1131-1164.
3. Pabby A. K., Rizvi S. S. H., Requena A. M. S. (ed.). Handbook of membrane separations: chemical, pharmaceutical, food, and biotechnological applications. – CRC press, 2015.
4. Исток-01 и Исток-02. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/departments/laboratory/lprv/science/Tab1>.
5. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом [электронный ресурс]. [Phhttp://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/pm01.htm](http://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/pm01.htm).
6. Katz R., Kobetich E. J. – Physical review, – 1968. – Т. 170. – №. 2. – С. 391-396; – С. 401-405.
7. Каплан И.Г., Митерев А.М. // Химия высоких энергий. 1985. Т. 19. № 3. С. 208.
8. Waligorski M. P. R., Hamm R. N., Katz R. The radial distribution of dose around the path of a heavy ion in liquid water //International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements. – 1986. – Т. 11. – №. 6. – С. 309-319.
9. Apel P. Y., Pretzsch G. Investigation of the radial pore-etching rate in a plastic track detector as a function of the local damage density around the ion path//International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements. – 1986. – Т. 11. – №. 1-2. – С. 45-53.
10. Денисов С. П. Ионизационные потери энергии заряженных частиц//Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №. 11. – С. 90-96.
11. Fleischer R. L., Price P. B., Walker R. M. Nuclear tracks in solids:

principles and applications. – Univ of California Press, 1975.–С. 20.

12. Vater P. Production and applications of nuclear track microfilters //International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements. – 1988. – Т. 15. - №. 1-4. – С. 743-749.

13. Вторичная ионизация [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ihem/ihem02.htm#2.5>.

14. Cucinotta F. A. et al. Radial dose distributions in the delta-ray theory of track structure //AIP Conference proceedings. – AIP, 1996. – Т. 362. – №. 1. – С. 245-265.

15. Bhagwat A. M. Solid State Nuclear Track Detection: Theory and Applications. – 1993. – С. 12.

16. Baker R. W. Membrane technology and applications //John Wiley & Sons, Ltd. – 2004.

17. Ярославцев А. Б. Мембраны и мембранные технологии //М.: Научный мир. – 2013. – С. 126-163.

18. Мchedlishvili Б.В., Березкин В.В., Олейников В.А. и др.// Кристаллография, 2006. Т.51. № 25. С.169.

19. Apel P. Track etching technique in membrane technology //Radiation Measurements. – 2001. – Т. 34. – №. 1. – С. 559-566.

20. Третьякова С. П. Диэлектрические детекторы и их использование в экспериментальной ядерной физике //Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1992. – Т. 23. – №. 2, – С. 366-384.

21. Vilensky A. I. et al. Polyimide track membranes for ultrafiltration and microfiltration //Polymer science. – 1994. – Т. 36. – №. 3. – С. 391-400.

22. ГОСТ 24234-80 Пленка полиэтилентерефталатная. Технические условия. – С. 3.

23. Полиэтилентерефталат. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/полиэтилентерефталат>.

24. Ярославцев А. Б. Мембраны и мембранные технологии //М.:

Научный мир. – 2013. – С. 126-163.

25. Bhagwat A. M. Solid State Nuclear Track Detection: Theory and Applications. – 1993. – С. 12.

26. Track-etched membranes [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hahnemuehle.com/fileadmin/user_upload/bilder/filtration/pdf/FILTRATION_Flyer_6seiter_TEM_Track_Etched_Membranes_EN.pdf.

27. Kravets L. I., Dmitriev S. N., Apel P. Y. Production and properties of polypropylene track membranes //Collection of Czechoslovak chemical communications. – 1997. – Т. 62. – №. 5. – С. 752-760.

28. Komaki Y. et al. Heavy ion track microfilter of polyimide film //Polymer communications. – 1989. – Т. 30. – №. 2. – С. 43-44.

29. Сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-1000. [электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/05/09/Hitachi_TM1000_SEM_USERMANUAL_v1.pdf.

30. Атомно-силовой микроскоп Интегра-Терма-Прима (NT-MDT). [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ntmdt-si.ru/modular-afm/prima>.

31. Денисов С. П. Ионизационные потери энергии заряженных частиц //Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №. 11. – С. 90-96.

32. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. – Введ. 1976.01.01. – М.: 1976, 34 с.

33. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Введ. 01.01.76.- М: 1976, 7 с.

34. ГОСТ 12.1.019-2009/ ССБТ. Электробезопасности. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2011.01.01. – М.: 2011, 13 с.

35. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие

требования[Текст]. – Введ. 02.06.1994. – М.: Издательство стандартов, 2001.