

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

---

Школа Ядерных технологий

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ) Отделения ядерного топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Трековая мембрана с полупроницаемыми слоями для электромембранного разделения сольватированных ионов солей щелочных металлов в полярных диэлектриках

УДК 669.88.049.081.6.093.1:

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Гришаев Вячеслав Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник НЛ ИАТ ИЯТШ НИ ТПУ	В.В. Сохорева	-		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Н.В. Черепанова	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	П.Н. Бычков	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Общекультурные компетенции</b>	
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-управленческих 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.
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; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
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.

<b>Код Результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>	
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.

<b>Код Результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
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 образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Бычков П.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Гришаеву Вячеславу Юрьевичу

Тема работы:

Трековая мембрана с полупроницаемыми слоями для электромембранного разделения сольватированных ионов солей щелочных металлов в полярных диэлектриках

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Изучить основные представления о технике и методах физического эксперимента;</li><li>- Освоить работу с измерительными приборами;</li><li>- Изучить современные экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований по заданной проблеме;</li><li>- Провести облучение полимера ПЭТФ высокоэнергетичными ионами гелия на циклотроне ИЯТШ;</li><li>- Сформировать сквозные ассиметричные треки в ПЭТФ;</li><li>- Определить радиусы сольватированных ионов Са и Mg;</li><li>- Провести расчёт, обобщение экспериментальных данных, сделать вывод о результатах эксперимента;</li><li>- Представить ВКР по теме исследований.</li></ul>

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>- Изучить основные закономерности процессов химического травления плёнок полиэтилентерефлата облучённого ускоренными тяжёлыми ионами аргона;</p> <p>- Получить экспериментальные образцы полиэтиленфталатных трековых мембран с цилиндрическими и асимметрическими порами;</p> <p>- Исследовать процесс электромембранного разделения сольватированных ионов <math>\text{CaCl}_2</math> и <math>\text{MgCl}_2</math>.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>- Презентация</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Н.В. Черепанова</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Т.С. Гоголева</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Нет</p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Старший научный сотрудник НЛ ИАТ ИЯТШ НИ ТПУ</p>	<p>В.В. Сохарева</p>	<p>-</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>0А4Д</p>	<p>Гришаев Вячеслав Юрьевич</p>		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А4Д	Гришаеву Вячеславу Юрьевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Техническая физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности научного исследования	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Формирование плана и графика разработки научного исследования	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. Составление бюджета научного исследования	Бюджет научно – технического исследования: - Расчет материальных затрат; - Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ; - Основная заработная плата исполнителей темы; - Отчисления на социальные нужды; - Накладные расходы; - Формирование бюджета затрат.
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

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

1. «Портрет» потребителя результатов НИИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НИИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
8. Потенциальные риски

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Н.В. Черепанова	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Гришаев Вячеслав Юрьевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А4Д	Гришаев Вячеславу Юрьевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Техническая физика

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной природы).</li> </ul>
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– требования охраны труда при работе на ПЭВМ;</li> <li>– электробезопасность;</li> <li>– Пожаровзрывобезопасность.</li> </ul>

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

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</li> </ul>
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ИЯТШ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А4Д	Гришаев Вячеслав Юрьевич		

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

Школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Уровень образования высшее

Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата Контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
5.02.2018	Поиск и исследование литературы по теме ВКР	12
19.02.2018	Подбор, изучение и проработка практических материалов. Написание 1 главы ВКР	15
26.03.2018	Написание 2 главы и 3 глав ВКР	15
18.04.2018	Проведение экспериментов, получение экспериментальных результатов	15
4.05.2018	Оценка результатов исследований, заключение	15
10.05.2018	Подготовка и оформление главы ВКР – Социальная ответственность	10
21.05.2018	Подготовка и оформление главы ВКР – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
25.05.2018	Оформление выпускной квалификационной работы	5
05.06.2018	Подготовка доклада для защиты ВКР	3

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник НЛ ИАТ ИЯТШ НИ ТПУ	В.В. Сохорева	-		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	П.Н. Бычков	к.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 91 с., 30 рис., 17 табл., 12 источников.

Ключевые слова: мембрана, асимметричная мембрана, латентные треки, сквозные поры, электрическое поле, разделение, полимер.

Объектом исследования являются асимметричные трековые мембраны (ТМ) из полиэтилентерефталатных (ПЭТФ) и влияние электрического поля на разделение растворов солей при помощи мембранной фильтрации.

Цель работы – Создание трековой асимметричной биполярной мембраны и исследование возможности электромембранного безреагентного разделения солей различных металлов.

Проведённые исследования показали возможность безреагентного мембранного разделения сольватированных ионов близких кристаллических радиусов отличающихся радиусами гидратных оболочек, при приложении внешнего электрического поля. На основании этих исследований можно предположить, что этот метод можно будет также использовать для разделения лантаноидов, например, лютеция и иттербия, которые могут быть использованы для лечения костных тканей и опухолей.

Область применения: химическая очистка и разделение растворов малых концентраций.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

**Редкоземельные элементы:** Химические элементы III группы периодической системы Менделеева: Sc<sup>21</sup>, Y<sup>39</sup>, La<sup>57</sup> и 14 элементов семейства лантаноидов – Ce<sup>58</sup>, Pr<sup>59</sup>, Nd<sup>60</sup>, Pm<sup>61</sup>, Sm<sup>62</sup>, Eu<sup>63</sup>, Gd<sup>64</sup>, Tb<sup>65</sup>, Dy<sup>66</sup>, Ho<sup>67</sup>, Er<sup>68</sup>, Tm<sup>69</sup>, Yb<sup>70</sup>, Lu<sup>71</sup>.

**Сольватация ионов:** взаимодействие ионов с молекулами растворителя, приводящее к образованию сравнительно прочных ассоциатов – сольватированных ионов.

**Гидратная оболочка:** это слой молекул воды, определённым образом ориентированных на поверхности белковой молекулы.

**Лиганд:** атом, ион или молекула, связанные с неким центром (акцептором).

**Акцептор:** это объект, получающий (принимающий) что – либо от другого объекта, называемого донором.

**РЗЭ** – редкоземельные элементы;

**ПСА** – простатический специфический антиген;

**ТМ** – трековые мембраны;

**АСТМ** – асимметричные трековые мембраны;

**БМ** – биполярные мембраны;

**ПЭТФ** – полиэтилентерефталат

**SRIM** – The stopping and Range of Ions in Matter

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	18
1.1 Трековые мембраны.....	18
1.2 Потери энергии и пробег ускоренных ионов в полимерной плёнке .....	20
1.3 Формирование латентных треков в полимерах при облучении заряженных частиц и методы их исследования.....	21
1.4 Химическое травление латентного трека тяжелого иона .....	22
1.5 Структура и размеры трека при химическом травлении .....	24
1.6 Методы модификации поверхности полимерных мембран .....	25
1.7 Механизм электромембранного разделения неорганических растворов при действии внешних электрических полей .....	27
1.7.1 Массоперенос через мембраны .....	28
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	30
2.1 Полимеры.....	30
2.2 Облучение ускоренными ионами.....	31
2.3 Сенсбилизация латентных треков в полимере.....	32
2.4 Травление облученных полимеров .....	33
2.5 Спектрофотометрический метод.....	34
2.6 Измерение толщины и силы трения мембран .....	35
2.7 Электронно-микроскопические методы анализа.....	35
2.8 Экспериментальная установка для измерения проводимости .....	36
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ .....	39
3.1 Расчет потерь энергии и пробега ионов в полимере .....	39

3.2	Расчет поглощенной дозы при облучении ионным пучком.....	43
3.3	Вычисление потерь энергий и пробегов ионов $Ar^{8+}$ в полимере ПЭТФ	45
3.4	Получение латентных треков в ПЭТФ плёнке с помощью циклотрона типа Р-7М.....	48
3.5	Формирование сквозных пор в облучённой плёнке.....	49
3.6	Определение плотности пор .....	51
3.7	Исследование микроструктуры мембран методами электронно- микроскопического анализа.....	52
3.8	Исследование полупроводящих свойств мембраны .....	56
3.9	Исследование процесса электромембранного разделения ионов $CaCl_2$ и $MgCl_2$ в растворе с помощью асимметричной трековой мембраны.....	61
4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	63
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	63
4.2	SWOT-анализ.....	64
5	ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ.....	67
5.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	67
5.2	Определение трудоёмкости выполнения работ .....	68
5.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	69
5.4	Бюджет научно – технического исследования (НТИ).....	71
5.4.1	Расчёт материальных затрат НТИ.....	71
5.4.2	Основная заработная плата исполнителей темы .....	72
5.4.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страхование).....	74
5.4.4	Накладные расходы .....	75
5.4.5	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	76

5.4.6 Вывод .....	76
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	77
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	77
6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ...	79
6.2.1 Организационные мероприятия .....	79
6.2.2 Технические мероприятия.....	79
6.3 Условия безопасной работы .....	82
6.4 Электробезопасность .....	84
6.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	85
ЗАЛЮЧЕНИЕ .....	88
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	90

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значительное внимание уделяется изучению свойств композиционных мембран, в том числе, бислойных мембран, особенностью строения которых является наличие двух слоев с различными по химической структуре и свойствам функциональными группами. Так, к бислойным мембранам относятся биологические мембраны, мембраны с модифицированной поверхностью, ионитовые мембраны, которые состоят из двух катионитовых или двух анионитовых слоев разной природы, а также биполярные мембраны, которые состоят из двух слоев с антиполярной проводимостью. Основной отличающийся особенностью таких мембран является анизотропия их структуры и физико-химических свойств, что приводит к эффектам асимметрии транспортных свойств. Наибольший интерес вызывает изучение свойств биполярных мембран (БМ). Потому что они имеют уникальные свойства. Так, при определенной ориентации в электрическом поле БМ генерируют ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , что позволяет использовать их для получения кислот и щелочей, а также для осуществления других химических превращений с участием ионов водорода и гидроксила.

Для биполярных мембран, характерно присутствие катионов в катионообменных и анионообменных слоях, что приводит впоследствии к загрязнению получаемых продуктов ионами соли. Изменяя толщины монополярных слоев биполярных мембран, возможно управлять данным процессом. Мембраны, с различными катиона- и анионообменными слоями будет называть асимметричными биполярными мембранами (АСБМ). При нанесении на поверхность полимерной мембраны слой антиполярного ионполимера позволяет сохранить проницаемость и способность разлагать воду. Достоинством асимметричных биполярных мембран (АСБМ) является вероятность регулирования функциями транспорта ионов солей и образование продуктов при диссоциации воды при этом подбирая толщины одного из слоёв, составляющих асимметрично биполярных мембран.

Наличие у асимметричных биполярных мембран (АСБМ) выпрямляющих свойств приводит к созданию на их основе полупроводниковых устройств. Способность селективно пропускать ионы в зависимости от знака и величины заряда делает возможным их использование при создании различного рода химических сенсоров. Поэтому несомненный интерес представляет разработка новых методов получения асимметричных биполярных мембран (АСБМ) и усовершенствования уже известных.

Цель работы: исследование электромембранного разделения солей металлов с применением биполярных асимметричных трековых мембран.

В соответствии с поставленной целью было необходимо провести следующие исследования:

1. Изучить основные закономерности процессов химического травления плёнок политилентерефлата облучённого ускоренными тяжёлыми ионами аргона, получить экспериментальные скорости травления треков и основы ПЭТФ;

2. Получить экспериментальные образцы полиэтиленфталатных трековых мембран с цилиндрическими и асимметрическими порами, и изучить их селективные свойства;

3. Исследовать процесс электромембранного разделения сольватированных ионов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$ .

# 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Трековые мембраны

Мембраны представляют собой новое поколение трековых мембран, которые обеспечивают высокие тактико-технические характеристики, чем аналоги, которые существуют. Преимуществом трековым мембран является высокая пористость, селективность, достигаемые за счёт совершенства микроструктуры – изотопного распределения треков в заданном интервале телесных углов и калиброванного размера пор цилиндрической формы.

Трек – это область радиационных разрушений, своеобразный след, оставляемый заряженной частицей при прохождении через твёрдое тело.

Трековая мембрана – это полупроницаемая пористая мембрана, макроструктура которой формируется облучением с последующей физико-химической обработкой зон, повреждённых при облучении, до образования пор заданного диаметра.

Мембраны подразделяются на:

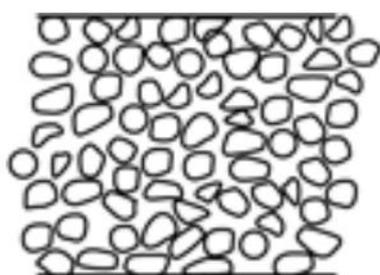
- однородные;
- асимметричные;
- композитные.

Однородные мембраны могут быть пористыми или плотными. Также, мембраны по всей толщине имеют однородный состав.

Асимметричные трековые мембраны (АСТМ) могут иметь как однослойную (с ассиметричными диаметрами пор на входе и выходе), так и двухслойную структуру, которая состоит из полупроницаемой плёнки на поверхности трековой основы. Диапазон размеров пор в пористых мембранах различных типов лежит в пределах от  $15 \cdot 10^{-10}$  до  $10^{-5}$  м.

Также мембраны разделяются на: пористые, непористые, симметричные (изотропные), асимметричные (анизотропные), составные, композиционные, импрегнированные (рисунок 1-2).

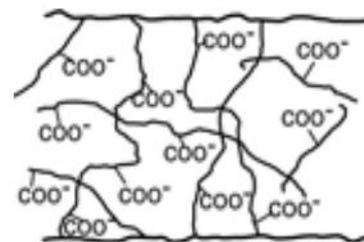
Симметричные мембраны различаются по агрегатному состоянию. Они могут быть твёрдыми и жидкими и различаться по природе основного мембранного материала. Например, мембраны из материала животного происхождения, то есть биологические мембраны. Также мембраны могут отличаться по форме пор. Поры асимметрично трековых мембран (АСТМ) могут быть плоские, трубчатые или конусные, половоконные и капиллярные мембраны.



Изотропная пористая мембрана

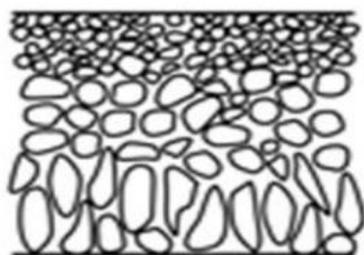


Непористая (плотная) мембрана

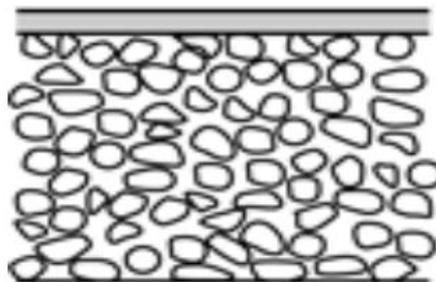


Заряженная мембрана

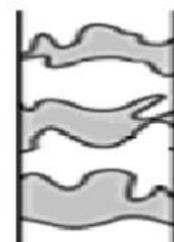
Рисунок 1 – Схематическое изображение структуры симметричных мембран



Анизотропная мембрана



Тонкоплёночная композитная мембрана



Жидкая мембрана на пористой подложке

Рисунок 2 – Схематическое изображение структуры ассиметричных мембран

Размеры пор трековых мембран лежат в диапазоне от нескольких единиц до нескольких сот нанометров. В последнее время трековые мембраны применяются для очистки природных вод, жидкостей и газов.

Используя трековые мембраны с диаметром 0,2 – 0,4 мкм для фильтрации можно быть абсолютно уверенным, что ни одна бактерия или микрочастица, несмотря на то, что превышает этот размер, она не проскочит через фильтр.

## 1.2 Потери энергии и пробег ускоренных ионов в полимерной плёнке

Для образования латентных треков ионы аргона двигаясь, вещества теряют энергию. С уменьшением скорости иона время его пребывания вблизи атома увеличивается вероятность ионизации, и потери быстро растут.

В соответствии с определением макроскопического дифференциального сечения величина  $n_0 = \frac{d\sigma}{dQ} = \Sigma(E; Q)$  – это дифференциальное сечение рассеяния с энергией  $E_0$  при переданной энергии ( $Q$ ). Оно равно среднему числу столкновений на единице пути с потерей энергии  $Q$  в каждом. Но тогда  $Q \Sigma(E; Q)$  – это средняя энергия, потерянная частицей на единице пути в веществе при столкновениях. Учитывая столкновения с различными потерями энергии, получим следующее выражение:

$$-\frac{dE}{dx} = \int_0^{Q_{\max}} Q \Sigma(E; Q) dQ, \frac{MэВ}{см} \quad (1)$$

Изменения энергии частиц при движении в веществе от начальной энергии  $E_0$  до 0 примет следующий вид:

$$R_0(E_0) = \int_0^{E_0} \frac{dE}{(-dE / dx)} \quad (2)$$

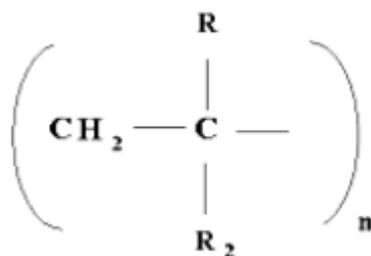
который называется средним пробегом частицы с энергией  $E_0$  в веществе.

Величина  $R(E_0)$ , которая вычисляется со средними потерями энергии на единице пути, имеет одно и тоже значение для всех частиц с энергией  $E_0$ . Но число столкновений, которое испытывает каждая частица с атомами вещества различное и потерянная энергия в каждом столкновении, значит, и пробеги

частиц в веществе должны отличаться друг от друга.  $R(E_0)$  определяет среднюю длину пути, который прошла бы частица в процессе замедления в неограниченной и однородной среде при условии, что она непрерывно теряет энергию вдоль всего пути в соответствии с тормозной способностью  $(-dE/dx)$ .

### 1.3 Формирование латентных треков в полимерах при облучении заряженных частиц и методы их исследования

Тяжёлый ион, проходя через плёнку, облучённую ускоренными ионами, образует радиационное повреждение. В полученных каналах в результате радиационного повреждения, молекулы, облучаемого полимера разрываются и распадаются на радикалы. При этом изменяется химическая связь при разрыве или сшивке молекулярных цепей. К разрыву подвержены полимеры, имеющие такую структуру:



При взаимодействии тяжёлого иона с облучаемым веществом, тяжёлый ион теряет энергию, образуя при этом радиационное нарушение вещества вдоль трека. В результате данного воздействия формируется область с изменённой структурой вещества, которая обладает химической растворимостью. Образовавшаяся область называется латентным треком. Полимер является стабильным. При воздействии температуры и влажности среды, область латентного трека сохраняется в течении нескольких лет. Разрыв молекулярных цепей происходит вследствие изменения свойств вещества в латентном треке. Это приводит к уменьшению температуры размягчения, ухудшению механических свойств. Так как полимер является чувствительным к изменениям химической структуры это приводит к модификации полимера. При этом модифицированный полимер будет

различаться от исходного полимера прочностью, вязкостью. Дальнейшее воздействия химическими травителями на полимеры сквозными латентными треками приводит к образованию конических или цилиндрических форм пор.

Известна трековая мембрана, образованная сквозными цилиндрическими порами. Ядерные трековые мембраны со сквозными цилиндрическими порами имеют диапазон диаметров пор 0,1 – 1 мкм. Такие трековые мембраны не подходят для процессов ультра – и нанофильтрации. Избирательное растворение деструктированного ионизацией материала превращает исходную плёнку в микрофильтрационную мембрану со сквозными порами цилиндрической формы, то есть при последующем травлении отработанной ионами плёнки в растворе щелочи на месте треков образуются строго одинаковые сквозные отверстия – поры.

Для разделения высокомолекулярных соединений и деминерализации воды нужны мембраны с селективным слоем, у которых поры в диапазоне 0,5 – 10 нм. Такая мембрана может быть создана на основе трековой мембраны с асимметричной структурой пор.

#### **1.4 Химическое травление латентного трека тяжелого иона**

Химическое травление – это процесс образования пор. При химическом травлении поврежденная зона латентного трека удаляется и трансформируется в полый канал. При подходящих условиях химически модифицированный материал вдоль ионной траектории в полимере растворяется с большей скоростью, чем необлученный материал.

Количественная зависимость между скоростью травления вдоль трека  $V_T$ , скоростью травления неповрежденного полимера  $V_B$ , и характеристикой  $X$  тяжелого заряженного иона часто аппроксимируется эмпирическим соотношением:

$$\frac{V_T}{V_B} = 1 + aX^b \quad (3)$$

где в качестве  $X$  могут выступать  $dI/dx$ , линейная передача энергии (ЛПЭ),  $(Z_{eff}/\beta)^2$ .

Процесс травления, протекающий вдоль ионной траектории в полимере, показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схематическая модель процесса травления трека

Угол конуса или угол открытия поры определяется выражением

$$\vartheta = \arcsin \frac{V_B}{V_T} \quad (4)$$

Таким образом, поры различной геометрии могут быть получены путем изменения избирательности травления: чрезвычайно высокое отношение  $V_T/V_B$  приводит к цилиндрической геометрии пор ( $\vartheta \sim 0$ ), а  $V_T/V_B \geq 2$  приводит к порам биконической формы ( $\vartheta > 0$ ).

В радиационной химии потери энергии бомбардирующего иона предпочитают называть линейной передачей энергии (ЛПЭ). Избирательность травления треков обычно увеличивается с увеличением ЛПЭ, однако при очень высоких значениях ЛПЭ (близких к 10 кэВ/нм и выше) эта функция имеет тенденцию к насыщению или даже может показывать максимум.

## 1.5 Структура и размеры трека при химическом травлении

Энергичные ионы создают изменения в материале вдоль своей траектории, при прохождении через вещества. Эти изменения, структурные и химические, изменяют свойства материала. Проходя через вещество, заряженный ион взаимодействует с электронами среды, передавая им часть своей кинетической энергии. Как показана на рис.3, зона, в которой происходит первичная ионизация, имеет диаметр порядка 10 нм и называется сердцевинной трека [25].  $\delta$  – электроны (вторичная ионизация) вызывают образование радиационных дефектов в оболочке трека, имеющей поперечный размер порядка 100 нм [25]. Эти области могут подвергаться химическому воздействию. При химическом травлении поврежденная зона латентного трека удаляется и трансформируется в полый канал. В этом этапе определяются размер пор и форма пор в полимере.

Простейшее описание геометрии пор основано на двух параметрах – скорость травления вдоль трека ( $V_T$ ) и скорость травления неповрежденного полимера ( $V_B$ ). Соответствующая иллюстрация приведена на рисунке 4.

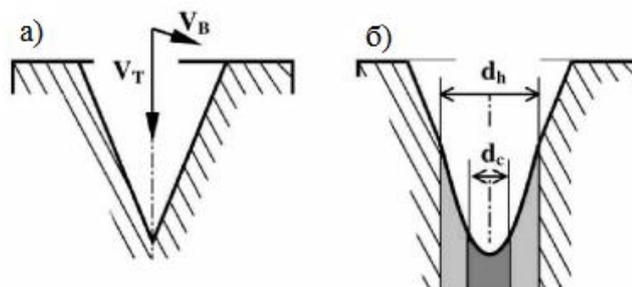


Рисунок 4 – Геометрия формирования пор

а) – в изотропной однородной среде. б) – на нанометровом уровне

Коническая форма пор преобразуется в цилиндрическую форму при  $V_T \gg V_B$ . Форма острия фигуры травления зависит поперечных размеров сердцевинны трека ( $d_c$ ) и оболочки трека ( $d_h$ ) (рис.4 б)). Скорость травления неповрежденного полимера ( $V_B$ ) зависит от большего числа факторов, таких

как: чувствительность к материалам, условия облучения, условия после облучения и условия травления.

## **1.6 Методы модификации поверхности полимерных мембран**

На сегодняшний день мембранные процессы применяются во многих областях науки и техники. К таким как газоразделение, разделение и выделение ионов в растворах, фильтрация биологически активных веществ и обессоливание воды.

Среди множества мембран, используемых в таких процессах, важное место занимают полимерные мембраны. Но не всегда свойства таких мембран способствует требованиям технологических процессов. Для экспансии сферы применения производимых мембран осуществляются работы по модифицированию их свойств.

Модификация это изменение состава и структуры полимерного материала, улучшающая их свойства. Модификацию можно разделить на структурную и химическую. При структурной модификации происходит изменение структуры материала, при этом состав поверхности полимера остаётся без изменения. В случае химической модификации происходит изменение химического строения поверхностного слоя полимера при введении в макромолекулы различные фрагменты иной природы.

Существуют различные методы модификации свойств полимерных материалов на основе физических и химических воздействий. К наиболее часто используемым методам модификации относят обработку полимеров травящими растворами или парами реагентов, тепловую обработку, обработку с помощью плазмы или пламени, а также прививку мономера на её поверхность. Для проведения модификации в качестве активных агентов используют потоки электронов, ионов или нейтральных молекул, радикалы, или возбуждённые частицы, а также различные излучения, стимулирующие

протекание химических реакций в поверхностных слоях материалов. Путём модификации поверхности создают эффективные защитные покрытия, улучшают механические свойства образующихся композиционных материалов, изменяют в нужном направлении смачиваемость, а также сорбционные, адгезионные и электрические характеристики материалов.

Наиболее простым и часто используемым методом модификации поверхности является обработка химическими реагентами. Травление полимеров обычно приводит к образованию тонкого поверхностного модифицированного слоя с большим числом реакционноспособных групп. При проведении модификации для каждого полимера подбирают соответствующий травящий раствор и оптимальные условия травления.

Наибольшее распространение для модификации поверхности полимерных мембран получил метод обработки в низкотемпературной плазмы, важным преимуществом которого является возможность модификации свойств тонкого поверхностного слоя, приводящего к изменению целого ряда свойств мембран – адсорбционные, транспортные и селективные, поскольку он позволяет существенно расширить области использования мембран. Основная масса матрицы мембран при обработке в плазме при этом не изменится, что, несомненно, важно с точки зрения сохранения их механических и физико-химических свойств. Модификация поверхности полимерных материалов с помощью низкотемпературной плазмы зависит от способа создания плазмы, давления и состава газа, температуры обрабатываемой поверхности, мощности разряда, продолжительности его воздействия и ряда других параметров. Низкотемпературная плазма может быть создана при помощи низкочастотного (НЧ), высокочастотного (ВЧ) и микроволнового (СВЧ) разрядов, а также разряда постоянного тока. Для создания плазмы при помощи тлеющего разряда в системе требуется поддерживать небольшой вакуум, поэтому такой способ применяется чаще для исследовательских целей. В промышленности же для быстрой модификации поверхности полимерных

материалов используется коронный разряд при атмосферном давлении или ВЧ-разряд.

### **1.7 Механизм электромембранного разделения неорганических растворов при действии внешних электрических полей**

Магнитные поля используются для очистки морской воды на мембранном модуле от коллоидных твёрдых частиц и биологических загрязняющих примесей. Это позволяет снизить энергетические затраты на 18%, а также ускорить процесс очистки воды. Под действием магнитных полей ускоряются коагулирование и соосаждения примесей.

Ионитовые мембраны это полиэлектролиты (набухшие плёнки) с положительными или отрицательными зарядами. Плотность зарядов внутри малкомолекулы создаёт пространственный заряд. В мембране, как известно, содержится небольшое количество подвижных ионов с одинаковым знаком заряда, которые называются катионами. При взаимодействии мембраны с разбавленным раствором катионы не участвуют в переносе тока.

Действия на мембрану постоянного электрического поля способствует направленному движению противоионов и электромиграцию. Мембрана при полностью вымокшем состоянии является проводником. Удельное сопротивление  $R$  изменяется в диапазонах двух порядков: от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $2 \cdot 10^{-2}$  (Ом·см)<sup>-1</sup>.

В сухом состоянии мембраны не проводят ток, и их относят к диэлектрикам:  $R = 10^{-7} - 10^{-6}$  (Ом·см)<sup>-1</sup>.

Одной из важнейших электрохимических свойств электромембран является селективность.

Таким образом, можно сказать, что высокая электропроводность и идеальная селективность мембран является основным транспортным свойством, обеспечивающие высокую производительность электромембранного процесса разделения.

### 1.7.1 Массоперенос через мембраны

Влияние внешнего поля на раствор возбуждает массоперенос в объёме раствора. Различие электроинерционных свойств сольватированных ионов приводит к изменению структуры раствора, и в его области формируется области содержанием нескольких типов ионов. В результате через некоторое время в каждой из областей пробоотбора образуются сольватированные ионы одного типа. После этого раствор становится обогащённым ионами одного из двух типов в определённой области. Создаются условия для отбора из объёма раствора смеси двух солей только тех ионов, которые необходимы. Для этого необходимо производить отбор из «подходящей» точки в объёме раствора.

В порах мембраны перенос вещества осуществляется конвективным потоком, а в сплошном материале мембраны – диффузионным потоком.

Конвективный перенос достаточно правильно описывается уравнением Хагена Паузейля:

$$G_k = \frac{\varepsilon \cdot r^2 \cdot \Delta P}{8\eta \cdot \tau \cdot l} \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  - пористость поверхности мембраны, то есть отношение площади пор к площади мембраны;

$\eta$  – вязкость проникающей жидкости;

$\tau$  - фактор извилистости пор, который увеличивает длину пути;

$l$  - толщина мембраны;

$\Delta P$  - разность давлений по обе стороны мембраны.

Диффузия происходит в результате беспорядочного движения молекул (рисунок 5)

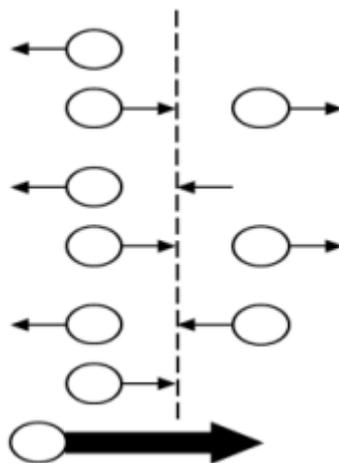


Рисунок 5 – Диффузионный поток

Из рисунка 5, видно, что наблюдается перенос из – за разности концентраций растворов по обе стороны мембраны. При повышении давления не произойдёт перенос ионов через мембрану, а в случае газа перенос усилится вследствие повышения концентрации.

## 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Полимеры

Выбор использованного материала с целью производства трековых мембран основан на ряде требований. Главными считаются: доступность материала, значительная прочность, химическая надежность, устойчивость механических свойств в широком диапазоне температур, дешевизна и другие. При учете данных требований ПЭТФ является приемлемым материалом для изготовления трековых мембран.

Основные характеристики Полиэтилентерефталатной пленки (ПЭТФ):

- Прочная, очень гибкая и долговечная пленка
- При растяжении, пленка ПЭТФ довольно трудно разрывается.
- Деструкция начинается почти при 300 °С;
- Химическая стойкость (к основным классам химических веществ);
- Низкая газо- и влаг проницаемость;
- Легко растягивается, оставаясь прочной к разрыву и проколу;
- Требуется низкий теплотрат для формовки;
- Легкость цветной печати на ее поверхности;
- Возможность использования разнотипных методов переработки и вторичного использования.



Рисунок 6 – Выпускаемая полиэтилентерефталатная пленка

Свойства ПЭТФ пленки:

- Температура стеклования 70°C;
- Температура плавления 264°C;
- Теплостойкость 130°C;
- Кристалличность 40–60%;
- Прочность на разрыв 26–28кг/мм<sup>2</sup>;
- Модуль упругости 4000МПа.

## 2.2 Облучение ускоренными ионами

С целью формирования латентных треков в полимерных трековых мембранах использовали ионный ускоритель циклотрон Р-7М ФТИ ТПУ. Циклотрон позволяет ускорять ионы кислорода, азота, аргона с энергией 1 МэВ/нуклон. Параметры ускоряемых частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры ускоряемых частиц

Тип ускоряемого иона	Энергия
${}^1\text{H}^{+1}$ (Протоны)	4,5-11 МэВ
${}^2\text{H}^{+1}$ ( Дейтроны)	9-14 МэВ
${}^4\text{He}^{+2}$ ( $\alpha$ - частицы)	4-28 МэВ
${}^3\text{He}$	18-28 МэВ
${}^{12}\text{C}$ , ${}^{14}\text{N}$ , ${}^{16}\text{O}$ , ${}^{40}\text{Ar}$ ,	1 MeV/A

Ускоренные пучки альфа-частиц и протонов с энергиями 28 и 6,8 МэВ выводятся из циклотрона с помощью электростатического дефлектора и по каналу следует в камеру облучения пленки. Пучки проходили через титановое окно толщиной 40 мкм, далее через воздух (20 мм), затем через пленку ПЭТФ толщиной 10 мкм (рис 7).

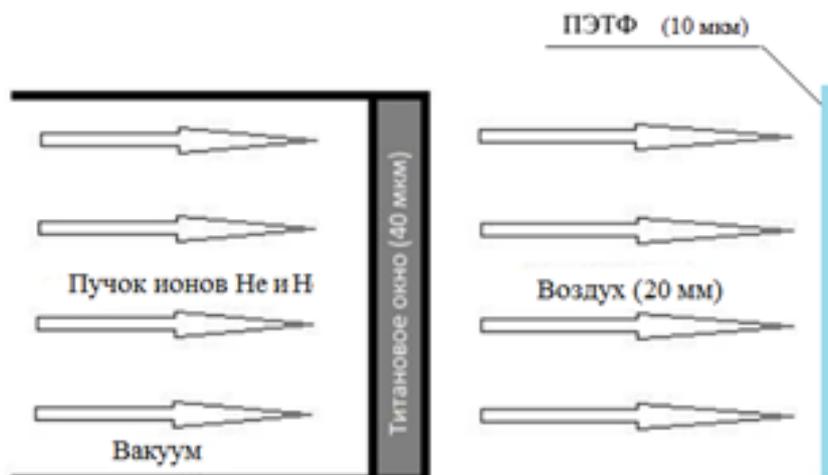


Рисунок 7 – Схема облучения образцов

### 2.3 Сенсibilизация латентных треков в полимере

После воздействия пучка ионов, пленка ПЭТФ подвергалась дополнительному облучению ультрафиолетом на установке для дополнительной деструкции лавсана в облученных областях, показанной ниже.



Рисунок 8 – Камера облучение пленки ультрафиолетом

Пленка движется по валикам между люминесцентными лампами типа Э – 300 с длиной волной  $\lambda = 300 - 320$  нм и общая длина одновременно облучаемой пленки ПЭТФ. Пленка может двигаться с различной скоростью, определяемой экспериментально. Ультрафиолетовое облучение перед травлением способствует окислению треков и ускоренному травлению.

#### **2.4 Травление облученных полимеров**

Для получения сквозных симметричных пор используется 2 молярный раствор NaOH. Облученные образцы с латентными треками выдерживали в данном растворе в промежутке времени от 20 до 60 минут, при температуре 72°C.

Выбор температуры обусловлен тем, что именно при таком значении травление мембраны наиболее эффективно. При повышении температуры ускорение процесса травления не наблюдается. Следовательно, нецелесообразно использовать интервалы температур, превышающих 72°C.

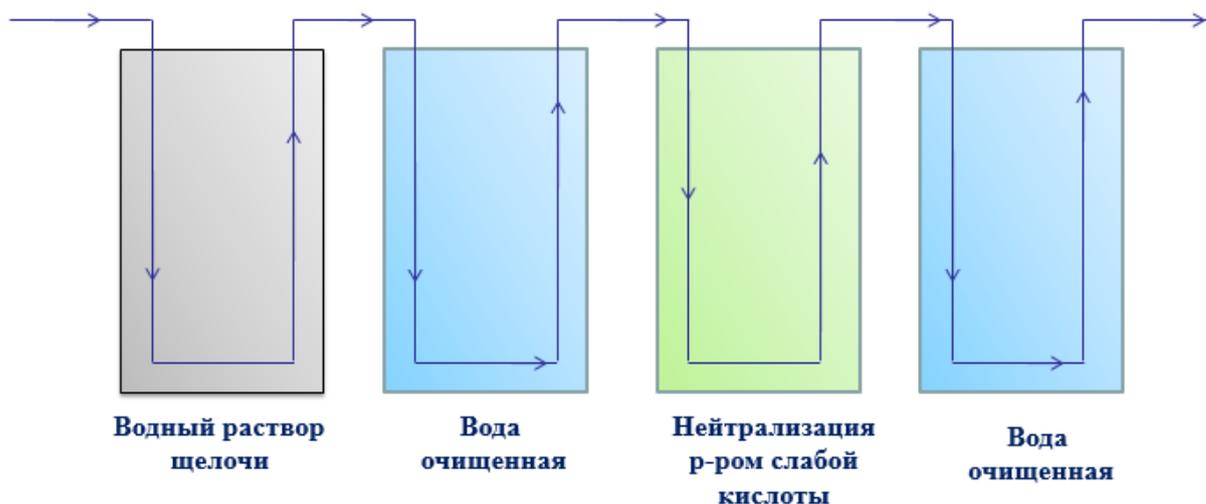


Рисунок 9 – Принципиальная схема процесса травления трековых мембран

На рисунке 9 представлена схема травления трековых мембран. На первой стадии образцы выдерживались в водном растворе щелочи до образования сквозных каналов малого размера, после чего была промывка в дистиллированной воде, на третьей стадии проходила нейтрализация в растворе слабой кислоты и по окончании химической обработки мембраны подвергают промывке в дистиллированной воде и сушке в токе теплого воздуха.

## 2.5 Спектрофотометрический метод

С помощью спектрофотометра «СПЕКС ССП- 310» проводились оптические исследования образцов. В диапазоне длин волн:  $\lambda = (210 - 1000)$  нм, снимались спектральные зависимости коэффициента пропускания  $T(\lambda)$ . С целью измерения оптических спектров пропускания и отражения образцов предназначались два измерительных стенда, в которых применены спектрометры. Спектр измерения на стендах ограничивался источником излучения. У первого стенда диапазон измерений 200 – 400 нм обеспечивался с помощью дейтериевой лампы ЛД2 (D), во втором источником излучения служила галогеновая лампа, позволявшая измерять спектры отражения и

пропускания в диапазоне 400 – 1000 нм. Относительная погрешность не превышала 5 %.

У полученных образцов были измерены оптические характеристики. С целью определения оптических изменений в полимере, измерялся их коэффициент поглощения как функция длины волны.

## **2.6 Измерение толщины и силы трения мембран**

Толщину мембран определяли при помощи оптиметра “ИКВ-3”, погрешность измерений  $\pm 0,2$  мкм. В случае более точных измерений применяли электронный измеритель толщины “Теза Модуль” (Австрия), погрешность измерений при этом составляла  $\pm 0,1$  мкм. С помощью Высокотемпературного трибометр (PC-Operated High Temperature Tribometer ТНТ-S-АХ0000) провели измерения коэффициента трения, износостойкости, интенсивности износа ПЭТФ ТМ. С помощью вычислительной программы «High Temperature Tribometer» контролировали работу прибора. Программное обеспечение производит расчет износа образца и свидетеля.

## **2.7 Электронно-микроскопические методы анализа**

Первый метод заключался в исследовании микроструктуры образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа «НІТАСНІ ТМ-1000». Благодаря которому были определены такие параметры мембраны как пористость, диаметр пор и элементный состав.

Более точно диаметр пор в ТМ определялся методом “пузырька” заключающийся в продавливании газообразного азота через мембрану, пропитанную смачивающей жидкостью (этиловый спирт) и вычислялся по формуле:

$$d = \frac{0,65}{P} \quad (3.1)$$

где  $d$  - диаметр пор, мкм;

$P$  – давление, кг/см<sup>2</sup>.



Рисунок 10 – Установка для электронно-микроскопического анализа  
HITACHI TM - 1000

Представленная установка на рисунке 10 использовалась для исследования морфологии поверхности, элементного состава образцов и пористости трековых мембран.

## 2.8 Экспериментальная установка для измерения проводимости

При разработке ячейки с целью разделения растворов, в первую очередь, следовало выбрать химически стойкие материалы, установить его габаритные и характеристические размеры, кроме того выбрать основные комплектующие элементы с целью монтирования мембранного аппарата: корпус, уплотнительные и соединительные элементы, элементы крепления и т.п. Сконструированная конструкция состоит из двухсекционной ячейки (рисунок 10). Размеры ячейки: длина: ширина: высота 10×10×10 см. Внутренний объем – 40 дм<sup>3</sup>.

Посередине секции находится изолированная от раствора мембрана, которую можно легко заменить. Секции сделаны из материала полистирил, который обладает высокой электрической прочностью, инертен в разных средах (в том числе агрессивных) и технологичен. Толщина боковых стенок ячейки составляет 30 мм. Подобная толщина позволяет устранить неравномерное сжатие ячейки при сборке, таким образом, обеспечивалась требуемая герметичность. Чтобы уплотнить соединение секций и мембраны использовались силиконовые прокладки толщиной 0,5 мм.

Ячейка собиралась с помощью четырех стальных шпилек (рисунок 11). Для возможности наиболее сильной стяжки ячейки использовались гайки повышенной протяженностью. С целью исключения возможности электрического контакта металлических шпилек с электродами.



Рисунок 11 – Сконструированная разделительная ячейка

В верхней части ячейки есть проем для подачи и отбора раствора, кроме того на боковых стенках имеются отверстия под шпильки с целью сборки двух секций ячейки. Наружные размеры секции: длина – 100 мм, ширина–100 мм, толщина– 20 мм. Внутренние размеры: 70×70 мм.

Для выполнения проведённых исследований электромембранного разделения был применен регулируемый источник постоянного тока с

визуализацией напряжения по стрелочному прибору (рисунок 12). В схеме существовала возможность изменения полярности при подаче напряжения на Pt электродах ячейки. Таким образом с целью выполнения исследований необходимо использовать мембрану с разными порами, данная конструкция позволяла довольно легко заменять мембрану без ее разрушения.

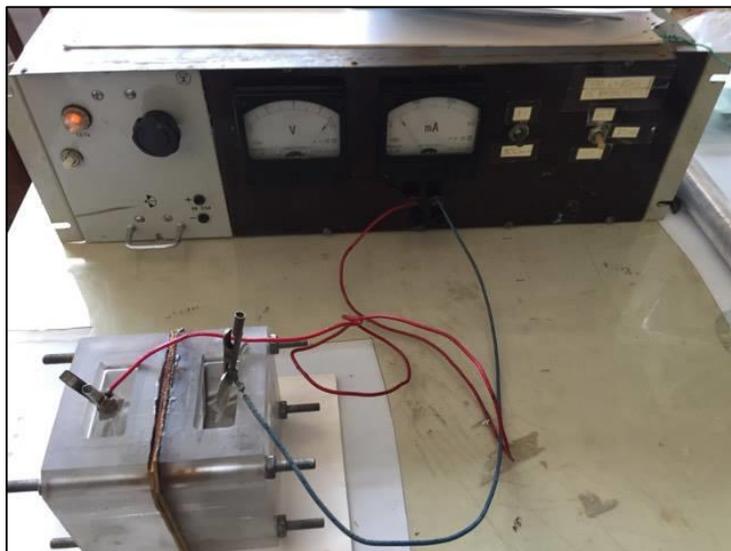


Рисунок 12 - Регулируемый источник постоянного тока

Необходимо выделить характерную особенность этой установки: в ней проводилось одностороннее травление латентных треков облученного полимера, и кроме того изучался процесс электромембранного разделения растворов.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

#### 3.1 Расчет потерь энергии и пробегов ионов в полимере

Оценка значений пробегов альфа-частиц сделана по соотношению, с помощью которого можно вычислить с точностью до нескольких процентов пробеги протонов, дейтронов и альфа-частиц с энергией от 0,1 до 100 МэВ, движущихся в любом элементарном поглотителе, если известны их пробеги в воздухе.

$$\frac{R_z}{R_{возд}} = (0,90 + 0,0275 \cdot Z) + (0,06 - 0,0086 \cdot Z) \cdot \lg \frac{E}{A} \quad (6)$$

где  $R_z$  – пробег в элементе с атомным номером  $Z$ , мг/см<sup>2</sup>;

$R_{возд}$  – пробег тех же частиц в воздухе, мг/см<sup>2</sup>;

$A$  – массовое число заряженной частицы,  $A = 4$  для альфа-частиц,  $A = 1$  для протонов;

$E$  – энергия частицы, МэВ.

Это выражение справедливо для  $Z > 10$ . При  $Z < 10$  двучлен  $(0,90 + 0,0275 \cdot Z)$  следует заменить на 1,00, кроме гелия и водорода, для которых следует вместо двучлена подставить соответственно 0,82 и 0,30.

Оценим полный пробег альфа-частиц  $Z_{Ti} = 22$ ,  $E = 28$  МэВ и протонов  $Z_{Ti} = 22$ ,  $E = 6,8$  МэВ в титане, по кривой пробегов альфа-частиц и протонов в воздухе [22] находим, что пробег этих частиц при  $E = 28$  МэВ равен 75 мг/см<sup>2</sup>,  $E = 6,8$  МэВ равен 75 мг/см<sup>2</sup>

Для альфа – частиц:

$$R_{Ti} = 75 \cdot ((0,90 + 0,0275 \cdot 22) + (0,06 - 0,0086 \cdot 22)) \cdot \lg \frac{28}{4} = 104,686 \text{ мг} / \text{см}^2$$

Толщина титана в мг/см<sup>2</sup> будет:

$$\rho x = 4,54 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-4} = 18,16 \text{ мг} / \text{см}^2$$

Остаточный пробег в титане после 18,16 мг/см<sup>2</sup> будет равен:

Для альфа – частиц:

$$\Delta R = 104,686 - 18,16 = 86,526 \text{ мг} / \text{см}^2$$

Этим пробегам соответствует энергии  $E = 25,3$  МэВ и  $E = 6,1$  МэВ.

Подставив это значение в формулу, находим пробеги альфа-частиц и протонов в воздухе, вышедших из поглотителя (Ti).

$$R_{\text{возд}} = \frac{\Delta R}{(0,90 + 0,0275 \cdot Z_{Ti}) + (0,06 - 0,0086 \cdot Z_{Ti}) \cdot \lg \frac{E}{A}} \quad (7)$$

В первом приближении, пренебрегая малым изменением энергии:

Для альфа – частиц:

$$R_{\text{возд}} = \frac{86,526}{(0,90 + 0,0275 \cdot 22) + (0,06 - 0,0086 \cdot 22) \cdot \lg \frac{25,3}{4}} = 65,366 \text{ мг} / \text{см}^2$$

Далее идет слой воздуха с толщиной тормозящего слоя:

$$\rho x = 0,001225 \cdot 10^3 \cdot 3 = 3,675 \text{ мг} / \text{см}^2$$

Остаточный пробег в воздухе после  $3,675$  мг/см<sup>2</sup> будет равен:

Для альфа – частиц:

$$\Delta R = 65,366 - 3,675 = 61,691 \text{ мг} / \text{см}^2$$

Этим пробегам соответствует энергии  $E = 24$  МэВ и  $E = 5,7$  МэВ.

Далее идет пленка лавсана с химической формулой  $C_{10}H_8O_4$  и с толщиной тормозящего слоя:

$$\rho x = 1,4 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-4} = 1,4 \text{ мг} / \text{см}^2$$

Вычислим пробеги в водороде, углероде и в кислороде:

Для альфа – частиц:

$$R_H = 61,691 \cdot (0,3 + (0,06 - 0,0086 \cdot 1) \cdot \lg \frac{24}{4}) = 16,869 \text{ мг} / \text{см}^2$$

$$R_C = 61,691 \cdot (1 + (0,06 - 0,0086 \cdot 6) \cdot \lg \frac{24}{4}) = 48,408 \text{ мг} / \text{см}^2$$

$$R_o = 61,691 \cdot ((0,90 + 0,0275 \cdot 16) + (0,06 - 0,0086) \cdot 1g \frac{24}{4}) = 66,794 \text{ мг / см}^2$$

Так как ПЭТФ состоит из 62,51 вес. % углерода, 33,33 вес. % кислорода и 4,16 вес. % водорода, то:

Для альфа – частиц:

$$\frac{1}{R_{C_{10}H_8O_4}} = \frac{0,6251}{48,408} + \frac{0,0416}{16,869} + \frac{0,3333}{66,794} = 57,488 \text{ мг / см}^2$$

Остаточный пробег в ПЭТФ после 1,4 мг/см<sup>2</sup> будет равен:

Для альфа – частиц:

$$\Delta R = 57,488 - 1,4 = 56,088 \text{ мг / см}^2$$

Этим пробегам соответствует энергии  $E = 23 \text{ МэВ}$  и  $E = 5,3 \text{ МэВ}$ .

С помощью программы LISE++ были проведены вычисления потерь энергии разных ионов в пленке ПЭТФ (рис. 13, 14).

Для проведения расчета задавались начальные условия: энергия налетающих ионов, состав облучаемого материала (полимера ПЭТФ), плотность вещества ( $\rho = 1,397 \text{ г/см}^3$ ). При энергии пучка в 23 МэВ и 5,3 МэВ альфа-частицы и протоны проходят до полной остановки в полимере 349 мкм и 304 мкм

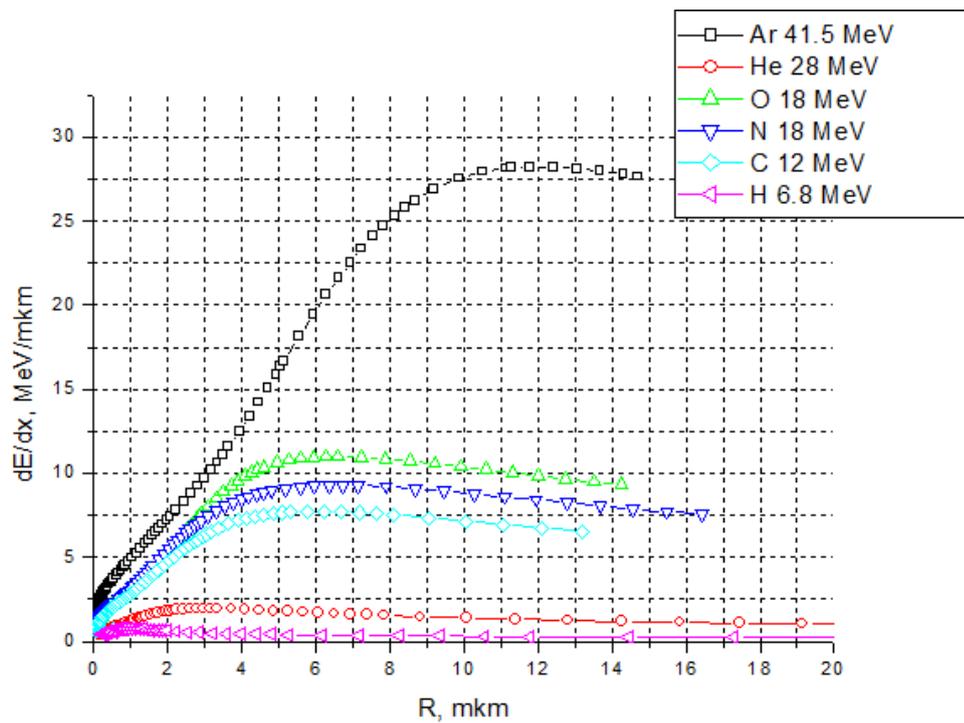


Рисунок 13 – Расчетная зависимость потерь ионов от пробега в ПЭТФ

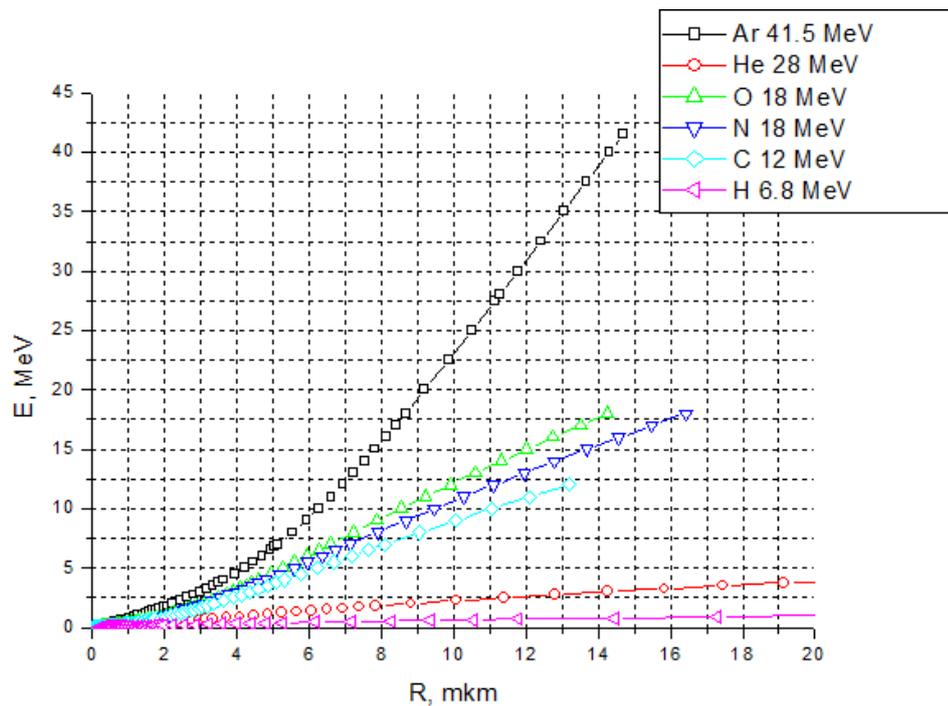


Рисунок 14– Зависимость пробега разных ионов в ПЭТФ от энергии

На основании проведенных вычислений делаем вывод, что энергии альфа частиц – 28 МэВ и протонов – 6,8 МэВ достаточно, чтобы пройти через систему сред и пробить насквозь образцы толщиной 10-20 мкм.

### 3.2 Расчет поглощенной дозы при облучении ионным пучком

Расчет поглощенной дозы для исследуемых образцов был проведен следующим образом:

Для образца № 1 ПЭТФ общий заряд  $\alpha$  - частиц при времени облучении 90 сек:

$$q_{общ} = \rho \cdot \tau$$

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

Заряд иона  ${}^4\text{He}$  :

$$q_{\text{He}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Число упавших частиц на 1 см<sup>2</sup> за 60 сек:

$$N = \frac{q_{общ}}{q_{\text{He}}}$$

$$N = \frac{18 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 5,6 \cdot 10^{13} \text{ ион / см}^2$$

Пробеги альфа - частиц в ПЭТФ рассчитаны с использованием программы SRIM.

Если альфа - частица входит в пленку толщиной 10 мкм с  $E=25,3$  МэВ и выходит с  $E = 23$  МэВ, на входе  $dE/dx = 0,256$  (МэВ·см<sup>2</sup>)/мг, на выходе  $dE/dx = 0,2577$  (МэВ·см<sup>2</sup>)/мг, среднее  $dE/dx = 0,2568$  (МэВ·см<sup>2</sup>)/мг. Тогда поглощенная доза в пленке за 60 сек будет равна:

$$D = N \cdot \frac{dE}{dx} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 10^6$$

$$D = 5,6 \cdot 10^{13} \cdot 0,2568 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 10^6 = 2,313 \text{ МГр}$$

Аналогично для остальных образцов провели расчеты поглощенной дозы, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Поглощенная доза ПЭТФ пленок

№ образца	Время облучения, сек	dE/dx МэВ·см <sup>2</sup> /мг	Число упавших частиц на 1 см <sup>2</sup> , ион/см <sup>2</sup>	Поглощенная доза, МГр
1,2,3,4,5	90	0,2568	$5,63 \cdot 10^{13}$	2,313

Для образца № 1 ПЭТФ общий заряд протонов при времени облучении 60 сек:

$$q_{\text{общ}} = \rho \cdot \tau$$

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

Заряд иона H:

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

Число упавших частиц на 1 см<sup>2</sup> за 60 сек:

$$N = \frac{q_{\text{общ}}}{q_H}$$

$$N = \frac{9 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 5,63 \cdot 10^{13} \text{ ион / см}^2$$

Пробеги альфа - частиц в ПЭТФ рассчитаны с использованием программы SRIM.

Если протон входит в пленку толщиной 10 мкм с E=6,1 МэВ и выходит с E = 5,3 МэВ, на входе dE/dx = 0,06886 (МэВ·см<sup>2</sup>)/мг, на выходе dE/dx = 0,06965 (МэВ·см<sup>2</sup>)/мг, среднее dE/dx = 0,0694 (МэВ·см<sup>2</sup>)/мг. Тогда поглощенная доза в пленке за 60 сек будет равна:

$$D = N \cdot \frac{dE}{dx} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 10^6$$

$$D = 5,63 \cdot 10^{13} \cdot 0,0694 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 10^6 = 0,594 \text{ Мгр}$$

Аналогично для остальных образцов провели расчеты поглощенной дозы, которые приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Поглощенная доза ПЭТФ пленок

№ образца	Время облучения, сек	dE/dx МэВ·см <sup>2</sup> /мг	Число упавших частиц на 1 см <sup>2</sup> , ион/см <sup>2</sup>	Поглощенная доза, МГр
1	90	0,0694	$5,63 \cdot 10^{13}$	0,594
2	120		$7,5 \cdot 10^{13}$	0,782
3	150		$9,38 \cdot 10^{13}$	0,990
4	180		$1,13 \cdot 10^{13}$	1,242

### 3.3 Вычисление потерь энергий и пробегов ионов <sup>40</sup>Ar<sup>8+</sup> в полимере ПЭТФ

Ионы, при взаимодействии с ядрами и электронами вещества мишени теряют энергию, при этом происходит отклонение этих частиц от начальной траектории. Чем больше начальная энергия частицы, тем больше значение пробега этих частиц в облучаемом веществе. Пробег ионов в веществе, так же как их поперечный и продольный разброс зависит от начальной энергии ионов

Для расчёта параметров энергии и пробега, использовали программу SRIM. В основе этой программы лежит расчёт траекторий полёта ионов методом Монте – Карло. Этот метод позволяет рассчитывать энергии и потери ионов в интервале от 10 эВ до 2 ГэВ. Для расчёта пробегов и потери <sup>40</sup>Ar<sup>8+</sup> ПЭТФ задавались начальные условия: энергия налетающих ионов, состав, облучаемого материала (полимера ПЭТФ), плотность вещества. Строились

графики по расчётным значениям  $R_p$ ,  $dE/dx$ , полученные в результате SRIM расчётов.

На рисунке 15 представлены графики зависимости потерь энергии ионов  $^{16}\text{O}^{8+}$ , при столкновении  $dE/dx$  ядерной (а) и  $dE/dx$  электронной (б) ПЭТФ плёнки, рассчитанной по программе SRIM.

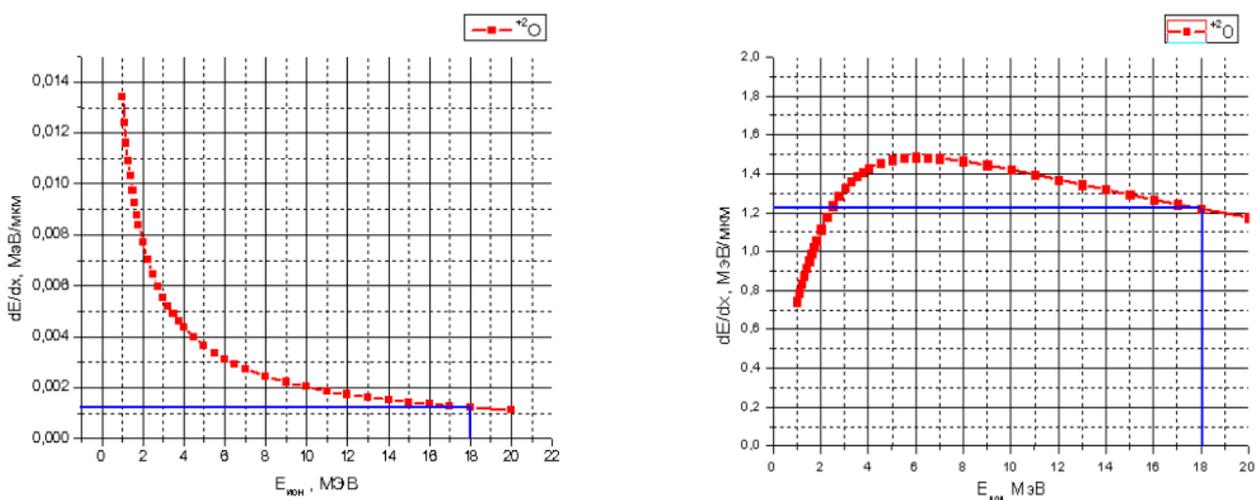


Рисунок 15 – Потери энергии иона  $^{16}\text{O}^{2+}$  на ядрах мишени при столкновении с ядрами (а) и электронами (б)

График потери полной энергии  $^{16}\text{O}^{2+}$  изображён на рисунке 16.

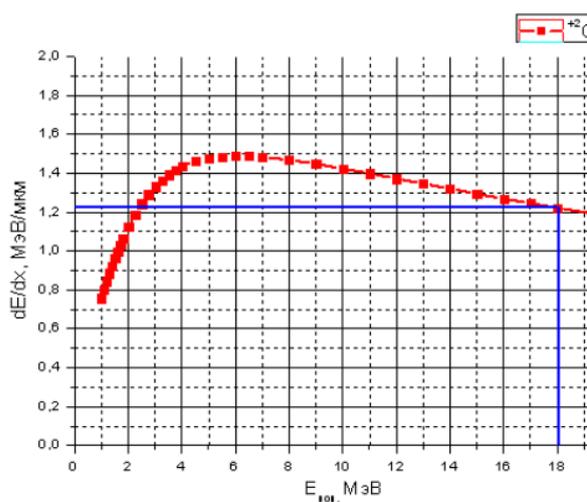


Рисунок 16 –  $dE/dx$  кислорода в ПЭТФ

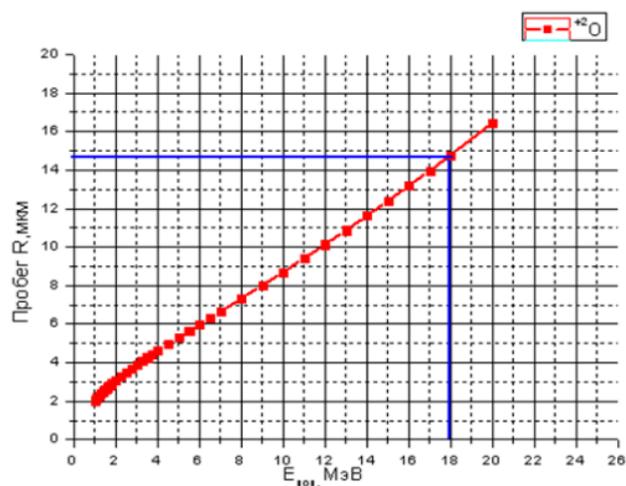


Рисунок 17 –  $R_p$  кислорода в ПЭТФ

Из графика (16) следует, что кислород с энергией 18 МэВ не прострелит насквозь лавсановую плёнку. Кроме того самые большие нарушения, облучаемой структуры происходит в конце пробега ионов. Поэтому необходимо, чтобы пробег ионов при облучении лавсана для ТМ был большей толщиной плёнки.

На рисунке 17 представлен график зависимости проецированного пробега иона кислорода в ПЭТФ.

Проведён расчёт  $R_p$ ,  $dE/dx$  для  $^{40}\text{Ar}^{8+}$  с энергией 41 МэВ. На рисунке 18 представлена зависимость зависимости проецированного пробега иона  $^{40}\text{Ar}^{8+}$  в ПЭТФ.

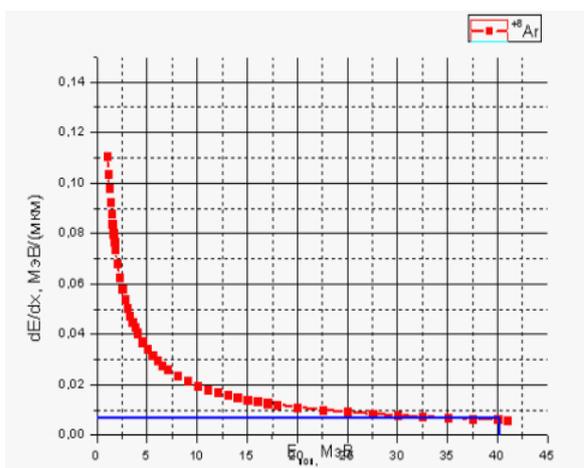


Рисунок 18 – Потери энергии иона  $^{40}\text{Ar}^{8+}$  на ядрах мишени

на ядрах мишени

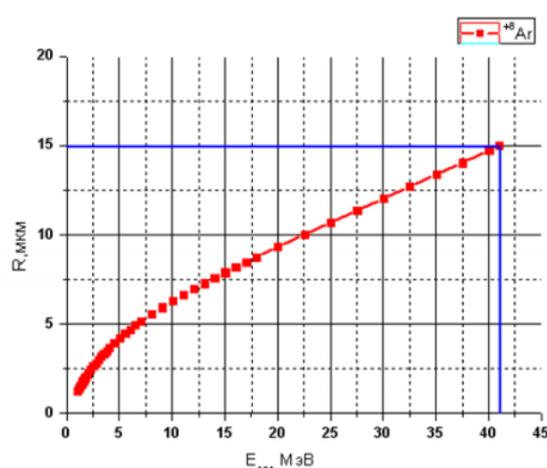


Рисунок 19 – Средний пробег иона  $^{40}\text{Ar}^{8+}$

$^{40}\text{Ar}^{8+}$

Зависимость среднего пробега иона от энергии налетающей частицы изображена на рисунке 19.

Таким образом, для получения сквозных латентных треков на всю глубину наиболее подходящим ионом является  $^{40}\text{Ar}^{8+}$ .

### 3.4 Получение латентных треков в ПЭТФ плёнке с помощью циклотрона типа Р-7М

Для получения трековым мембран использовали полимерную плёнку ПЭТФ производство Владимирского комбината, толщиной 10,0 мкм. Плёнки облучали ускоренными ионами аргона с энергией 41 МэВ на циклотроне Р-7М в ФГНУ НИИЯФ г. Томск. Плёнку облучали в вакуумной камере с лентопротяжным механизмом. Ускоренный пучок ионов аргона выводился из ускорительной камеры с помощью электростатического deflectора и через канал, в котором находились система для равномерной развёртки ионного пучка, поступало в специальную камеру облучения ПЭТФ. Развёртка пучка в горизонтальном направлении осуществлялась с использованием схемы электростатической развёртки (рисунок 20). В качестве отклоняющего напряжения применялось синусоидальное напряжение с частотой 300 Гц и амплитудой до 15 кВ. Пучок ионов аргона, после прохождения через систему развёртки, поступал в камеру, схематически показанную на рисунке 9. Размер пучка ограничился размером валика и составлял 60 x 300 мм.

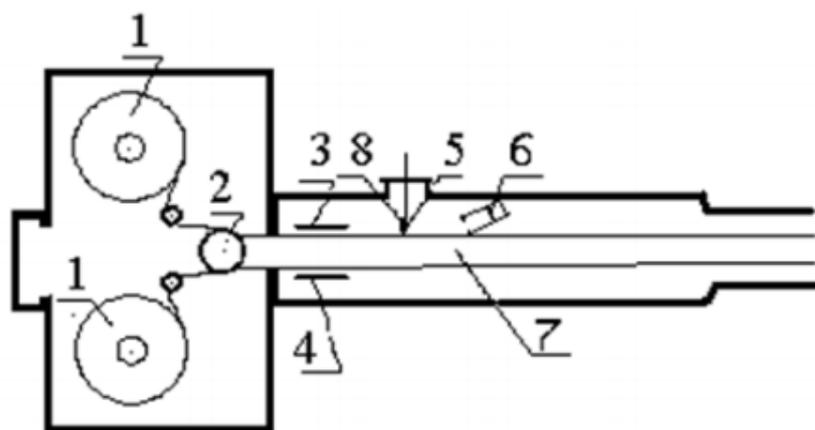


Рисунок 20 – Камера облучение плёнки

1 – Рулон с плёнкой, 2 – валик, 3 – экран с люминофором, 4 – экран с измерительными электродами, 5 – мишень, 6 – полупроводниковый детектор ионов, 7 - ионный пучок, 8 – образцовый альфа – источник.

Для измерения энергии и энергетического распределения ионного пучка использовался спектрометр с Au/Si детектором, который регистрировал рассеянные ионы от мишеней, в качестве которых использовались тонкие слои Co, Ni, Au на кремневой подложке. Для калибровки энергетической шкалы детектора использовали образцовый альфа – источник, укрепленный на одном из штоков с мишенями.

Варьируя флюенс ионов при облучении можно получить пористость в диапазоне  $5 \cdot 10^6$  -  $2 \cdot 10^9$  с точностью (5-8) %. При таком уровне пористости образцы мембран являются достаточно прочными и практически не содержат кратные (перекрывающиеся) поры.

### **3.5 Формирование сквозных пор в облученной плёнке**

После воздействия пучка ионов аргона, плёнка полиэтилентерефталат подверглась дополнительному облучению ультрафиолетом на установке для дополнительной деструкции лавсана в облученных областях.

Плёнка движется по валикам между люминесцентными лампами типа Э – 300 с длиной волны  $\lambda = 300 - 320$  нм и общая длина одновременно облучаемой плёнки ПЭТФ. Плёнка может двигаться с любой скоростью определяемой экспериментально. При облучении ультрафиолетом происходит сенсбилизация латентной области облученной полиэтилентерефталата.

Для получения сквозных асимметричных пор используется 0,1 М раствор гидроксида натрия. Облученные образцы с латентными треками выдерживали в данном растворе в промежутке времени от 6 до 10 минут, при температуре  $70^\circ\text{C}$ . При увеличении времени травления происходит закупоривание пор, следовательно, такая мембрана становится неработоспособной.

Выбор температуры обусловлен тем, что именно при таком значении травления мембраны наиболее эффективны. Процесс травления при

увеличении температуры ускорения не наблюдается. Отсюда следует, что нужно применять интервалы температур, больше  $70^{\circ}\text{C}$ .

В итоге избирательного химического травления треки «визуализируются», а конечная форма пор в трековой мембране определяется главным образом двумя величинами - скоростью травления треков ( $V_T$ ) и скоростью травления однородных участков плёнки ( $V_B$ ) или их отношением:

$$\beta = \frac{V_T}{V_B} \quad (8)$$

которая служит критерием селективности травления.

Здесь  $V_T$  – скорость травления треков;

$V_B$  – скорость травления однородных участков плёнки, где нет радиационных дефектов.

Для сравнения треков выбрали время травления 40 и 80 мин. На рисунках 21 и 22 представлены зависимости диаметров пор трековой мембраны от времени травления и времени УФО.

где  $D_e$  – диаметр единичных пор;

$D_m$  – диаметр массовых пор;

$Q$  – проницаемость по воздуху.

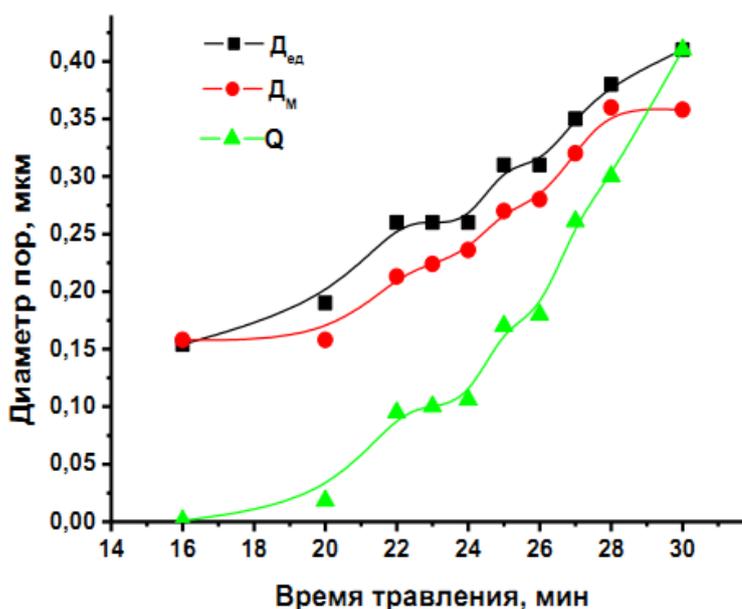


Рисунок 21 – График зависимости диаметров пор ТМ от времени травления для 40 мин УФО

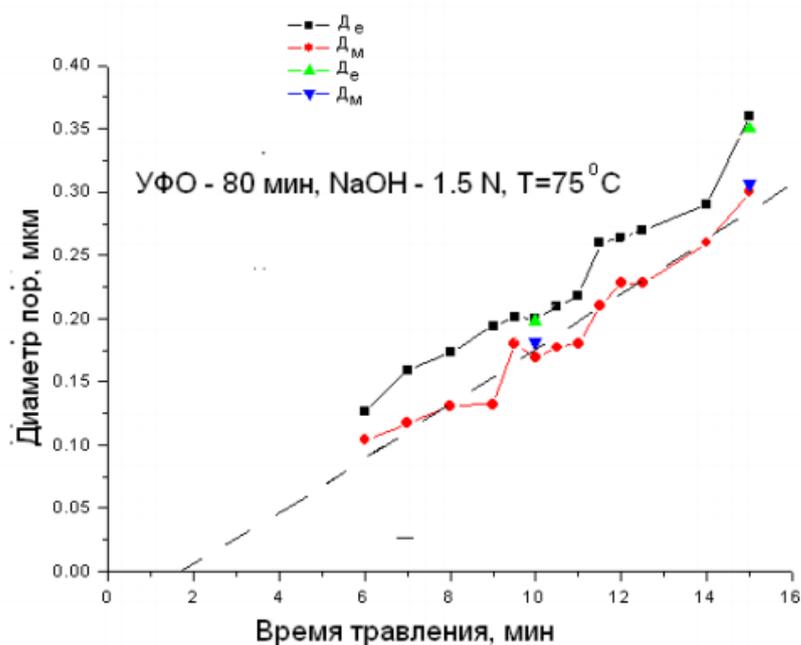


Рисунок 22 – График зависимости диаметров пор ТМ от времени травления для 80 мин УФО

По графику можно увидеть, что наиболее оптимальное время травления для получения сквозных цилиндрической формы пор является 40 мин. Дальше полученным графикам мы выбирали режимы облучения УФО и травления полиэтилентерефталата для рулонов трековой мембраны.

Лавсановая облучённая ионами  $^{40}\text{Ar}^{8+}$  плёнка, подвергшая, односторонней обработке показала, что радиальная скорость травления треков на обработанных и не обработанных сторонах резко различаются, что видно выше представленных графиков.

### 3.6. Определение плотности пор

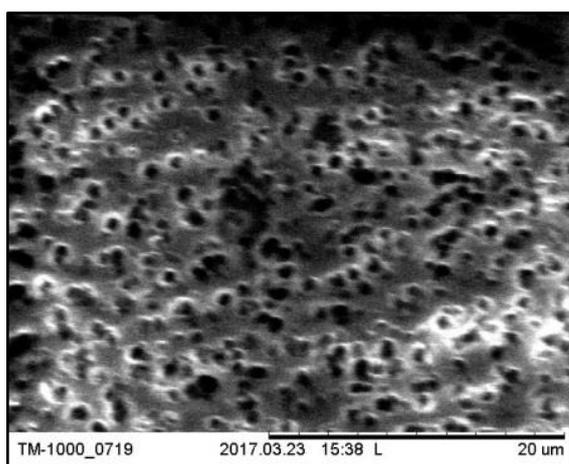
Плотность пор в образцах ТМ со сквозными порами определяли с помощью микроскопических исследований на сканирующем электронном микроскопе HITACHI – 1000. На электронном микроскопе получали

микрофотографии поверхности мембраны, затем подсчитывали числа пор на определённой площади. Статистическая погрешность при определении плотности треков данными методами составляла, как правило, менее 5%.

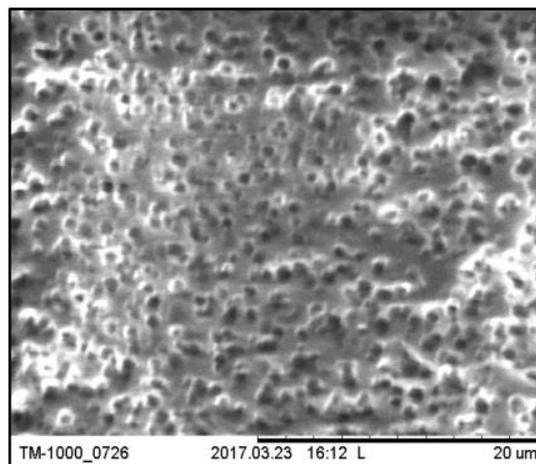
### **3.7 Исследование микроструктуры мембран методами электронно-микроскопического анализа**

При помощи сканирующего электронного микроскопа “НИТАСНИ ТМ 1000” были проведены исследования микроструктуры образцов и плотности пор на поверхности мембран. Также при помощи атомно-силового микроскопа NT-MDT в режиме постоянного сканирования была исследована поверхность ТМ после травления.

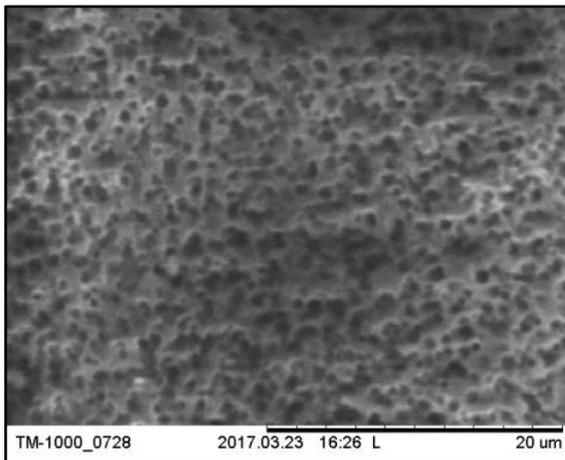
С помощью электронного микроскопа “НИТАСНИ ТМ 1000” было проведено исследование пористости ТМ для серий облученных протонами образцов. Ниже на рисунке 23 представлены микрофотографии поверхности ТМ, облученных разными дозами при энергии 6,8 МэВ. Время облучения ультрафиолетом для всех образцов составляло 30 минут, а время травления – 25 минут.



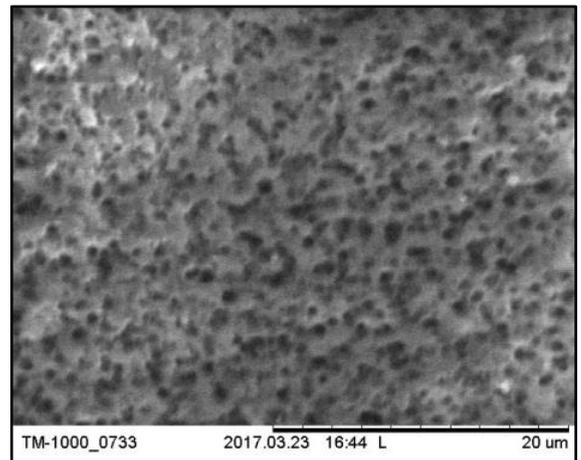
а) 0,59 МГр



б) 0,78 МГр



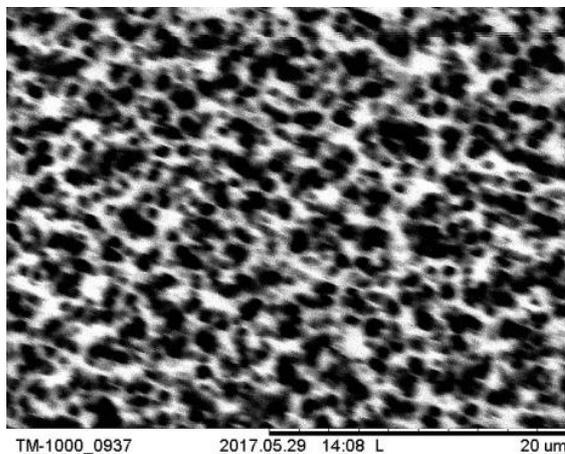
в) 0,99 МГр



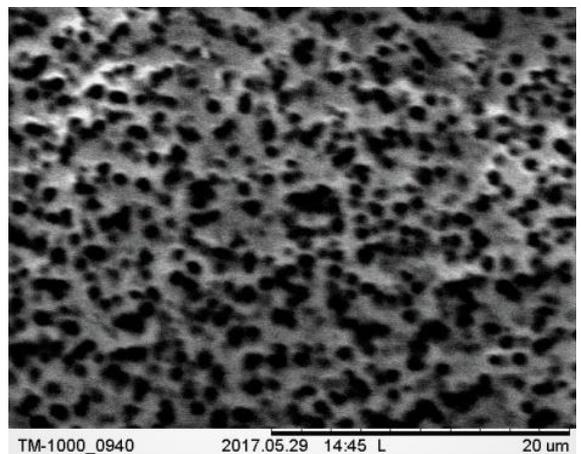
г) 1,2 МГр

Рисунок 23 – Электронные микрофотографии поверхности ТМ полученные в результате облучения протонами

На рисунке 24 представлены микрофотографии поверхности ТМ, облученных альфа-частицами с дозой 2,3 МГр для энергии 28 МэВ. Время облучения альфа-частицами для всех образцов составляло 90 секунд, а время облучения ультрафиолетом – 120 минут.



а) 25 мин



б) 35 мин

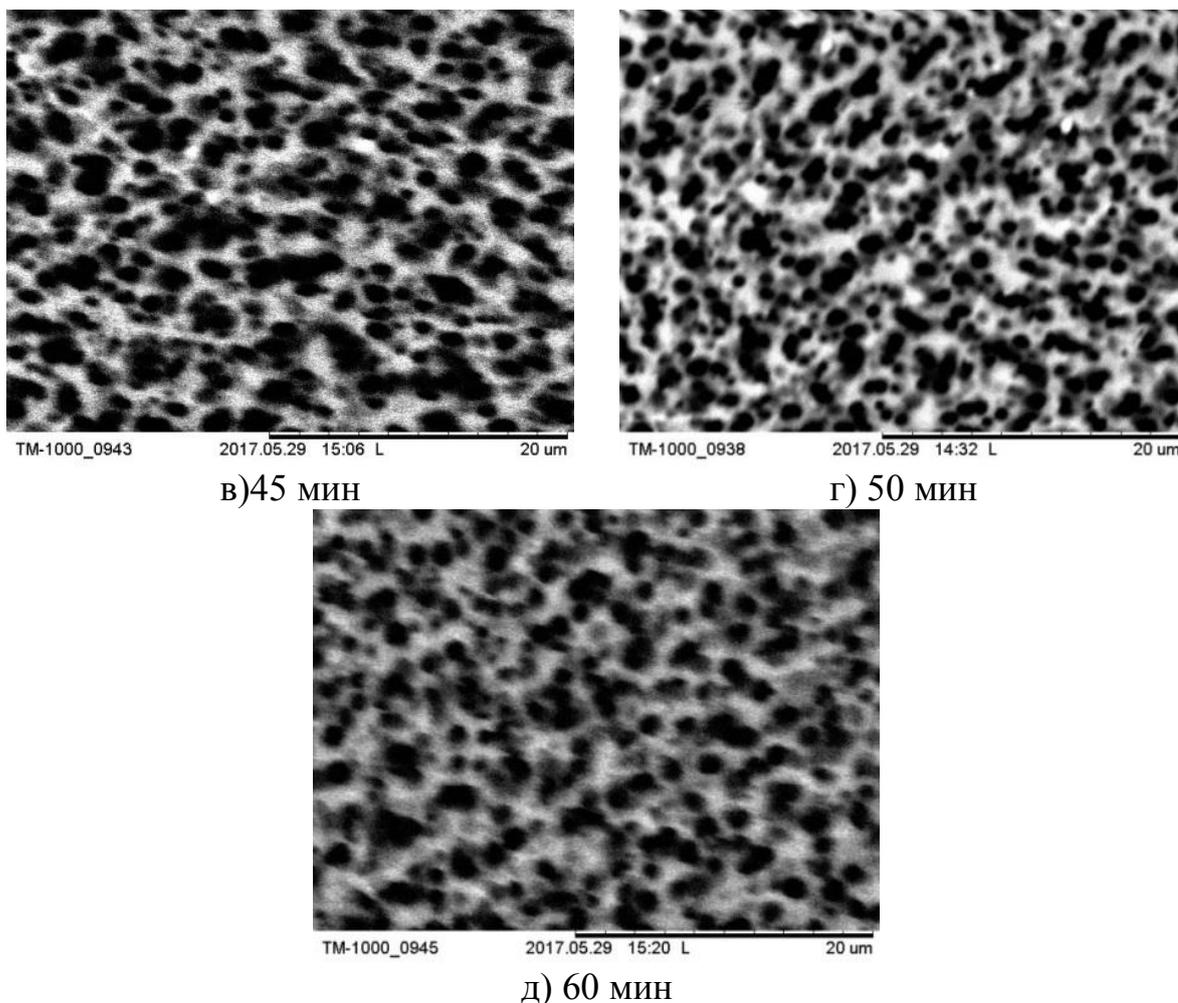


Рисунок 24 – Электронные микрофотографии поверхности ТМ, полученные в результате облучения альфа-частицами

Определить диаметры пор на этих микрофотографиях не представляется возможным из-за большого количества пор, которые перекрываются и из-за чего размер диаметров не соответствует истинным значениям. Поэтому диаметр пор определялся известным методом “пузырька” и контролировалось кондуктометрией.

Для подсчета пористости и определения плотности пор, выбирался участок на микрофотографии, площадью 2 см<sup>2</sup>, после чего был проведен подсчет пор на этом участке мембраны и определялась пористость. Результаты определения пористости приведены в таблице 4 и 5

Таблице 4 – Характеристики ТМ при облучении 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		$4,4 \cdot 10^7$

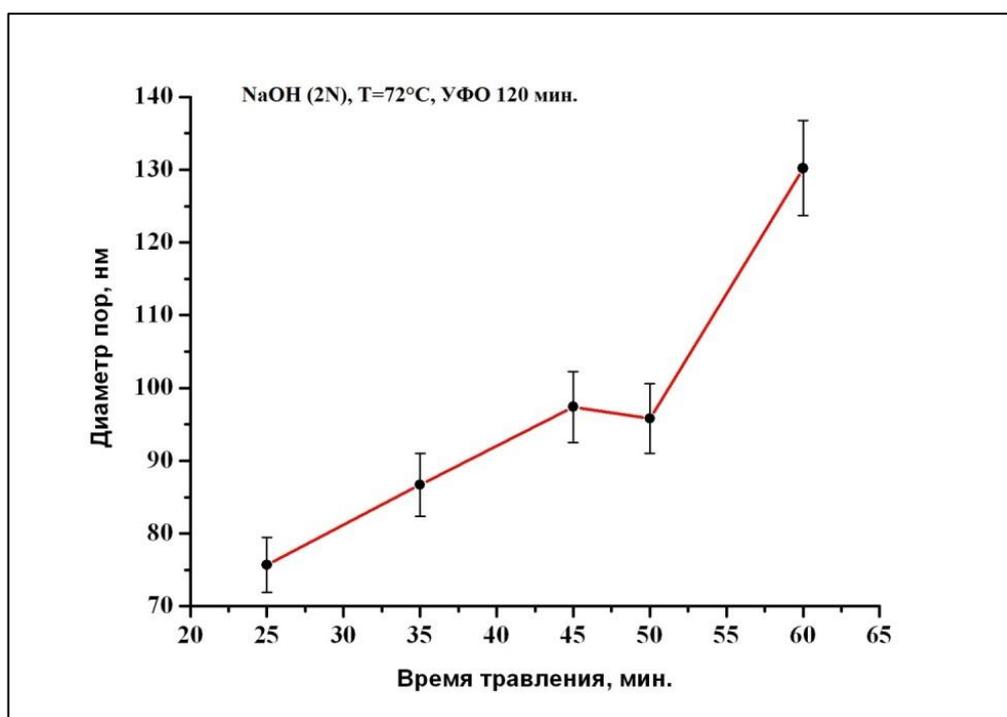
Таблице 5 – Характеристики ТМ при облучении альфа-частицами

№ 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	$6 \cdot 10^{13}$

Из таблиц 4 и 5 следует, что при облучении протонами была сформирована трековая мембрана с плотностью пор  $\sim 10^7 / \text{см}^2$ , а при облучении альфа-частицами плотность пор ТМ составила  $\sim 10^{13}$  пор/см<sup>2</sup>.

Высокая степень ионизация альфа-частиц позволяет получать высокую пористость в ТМ вплоть до  $10^{13}$  пор/см<sup>2</sup>, в то время как плотность пор в ТМ, облученных протонами равна  $10^7$  пор/см<sup>2</sup>. Такое различие в пористости возможно происходит из-за наложения латентных треков, обусловленных массой протонов которая в 4 раза меньше чем у альфа-частиц и размерами протона. Тут следует отметить, что пористость классических трековых мембран, облученных тяжелыми ионами такими как аргон, ксенон, кобальт, не превышают  $10^9$  пор/см<sup>2</sup>.

Также были получены изображения рельефа поверхности ТМ с помощью атомно-силового микроскопа (рисунок 25). Для этого вырезались кусочки из образцов размером 2\*2см и помещались в исследуемую камеру. В качестве зондов использовали стандартные кантилеверы  $\text{fr N10}$  с углом при вершине  $\sim 10$  нм. Сила при сканировании в диапазоне 1,0-45 нН. Число точек сканирования – 512, поля сканирования: 1010 мкм.



### 3.8 Исследование полупроводящих свойств мембраны

Результаты измерения ВАХ мембран показывают, что электрическая проводимость исходных ПЭТФ ТМ не зависит от направления тока (рисунок 26). С увеличением расстояния между электродами подвижность ионов  $\text{Mg}^{2+}$  увеличивается. Во всех образцах при нагревании раствора до  $t=30^{\circ}\text{C}$  ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  перемешиваются, в результате ВАХ этого раствора по сравнению с исходным раствором сильно отличается.

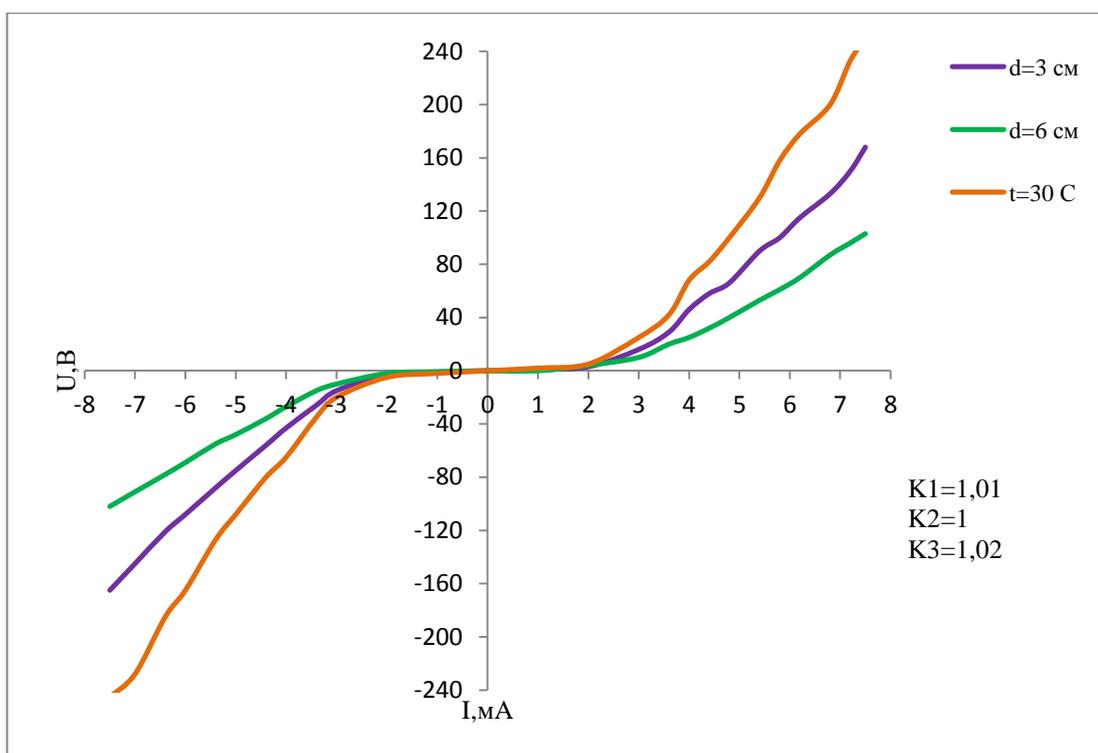


Рисунок 26 – Вольт-амперные характеристики растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$  с концентрациями 0,25 моль/л через ПЭТФ ТМ

Для сравнения ВАХ растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$  через исходную мембрану с цилиндрическими порами, сняли вольт-амперную характеристику этих же растворов с той же концентрацией, но с использованием мембран с бутылочной формой пор. Результаты исследования показали, что ВАХ этих растворов меняется при смене полярности (Рисунок 27). Это означает, что ВАХ зависит от диаметра пор мембран используемых для разделения ионов.

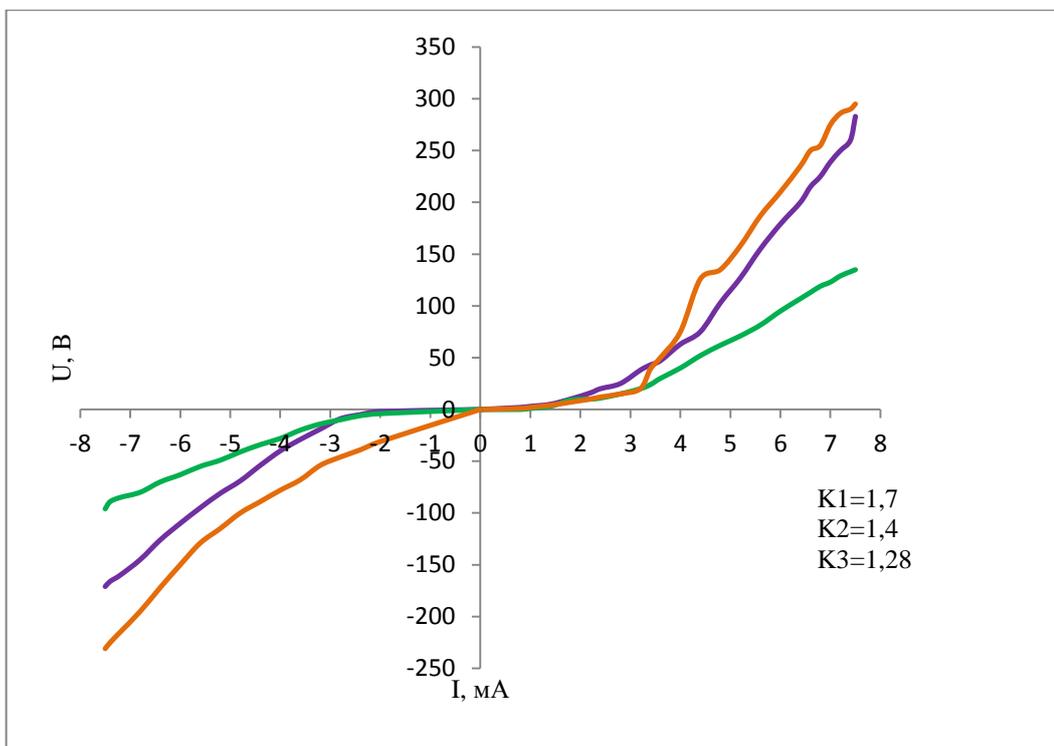


Рисунок 27 – Вольт-амперные характеристики растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$  с концентрациями  $0,25$  моль/л через мембрану с бутылочной формой пор

Анализ ВАХ модифицированных мембран показывает, что их проводимость зависит от направления тока (Рисунок 28). Это означает, что осаждение слоя полимера при магнетронном распылении приводит к появлению у композитных мембран асимметрии проводимости - выпрямляющего эффекта, сходного с p-n переходом в полупроводниках.

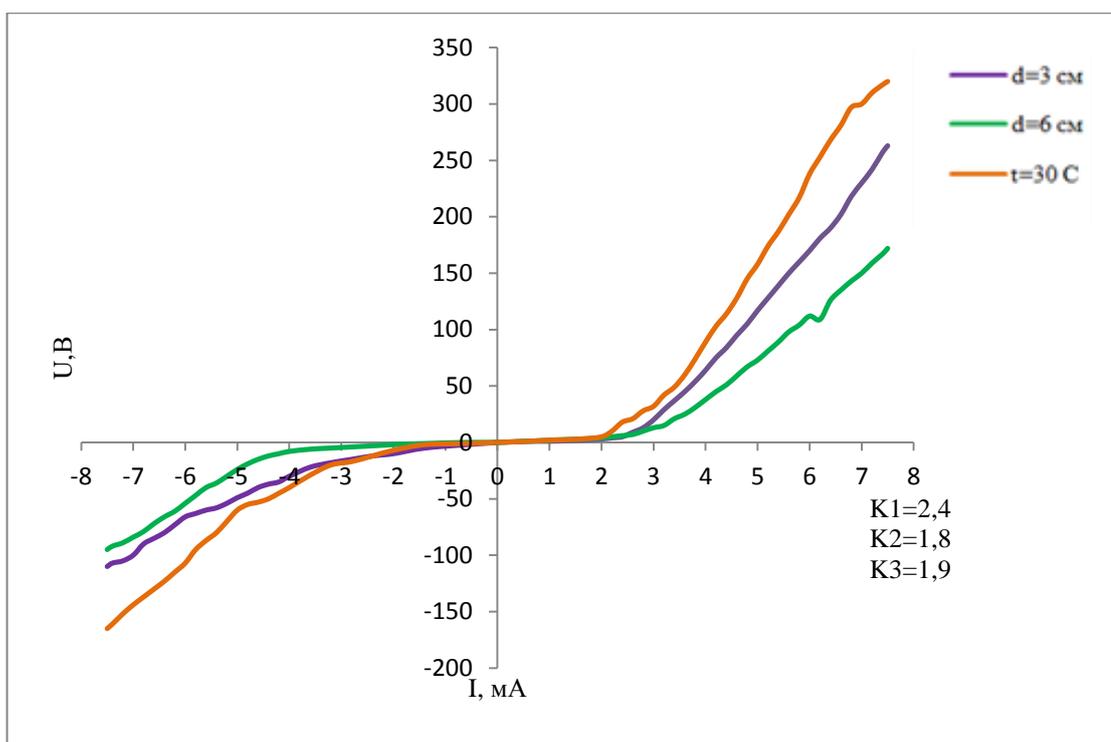


Рисунок 28 – Вольт-амперные характеристики растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$  с концентрациями 0,25 моль/л через ПЭТФ ТМ с напыленным слоем  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Анализ полученных данных показывает, что для композитных мембран с напыленным слоем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  сопротивление переноса ионов в порах возрастает, что может быть объяснено сужением каналов пор, а также увеличением общей толщины мембраны, что подтверждается меньшими значениями геометрической емкости композитных мембран.

Для ПЭТФ ТМ с конической формой пор эффект асимметрии проводимости известен и достаточно подробно описан в ряде публикаций.

Согласно результатам этих исследований, асимметрия проводимости обусловлена не только геометрией пор, но и наличием гелевой фазы в узкой части поры, образующейся в результате набухания поверхностного слоя мембраны [35,36], или наличием на поверхности пор фиксированных заряженных групп [35].

На рисунке 29 приведена ВАХ растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$  с концентрациями 0,25 моль/л через мембрану с ХТП стирола.

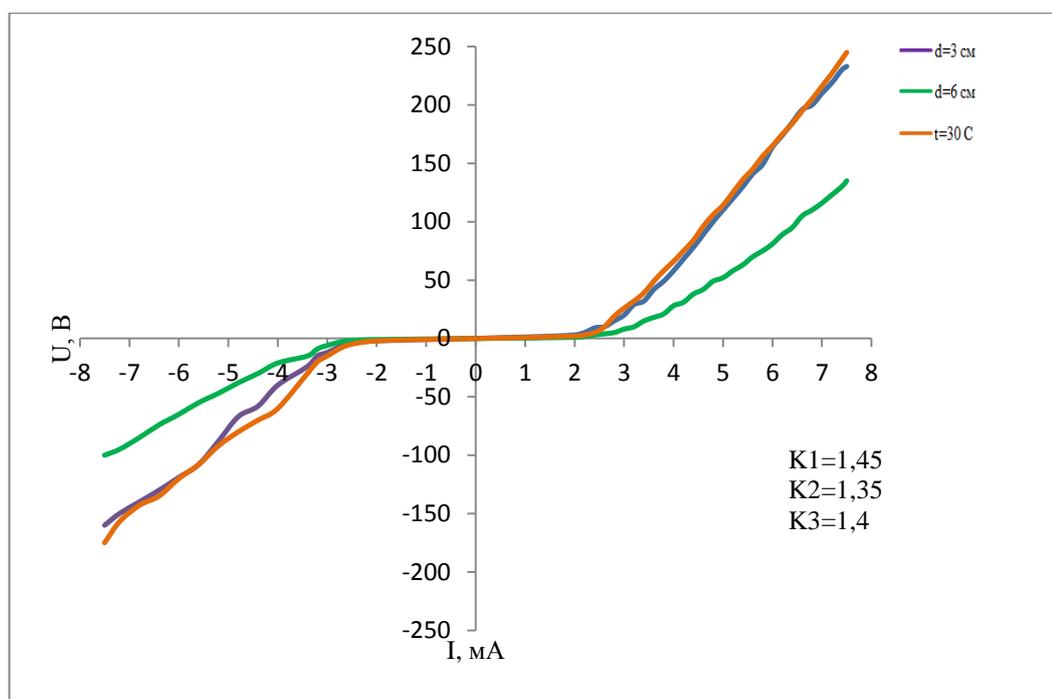


Рисунок 29 – Вольт-амперные характеристики растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$  с концентрациями 0,25 моль/л через мембрану с ХТП стирола

Из графика видно, что при нагревании раствора до  $t=30^\circ\text{C}$  и при небольших расстояниях между электродами подвижность ионов увеличиваются, но ВАХ друг от друга не отличаются. Поэтому, можно сделать вывод о том, что в нашем случае, при фильтрации растворов через мембрану с ХТП стирола выбранная температура ( $t=30^\circ\text{C}$ ) раствора на подвижность ионов сильно не влияет. При смене полярности наблюдается сопротивление ионов, что подтверждается сужением пор при химическом воздействии.

Результаты исследования электромембранного разделения модельных растворов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты исследования электромембранного разделения растворов

Образец	Содержание ионов, мг/л			
	1-полярность		2-полярность	
	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
ПЭТФ ТМ	1002	2553,6	2845,6	3040

ТМ с порами «бутылочной» формы	3206,4	2432	2605,2	3283,2
Мембрана, обработанная в плазме	2404,8	3769,6	2204,4	2796,8
Мембрана с ХТП стирола	2404,8	2796,8		

### **3.9 Исследование процесса электромембранного разделения ионов $\text{CaCl}_2$ и $\text{MgCl}_2$ в растворе с помощью асимметричной трековой мембраны**

В процессе изучения электромембранного разделения растворов появляются изменение электрохимических свойств. Эти изменения контролировались методами воль-амперометрии.

Измерение ВАХ характеристик растворов проводили на постоянном токе в диапазоне от 0 до +7 В по методике при помощи потенциониста. Для измерений была использована двухкамерная ячейка с Pt электродами, содержащая водный раствор хлористого кальция и магния с одинаковой концентрацией справа и слева от мембраны. Объём каждой камеры составлял 150 мл, рабочая площадь – 10 см<sup>2</sup>. Электроды были опущены в раствор электролита каждой из камер на расстоянии 7 мм от поверхности мембраны. Для подавления явления электродной поляризации электроды использовались с большей поверхностью. Концентрацию раствора хлористого кальция и магния составляла 0,5 моль/л.

Концентрация раствора в той и другой ванне наблюдались с помощью метода титрования, как на начальном этапе эксперимента, так и при дальнейшем проведении экспериментальных исследований по электромембранной фильтрации. В качестве индикаторов для титрования  $\text{Mg}^{2+}$  был использован эриохром чёрный Т с аммиачное буферным раствором и индикатор тимоловый синий, а в качестве нейтрализующего раствора –

ЭДТА 0.1 н. Для титрования  $\text{Ca}^{2+}$  в качестве индикатора был использован мурексид и 8% гидроксид натрия и нейтрализующий раствор – ЭДТА 0.1 н.

## 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Очевидно, что на данный момент остро встаёт вопрос о необходимости планирования и организации научно – исследовательских работ. Заметим, что важно не только разработать ту или иную научную тему, но и провести её анализ с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, иными словами, необходимо определить затраты на проведение научной исследовательской работы, продолжительность работ, таким образом определив экономическую эффективность и конкурентноспособность разрабатываемой научно – исследовательской работы.

Проведём сегментирование для анализа группы потребителей результатов исследования.

Применение изотопа лютеций  $\text{Lu}^{177}$  находят применение во многих отраслях промышленности, медицине, химии, биологии. Все эти отрасли образуют огромный круг потребителей. Поэтому является актуальным разработка ресурсоэффективных методов разделения.

Например, лютеций  $\text{Lu}^{177}$  используется в области медицины, для лечения рака и опухолей.

Рынок услуг по применению изотопа лютеция можно сегментировать по следующим критериям: размеры поставки изотопа лютеция.



Исходя из карты сегментирования, областью наших исследований заключается в поиске метода разделения изотопа лютеция.

## 4.2 SWOT-анализ

SWOT анализ применяется для исследования угроз и возможностей со стороны внешней среды, сильных и слабых сторон внутренней среды научно-исследовательской работы. Для данной научно-исследовательской работы SWOT анализ представлен в таблице 7.

Таблица 7 - матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательской работы: С1. Актуальность работы С2. Профессорский состав с опытом работы в данной области С3. Экологичность технологии С4. Простота и надежность оборудования С5. Высокий коэффициент разделения	Слабые стороны научно-исследовательской работы: Сл1. Малая проработанность теории и эксперимента по разделению изотопов Сл2. Большая погрешность измерений Сл3. Недостаточное финансирование
Возможности: В1. Привлечение ведущих мировых специалистов и ученых В2. Использование оборудования из фонда ТПУ	1. Экологичность технологии, простое и надежное оборудование, а также профессорский состав позволят привлечь инвесторов; 2. Экологичность технологии, актуальность работы, а также профессорский состав позволят привлечь ведущих ученых и специалистов;	1. Малая проработанность теории и эксперимента и недостаточное финансирование не позволят в адекватные сроки сотрудничать с конструкторскими бюро; 2. Отсутствие прототипа, Малая проработанность теории и эксперимента может не позволить привлечь ведущих мировых специалистов и ученых;

<p>В3. Привлечение инвесторов</p> <p>В4. Сотрудничество с конструкторскими бюро</p>	<p>3. Актуальность проекта позволит использовать оборудование из фонда ТПУ</p> <p>4. Высокий коэффициент разделения, простое и надежное оборудование позволят сотрудничать с конструкторскими бюро</p>	<p>3. Отсутствие прототипа, Малая проработанность теории и эксперимента, может ограничить возможность использования оборудования из фонда ТПУ;</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие положительного результата</p> <p>У2. Отсутствие финансирования</p> <p>У3. Отсутствие спроса на технологию</p>	<p>1. Надежное и простое оборудование, а также профессорский состав позволят избежать отрицательного результата;</p> <p>2. Экологичность технологии, высокий коэффициент разделения позволят избежать отсутствия спроса на технологию;</p> <p>3. Актуальность работы, исключают увольнение персонала и</p> <p>4. простота и надежность оборудования исключают отсутствие финансирования.</p>	<p>1. Отсутствие положительного результата может быть связано с отсутствием прототипа, малой проработанностью теории и эксперимента, большой погрешностью измерений;</p> <p>2. Отсутствие спроса и финансирования может быть связано малой проработанностью теории и эксперимента;</p> <p>3. Увольнение персонала может быть связано с малой проработанностью эксперимента и недостаточной степенью финансирования.</p>

Таблица 8 - интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	+	-	-
	B2	+	-	-	-	-
	B3	-	+	+	+	-
	B4	-	-	-	+	+

Угрозы проекта	У1	-	+	-	+	-
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	+	-	-
	У4	-	-	+	-	+

## 5 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

### 5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Представленная дипломная работа носит научно-исследовательский характер. Экономическая часть настоящей работы включает в себя рассмотрение комплекса предполагаемых работ, планирование которых осуществляется в следующем порядке:

- планирование работы;
- определение структуры работы в рамках научного исследования;
- определение участков каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель и дипломник.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведён в таблице 9.

Таблица 9 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный	1	Составление и утверждение научного задания	Бакалавр Руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
Исследование и анализ предметной области	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор метода выполнения работы	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Применение выбранного метода к данным	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ результатов работы	Бакалавр
	8	Определение целесообразности проведения НИР	Бакалавр Руководитель
	9	Составление пояснительной записке к ВКР	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР по ГОСТу	Бакалавр

## 5.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости  $t_{ож_i}$  используется следующая формула:

$$t_{ож_i} = \frac{3 \cdot t_{min_i} + 2 \cdot t_{max_i}}{5}, \text{ чел.-дн.}; \quad (9)$$

где  $t_{ож_i}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

$t_{max_i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{ож_i}}{Ч_i}, \text{ раб. Дн.}; \quad (10)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. Дн.;

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

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

### 5.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{к_i} = T_{p_i} \cdot k_{кал}, \text{ календ. Дн.}; \quad (11)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,221.$$

Все значения, полученные при расчетах по вышеприведенным формулам, были сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Временные показатели осуществления комплекса работ

№ работ	Трудоёмкость работ			Исполнитель и	$t_{\text{pi}}$ , человеко -дни	$t_{\text{ki}}$ , человеко -дни
	$t_{\text{min}}$ , человеко -дни	$t_{\text{max}}$ , человеко -дни	$t_{\text{ож i}}$ , Человеко -дни			
1	1	3	2	Б, Р	1	1
2	14	18	16	Б	16	23
3	7	12	9	Б	9	13
4	3	6	4	Б, Р	2	3
5	2	5	3	Б	3	4
6	10	16	12	Б	12	17
7	5	7	6	Б	6	9
8	3	5	4	Б, Р	2	3
9	5	11	7	Б	7	10
10	4	7	5	Б	5	7

## 5.4 Бюджет научно – технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

### 5.4.1 Расчёт материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх_i}, \text{ руб.}; \quad (13)$$

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

$N_{расх_i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. В данной работе значение  $k_T = 15\%$ .

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 11.

Источник финансов в данной работе – студент.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага (листы формата А4)	шт.	250	0,4	100
Печать на листе А4	шт.	200	1,5	300
Карандаш	шт.	1	8	8
Доступ в интернет	месяц	4	350	1400
Учебная литература	шт.	1	340	340
Электроэнергия	кВт·ч	810	2,70	2187
Ластик	шт.	1	12	12
Итого				4347

#### 5.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата студента рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \text{ руб.}; \quad (14)$$

где  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых студентом, раб. Дней;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата студента, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0}, \text{ руб.}; \quad (15)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 48 раб. Дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя.

$F_0$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни. (таблица 7).

В качестве месячного оклада бакалавра берется месячный оклад младшего научного сотрудника 1 уровня, равный 9893 руб (без учета районного коэффициента (РК)). Для города Томска РК = 1,3.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Студент
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней:	
– выходные дни;	52
– праздничные дни.	14
Потери рабочего времени:	
– отпуск;	48
– невыходы по болезни.	
Действительный годовой фонд рабочего времени, раб. Дн.	251

Проведем расчет основной заработной платы студента:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{9893 \cdot 10,4 \cdot 1,3}{251} = 533 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 533 \cdot 42,3 = 22546 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается почасово. Время, выделенное научному руководителю на работу с ВКР бакалавра, равно 20 раб. Ч. Заработная плата руководителя, имеющего ученую степень, равна 350 руб./ч. Тогда основная заработная плата с учетом РК будет равна:

$$Z_{он} = 350 \cdot 20 \cdot 1,3 = 9100 \text{ руб.}$$

Расчёт заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт заработной платы

Исполнители	$Z_m$ , руб.	$Z_{он}$ , руб.	$T_p$ , раб. Дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	–	1300	3,5	9100
Студент	9893	533	29,3	22546
Итого, руб.:	31646			

#### 5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страхование)

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

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \text{ руб.}; \quad (16)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	9100	22546
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	30,2	30,2
Сумма отчислений, руб.	2466	6110
Итого, руб.:	8576	

#### 5.4.4 Накладные расходы

Основные работы для ВКР проводились за рабочей станцией в комнате жилого дома. Время, проведенное за рабочей станцией: 150 часов. Мощность рабочей станции: 0,12 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot t_{об}, \text{ руб.}; \quad (17)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;

$t_{об}$  – время использования оборудования, ч.

$$C = 5,8 \cdot 0,12 \cdot 150 = 105 \text{ руб.}$$

Также был необходим доступ в интернет для поиска необходимой информации. Стоимость месячного обслуживания составляет 350 рублей. Использование интернета осуществлялось в течение полутра месяцев. Соответственно, затраты на пользование интернет-услугами составили 525 рублей.

Кроме того, необходима печать чертежей, пояснительной записки ВКР, черновых вариантов ВКР и текста презентации для защиты. Стоимость печати одного листа формата А4 составляет 2 рубля. Количество необходимых страниц для печати – 200. Соответственно, стоимость печати составила 400 рублей.

В итоге накладные расходы составили 1030 руб.

#### **5.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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 НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ, руб.	286
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы, руб.	31646
Отчисления во внебюджетные фонды, руб.	8576
Накладные расходы, руб.	1030
Бюджет затрат НТИ, руб.	41538

#### **5.4.6 Вывод**

Потребителями на рынке услуг по применению изотопа лютеция модно рассматривать медицинские учреждения, промышленность, НИИ.

SWOT – анализ, позволяет максимизировать прибыль, также для сведения к минимуму неблагоприятные факторы исследования.

По результатам расчёта калькуляции плановой себестоимости следует, что основные затраты приходятся на оплату труда. Материальные затраты на исследования составили 286 руб. Весь бюджет составляет 41538 руб.

## **6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [4].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководителями, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [4], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

### **6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по

группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 16.

Таблица 16 — Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Кафедра ФЭУ НИ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.

На бакалавра, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой чистоты; освещённость; наличие излучения;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-

психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

## **6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ**

### **6.2.1 Организационные мероприятия**

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

### **6.2.2 Технические мероприятия**

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 16.

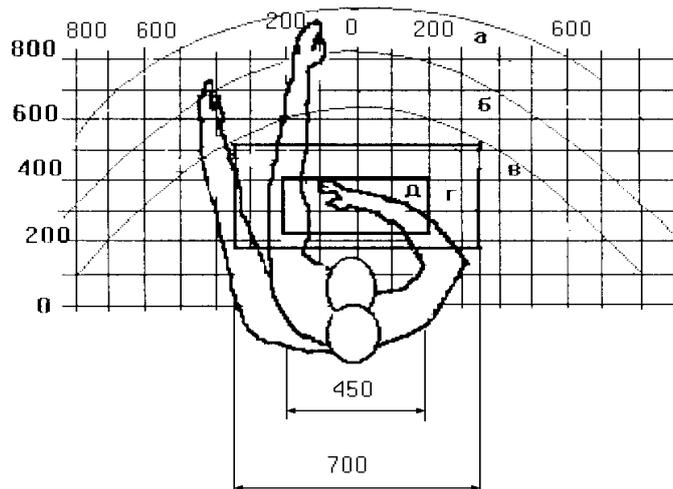


Рисунок 30 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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

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.

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.

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.

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.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- 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.

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.

### 6.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

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 [18] и приведены в таблице 17.

Таблица 17 – 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
Тёплый	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 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

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. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

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 на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [8] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- 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.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [17] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

#### **6.4 Электробезопасность**

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);

- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей) [9].

## **6.5 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно [15], 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. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;

- работа с открытой электроаппаратурой;

- короткие замыкания в блоке питания;

- несоблюдение правил пожарной безопасности;

– наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации .

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. Д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

– исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

– применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;

– правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

– правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения — предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

– обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

– издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены результаты экспериментальных исследований режимов травления на форму и размеры пор полимерных плёнок полиэтилентерефталата, облучённых на циклотроне Инженерной школы ядерных технологий ТПУ ионами  $^{40}\text{Ar}^{8+}$  с энергией 41 МэВ и ионами гелия с энергией 28 МэВ. Показано, что проводимость исходной полиэтилентерефталата трековой мембраны в растворах не зависит от направления тока источника.

Созданы экспериментальные образцы композитной трековой мембраны из полиэтилентерефталата плёнки с тонкими полупрозрачными слоями оксидов титана и кремния на её поверхности.

Были проведены исследования разделения растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$  через композитную трековую мембрану при приложении электрического поля.

Установлено, что скорость ионов магния зависит от полярности электролита. Из экспериментальных результатов определён коэффициент разделения равный 1,0.

Проведённые исследования показали возможность безреагентного мембранного разделения сольватированных ионов близких кристаллических радиусов отличающихся радиусами гидратных оболочек, при приложении внешнего электрического поля. На основании этих исследований можно предположить, что этот метод можно будет также использовать для разделения лантаноидов, например, лютеция и иттербия, которые могут быть использованы для лечения костных тканей и опухолей.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Гришаев В.Ю. Ермакова Я.В. , Mann – Whitney criterion // II Международная научно – практическая конференция «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине», Томск, 19 – 22 мая 2015 г. – Томск: ТПУ, 2015

2. Гришаев В.Ю. Козлова Н.В. Инновационные пути межотраслевого взаимодействия как способ модернизации Российской экономики // XVII Всероссийская научно – практическая конференция студентов, аспирантов, молодых учёных «Социально – экономические и правовые проблемы современной России», Томск, 27-28 апреля 2016 г. – Томск: ТЭЮИ, 2016.

3. Гришаев В.Ю. Исаченко Д.С., Новые способы утилизации радиоактивных отходов РАО // VIII Международная научно – практическая конференция «физико – технические проблемы в науке, промышленности и медицине», Томск, 1 – 3 июня 2016 г. – Томск: ТПУ, 2016

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шаманин И.В., Закау В.В., Кабанов Д.В. Особенности получения радионуклида Лютеций – 177 на реакторе ИРТ-Т [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C84/033.pdf>.
2. Новый метод лечения гормоноустойчивости рака предстательной железы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.raka-prostati.net/lyutecij-pri-rake-prostaty.html>.
3. Получение двухслойных композитных наномембран с асимметрией проводимости / Л.И. Кравец [и др.] // Электрохимия. – 2011. – Т. 47, №4. – С. 499 – 510.
4. Структура и электрохимические свойства трековых мембран, модифицированных в плазме тетрафторэтана / Л.И. Кравец [и др.] // Мембраны и мембранные технологии. – 2011. - №2. С. 126-138.
5. Ясуда Х. Полимеризация в плазме / Х. Ясуда. – М.: Мир, 1988. – 376.
6. Берёзкин В.В. О трековых мембранах / В.В. Берёзкин, А.Б. Васильев, А.И. Берёзкин, Б.В. Мчедлишвили // Природа: Академ изд-во центр «Наука» РАН, 2013, №11. – 37-44 с.
7. Апель П.Ю. Кондуктометрические исследования структуры треков многозарядных ионов в различных полимерах // Химия высоких энергий. – 1991. – Т.25, №2. – С.132-137.
8. Апель П.Ю. Изучение процессов травления следов тяжёлых заряженных частиц кондуктометрическим методом. / П.Ю. Апель, С.П. Третьякова // Приборы и техника эксперимента. – 1980. - №3 – С.58-61.
9. Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии / Ю.Я. Лукомский, Ю.Д. Гамбург // Долгопрудный: Интеллект. 2008 – 424 с.
10. Крешков А.П. Основы аналитической химии. – М.: Химия. 1971. Т.2. – 456 с.

11. Остапенко А.Л. Влияние электрического поля на динамическую вязкость жидких диэлектриков // Журнал технической физики. – 1998. – Т.68 – №1.

12. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / М. Мудлер – М.: Мир, 1999. – 513 с.

