

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

Институт
Направление подготовки
Кафедра

Физико-технический
Физика конденсированного состояния вещества
Общей физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы и γ – облучения на свойства трековых мембран из полиэтилентерефталата»

УДК 53.043

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0БМ41	Филиппова Е.О.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЭФ	Пичугин В.Ф.	д.ф-м.н.		

Консультанты:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская М.В	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Федорчук Ю.М	д.т.н.		

Допустить к защите:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. каф.	Лидер А.М.	к.ф-м.н.		

Томск 2016 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ
03.04.02 ФИЗИКА/ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА,
КВАЛИФИКАЦИЯ – МАГИСТР**

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>	
P1	понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности
P2	проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности
P3	умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности.
P4	проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду
P5	следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P6	проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.
P7	способен применить глубокие фундаментальные знания в области физики металлов и материаловедения (термодинамики, физики фазовых переходов, физики твердого тела, физико-химических процессов), принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах.
P8	способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию результатов научных исследований
P9	способен применить полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий подход для разработки новых оригинальных идей и методов исследования в области физики металлов, материаловедения и термообработки
P10	способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы.
P11	умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.

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

Физико-технический институт
 Направление подготовки – Физика
 Кафедра общей физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Лидер А.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ41	Филипповой Екатерине Олеговне

Тема работы:

«Исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы и γ – облучения на свойства трековых мембран из полиэтилентерефталата»

Утверждена приказом директора

Срок сдачи студентом выполненной работы:

28.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Объектом исследования являются трековые мембраны из полиэтилентерефталата толщиной 10 мкм, размерами пор 0,5 мкм, плотностью пор $5 \cdot 10^7$ пор/см².

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Анализ литературных источников по применяемым в лечении буллезной кератопатии материалов и методов, определение требований к роговичным полимерным имплантатам; экспериментальное исследование поверхностных свойств мембран после плазменного воздействия и стерилизации; раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; раздел «Социальная ответственность»
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М
Приложение А	Демьяненко Н. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат, введение, материалы и методы исследования	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЭФ	Пичугин Владимир Федорович	д.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ41	Филиппова Екатерина Олеговна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ41	Филипповой Екатерине Олеговне

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Физика конденсированного состояния вещества

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. <i>Стоимость материалов.</i> 2. <i>Зарботная плата руководителя проекта.</i> 3. <i>Зарботная плата исполнителей проекта.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	1. <i>Нормы рабочего времени, выполнения проекта</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. <i>Ставка налога отчисления во внебюджетные фонды.</i> 2. <i>Процент дополнительной заработной платы.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. <i>Оценка конкурентоспособности проекта</i> 2. <i>Планирование работ в течении осуществления проекта.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. <i>Планирование и расчет бюджета научной-исследовательской работы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	1. <i>Определение эффективности и перспектив научного исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
2. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ41	Филиппова Е.О.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ41	Филипповой Екатерине Олеговне

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Физика конденсированного состояния вещества

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	– Рабочее место находится на кафедре ЭФ НИИ ТПУ в учебном корпусе № 19. – – Вредные факторы: – электромагнитное излучение – ионизирующие излучение – микроклимат – освещенность – Опасные факторы: – электрический ток
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	– Исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы и γ – облучения на свойства трековых мембран из полиэтилентерефталата

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Обоснование выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: - электромагнитное излучение - ионизирующие излучение - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Обоснование выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности: - электрический ток - возможность возникновения пожара - Определение степени опасности (обоснование) СКЗ, СИЗ
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);	- Наличие отходов - Разработать решения по утилизации

– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	– Сильные морозы – Диверсия – Разработать профилактические меры по устойчивой работе производства
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	– Привести перечень ГОСТ СНиПов использованных в работе
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	1. План эвакуации 2. План размещения светильников

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ41	Филиппова Е.О.		

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) Физика

Уровень образования Магистратура

Кафедра Общей физики

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.04.16	Обзор литературы	30
08.05.16	Расчеты и аналитика	30
22.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
02.06.16	Социальная ответственность	15
03.06.16	Приложение на иностранном языке	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЭФ	Пичугин Владимир Федорович	д.ф-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОФ	Лидер Андрей Маркович	к.ф-м. н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 134 страниц, 31 рисунков, 21 таблиц.

Ключевые слова: трековые мембраны, полиэтилентерефталат, низкотемпературная атмосферная плазма, ионизирующее облучение, буллезная кератопатия, кератопластика, биосовместимость, стерилизация.

Объектами исследования являются трековые мембраны из полиэтилентерефталата толщиной 8 мкм, диаметром пор 0,5 мкм, плотностью пор $5 \cdot 10^7$ пор/см².

Цель работы – исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы на поверхностные свойства ПЭТФ трековой мембраны и изучение их изменения после последующего воздействия ионизирующего γ - излучения радионуклида ⁶⁰Со в стерилизующих дозах 1 кГр и 10 кГр.

В работе проведены исследования поверхностных свойств трековых мембран после плазменного воздействия и стерилизации γ - излучением радионуклида ⁶⁰Со в стерилизующих дозах 1 кГр и 10 кГр методами сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, ИК-спектроскопии, «сидячей» капли, изучена проницаемость мембран по воде и хлориду натрия, а также исследованы электрокинетические свойства.

В результате исследования установлено, что воздействие низкотемпературной атмосферной плазмы приводит к увеличению шероховатости поверхности трековых мембран, уменьшению краевого угла смачивания и увеличению поверхностной энергии за счет уменьшения числа неполярных и увеличения числа полярных функциональных групп в тонком приповерхностном слое ТМ, воздействие на ТМ малых доз γ -излучения ⁶⁰Со приводит к уменьшению шероховатости поверхности.

Определения

В данной работе использованы термины, имеющие следующие определения:

буллезная кератопатия – нарушение функции эндотелиального слоя роговицы, ведущее к излишней гидратации стромы с образованием в эпителиальном слое характерных пузырьков.

кератопластика - операция по трансплантации донорской роговицы или искусственных роговичных имплантатов.

биосовместимость - способность имплантата после внедрения в живой организм, подавлять побочные проявления, вызывая клеточный или тканевый ответ, необходимый для получения оптимального терапевтического эффекта.

гидрофильность - характеристика интенсивности молекулярного взаимодействия вещества с водой, способность хорошо впитывать воду, а также высокая смачиваемость поверхности водой.

Оглавление

Введение.....	14
Глава 1. Аналитический обзор.....	16
1.1. Буллезная кератопатия	16
1.2 Консервативные и хирургические способы лечения буллезной кератопатии	17
1.3 Кератотрансплантация: методы кератопластики, материалы, применяемые для пересадки роговицы.	18
1.4. Возможность использования искусственных материалов в кератопластике	20
1.5. Методы изготовления трековых мембран на основе полиэтилентерефталата	24
1.6. Трековые мембраны на основе полиэтилентерефталата и перспективы использования в кератопластике	28
Глава 2. Экспериментальные методы исследования.....	34
2.1. Постановка задачи исследований.....	34
2.2. Образцы для исследований	35
2.3. Методика стерилизации гамма – лучами полученных мембран.....	36
2.4. Методика воздействия низкотемпературной плазмы на поверхность мембран при атмосферном давлении	37
2.5. Электронно-микроскопические методы.	38
2.6. Атомная силовая микроскопия.....	38
2.7. Инфракрасная спектроскопия.....	40
2.8. Исследование смачиваемости поверхности и свободной энергии поверхности	41
2.9. Исследование электрокинетических свойств.....	44
2.10. Исследование проницаемости мембран.....	45
Глава 3. Экспериментальные результаты	47
3.1. Исследование поверхностных свойств модифицированных плазмой трековых мембран	47

3.2. Влияние процессов стерилизации ионизирующим облучением на поверхностные свойства ПЭТФ трековых мембран.....	58
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	70
Введение.....	70
4.1. SWOT-анализ.....	70
4.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	74
4.3. Бюджет научного исследования	75
4.3.1. Специальное оборудование для научно-исследовательских работ.....	77
4.3.2. Расчет основной заработной платы.....	78
4.3.3. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	80
4.3.4. Отчисления на социальные нужды	80
4.3.5. Накладные расходы	81
Глава 5. Социальная ответственность.....	83
Введение.....	83
5.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	83
5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих	86
5.2.1. Требования к ПЭВМ и организация работы организационные мероприятия	86
5.2.2. Условия безопасной работы.....	88
5.2.2.1. Производственный шум	88
5.2.2.1. Микроклимат	89
5.2.3. Расчет искусственной освещенности.....	90
5.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	92
5.3.1. Электробезопасность	93
5.3.2. Пожаровзрывобезопасность.....	94
5.4. Охрана окружающей среды	96
5.5. Защита в чрезвычайных ситуациях	97

5.6. Промышленная санитария.....	98
5.7. Правовые вопросы обеспечения безопасности.....	99
Заключение	102
Список публикаций.....	103
Список использованных источников	106
Приложение А	119

Введение

Буллезная кератопатия (БК) является тяжелым, трудно поддающееся лечению прогрессирующим заболеванием, и наиболее распространенной причиной корнеального слабовидения на территории Российской Федерации. В патогенезе БК ведущую роль играет несостоятельность барьерной функции слоя клеток эндотелия, что ведет к пропитыванию внутриглазной жидкостью стромы с постепенным распространением отека на всю толщу роговой оболочки с образованием пузырей на поверхности, следствием чего является нарушение прозрачности роговицы, снижение остроты зрения и выраженный болевой синдром. При лечении БК широко используются консервативные и хирургические методы, применение которых не всегда обеспечивает высокие и стабильные клинико-функциональные результаты. Одним из перспективных направлений в лечении БК является использование полупроницаемых мембран, нормализующих движение жидкости в роговой ткани и обеспечивающих тем самым ее прозрачность. В связи с этим поиск и создание биосовместимых материалов, способных поддерживать роговицу в слабо дегидрированном состоянии, является актуальной задачей. Особый интерес представляют трековые мембраны небиологического типа на основе полимера полиэтилентерефталата (ПЭТФ).

Предмет исследования: воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы на поверхностные свойства ПЭТФ трековой мембраны и изучение их изменения после последующего воздействия ионизирующего γ - излучения радионуклида ^{60}Co .

Объектом исследования являются трековые мембраны из полиэтилентерефталата толщиной 10 мкм, размерами пор 0,5 мкм, плотностью пор $5 \cdot 10^7$ пор/см².

Цель работы - исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы на поверхностные свойства ПЭТФ трековой мембраны и

изучение их изменения после последующего воздействия ионизирующего γ - излучения радионуклида ^{60}Co в стерилизующих дозах 1 кГр и 10 кГр.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Исследовать топографию поверхности трековых мембран, определить параметры их шероховатости, а также влияние режимов модификации и γ -облучения в стерилизационных дозах на структуру поверхности и физико-химические свойства мембран.
2. Исследовать влияние низкотемпературной плазмы и γ -стерилизации на химический и фазовый состав ПЭТФ трековых мембран.
3. Определить параметры лиофильности, свободную энергию поверхности ПЭТФ трековых мембран и исследовать влияние плазменной модификации и γ - стерилизации на гидрофобно-гидрофильный баланс поверхности.
4. Исследовать зависимость величины краевого угла смачивания от параметров шероховатости поверхности ТМ, модифицированной плазменным воздействием и γ -стерилизацией с целью определения условий регулирования степени гидрофильности поверхности при сохранении прочностных характеристик мембран.
5. Исследовать электрокинетические характеристики поверхности ПЭТФ трековых мембран и влияние воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы и ионизирующего γ - излучения на значение дзета-потенциала.

Глава 1. Аналитический обзор

1.1. Буллезная кератопатия

На территории Российской Федерации насчитывается более 500 тысяч слабовидящих и слепых [1], среди которых около 18% приходится на пациентов с патологией роговицы [1, 2].

Эпителиально-эндотелиальная дистрофия роговицы (ЭЭД) или буллезная кератопатия (БК) является тяжелым, прогрессирующим заболеванием роговицы, связанным с декомпенсацией эндотелиального слоя клеток. После повреждения эндотелия и утраты им функции полупроницаемой мембраны между стромой роговицы и влагой передней камеры, постепенно развивается отек стромы роговой оболочки (рис. 1).

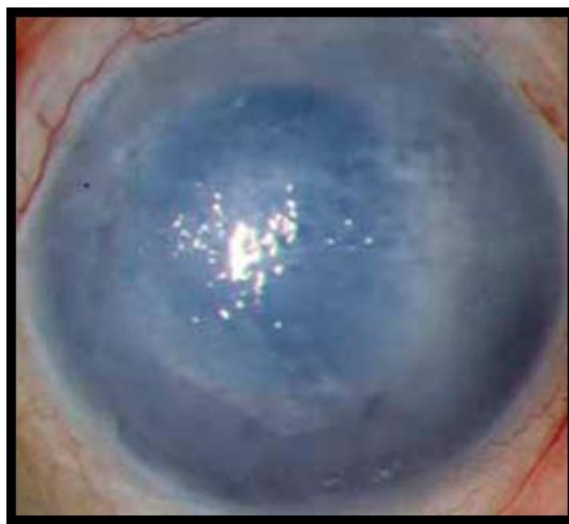


Рисунок 1. Отек роговой оболочки больного с ЭЭД

В дальнейшем влага передней камеры проникает под эпителий и отслаивает его с развитием пузырей (рис. 2) и рецидивирующих эрозий роговицы, вызывающих мучительные для пациента болевые ощущения, светобоязнь и слезотечение [3-5].

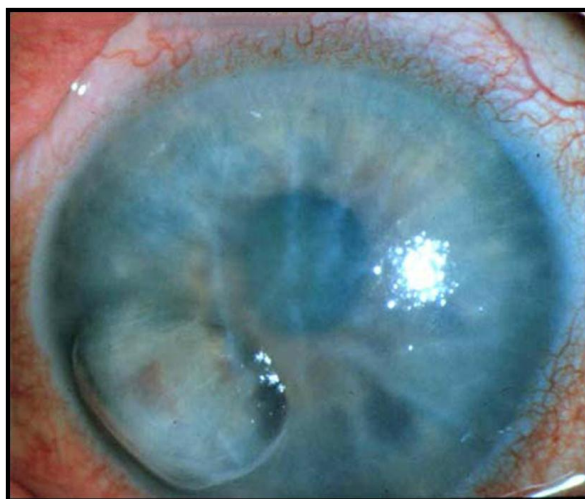


Рисунок 2. Отек и булла роговой оболочки больного с буллезной кератопатией

Частота возникновения эпителиально-эндотелиальной дистрофии роговицы или буллезной кератопатии остается достаточно высокой [6-8]. Так, несмотря на опыт применения хирургии малых разрезов, совершенствование микрохирургической техники, появление гибких ИОЛ и новых вискоэластиков, при экстракции катаракты с имплантацией заднекамерной ИОЛ, ЭЭД роговицы развивается в 0,1-11,3% случаев, а при имплантации переднекамерной ИОЛ – до 14%. По данным ряда авторов, частота ЭЭД, как осложнение после офтальмологических вмешательств, в целом составляет от 0,6 до 13 % [9, 10]. На территории г. Томска и Томской области распространенность ЭЭД роговицы составляет: 2007 год- 0,76 %, 2008 год- 0,89 %, 2009 – 0,9 %, 2010 – 1,03 %, 2011 – 0,89 %, 2012 – 0,65 %, 2013 – 1,11 %, среди всех патологии органов зрения при стаже заболевания у большинства больных - 4 года [11]. В связи с этим проблема профилактики развития и лечения БК остается чрезвычайно актуальной.

1.2 Консервативные и хирургические способы лечения буллезной кератопатии.

Существующие на современном этапе методы лечения ЭЭД условно разделяются на консервативные и хирургические. Выбор метода лечения ЭЭД зависит от стадии патологического процесса.

Консервативные методы включают применения различных фармакологических, кератопластических, гиперосмотических, слезозамещающих, антиоксидантных средств, а также лечебных мягких контактных линз, лазерного излучения и так далее [12, 13]. Однако консервативное лечение ЭЭД роговицы является недостаточно эффективным, так как обеспечивает лишь кратковременный положительный результат [14] и не в состоянии восстановить нарушенную барьерную функцию эндотелия роговицы. По мнению ряда авторов, медикаментозная терапия развитых и далеко зашедших стадий ЭЭД практически бесперспективна [15-18] и может использоваться только как дополнение к хирургическим методам лечения [12].

Значительно более эффективными являются хирургические методы, которые условно подразделяются на нетрансплантационные и трансплантационные, последние из которых являются патогенетически наиболее обоснованными [19].

1.3 Кератотрансплантация: методы кератопластики, материалы, применяемые для пересадки роговицы

Трансплантационные методы кератопластики подразделяются на четыре группы в зависимости от техники проведения: сквозные (удаление всех слоев роговицы), послойные (удаление передних или задних слоев роговицы реципиента на определенную глубину), послойно-сквозные (удаление слоев роговицы передней и задней ее частей разного диаметра) и межслойные (расслаивание слоев роговицы и помещение в расслоенный «карман» трансплантата).

В зависимости от характера пересаживаемого материала различают: аутотрансплантацию (пересадка тканей и органов в пределах одного организма), изотрансплантацию (пересадка органов и тканей между организмами, идентичными в генетическом отношении (однойцовые близнецы), аллотрансплантацию (пересадка органов и тканей между организмами одного вида), ксенотрансплантацию (пересадка органов и тканей

между организмами разных видов), □эксплантацию (пересадка небиологического субстрата) и комбинированную пластику (пересадка тканей и небиологического субстрата).

Однако среди всех существующих видов кератопластики наиболее обоснованным хирургическим способом лечения ЭЭД роговицы является сквозная аллотрансплантация, включающая в себя пересадку донорской роговицы, взятую у умершего человека и являющуюся единственной тканью, способной прижиться прозрачно и вернуть зрение больному. Получение качественного донорского материала для сквозной кератопластики было и остается одной из кардинальных проблем в пересадке роговицы во всем мире. Еще В.П. Филатов в свое время писал: «Получение глаз в достаточном количестве на местах – не всегда легкое дело. А поэтому необходимо обеспечить снабжение пунктов, где идет широкая работа по пересадке из больших городов. Крупные города должны взять на себя снабжение периферии глазами, удовлетворив, конечно, прежде всего потребность в пересадочном материале имеющих в них глазных клиник и институтов» [20].

Условия и порядок взятия анатомических материалов у умершего человека для трансплантации определяются статьей 8 закона Российской Федерации о трансплантации органов и (или) тканей человека. Согласно статье 8 закона РФ о трансплантации органов «изъятие органов и (или) тканей у трупа не допускается, если учреждение здравоохранения на момент изъятия поставлено в известность о том, что при жизни данное лицо либо его близкие родственники или законный представитель заявили о своем несогласии на изъятие органов и (или) тканей после смерти для трансплантации реципиенту» [21]. Такая формулировка закона предусматривает возможность для каждого гражданина письменно отказаться от того, чтобы после смерти у него изъяли органы или ткани, в ином случае предусматривается презумпция согласия, согласно которой потенциальный донор еще при жизни дал согласие на то, чтобы быть донором. Однако осуществление трансплантации является сложным и в юридическом и в медицинском плане мероприятием. Согласно статье 4 Закона

Российской Федерации от 22 декабря 1992 г. N 4180-1 "О трансплантации органов и (или) тканей человека" забор и заготовка органов, а также их трансплантация может осуществляться только в государственных и муниципальных учреждениях здравоохранения, утверждённых федеральным органом исполнительной власти [22]. В перечень разрешенных организаций по осуществлению кератопластики с использованием донорских (трупных) материалов включены три офтальмологических центра (по данным 2015 года), расположенных на территории г. Москвы, г. Омска, г. Самары. Таким образом, исключается возможность проведения замещения роговичных лоскутов донорскими тканями на территории государственных и муниципальных учреждениях других городов, тем самым пациенты с ЭЭД роговицы лишаются возможности оказания подобного вида помощи. Это способствует поиску и разработке искусственных материалов полимерного происхождения для использования в кератопластике в качестве имплантатов.

1.4. Возможность использования искусственных материалов в кератопластике: органические материалы для изготовления имплантатов

Разработка искусственных материалов по замещению роговичных лоскутов ведутся на протяжении последних пятидесяти лет. В 1966 году была произведена имплантация линз из целлоидина в роговичные ткани (Barraquer J.). Результат был неудовлетворительным по причине выраженной неоваскуляризации и помутнения роговой оболочки. Краснов М.М. и Орлова Е.М., изучая в 1967г. поведение синтетических материалов в строме, отмечали, что при интраламеллярной аллопластике нередко возникает асептический некроз роговицы над дисками и экструзия имплантата. Исходя из полученных осложнений, авторы сделали вывод о том, что имплантат следует помещать как можно глубже в слои роговицы, тогда его поведение в строме становится полностью ареактивным [23].

Морхат И.В. вместе с соавторами в 1976-80 гг. провели серию экспериментов по имплантации выпукловогнутых линз, изготовленных из

пластмассы АКР-7 диаметром 6-7 мм и толщиной 0,5-1,0 мм, в слои роговицы. На основании клинических исследований, проведённых авторами, были сделаны следующие выводы: 1) более ареактивное пребывание в роговице имели имплантаты с меньшим диаметром; 2) чем глубже в слои стромы введён имплантат, тем меньше процент его отторжения [24, 25]. В 1967 г. Dohlman С., Refojo М. в ходе исследований в области кератопротезирования использовали глицерил-метакрилатные диски с 68% содержанием воды для интракорнеальной имплантации на 25 глазах кроликов [26, 27]. В раннем послеоперационном периоде авторы наблюдали раздражение глаза и умеренный отёк роговицы, которые проходили через 2 недели. В некоторых случаях через 6 недель наблюдалась слабая опалесценция роговицы вокруг задней поверхности диска. На двух глазах отмечали выраженную реакцию роговицы на глицерилметакрилат в виде значительного отёка, инфильтрации и васкуляризации. Из 25 пересаженных дисков отторглось 13 путём асептического некроза надлежащей стромы в течение 3,5 месяцев. Авторы провели гистологическое исследование роговичных дисков в сроки от 6 недель до 6 месяцев после имплантации глицерилметакрилатных элементов, которое выявило минимальные тканевые изменения. Строма вокруг имплантата представлялась несколько более плотной, особенно вдоль задней поверхности диска. В роговичных дисках с протрузией имплантатов отмечали лишь некроз эпителия и истончение стромы, в то время как кератоциты оставались интактными, и отсутствовали любые проявления воспаления.

Животовский Д.С. в 1970-72 гг. проводил серию экспериментов по имплантации линз из оргстекла. Положительные результаты и хорошая переносимость материала роговичной тканью при имплантации положительно диоптрийных линз, а также большое количество осложнений при имплантации отрицательных линз из этого же материала натолкнуло исследователя на возможность применения имплантатов в форме кольца для ослабления рефракции. Автор использовал кольца с внутренним и внешним диаметрами 4 и 6 или 5 и 7 мм соответственно [28, 29].

В 1982-86 гг. McCarey исследовал линзы из гидрогеля на приматах. В ходе экспериментов была выявлена хорошая биосовместимость тканей роговицы и гидрогеля, однако рефракционный результат был слабый, нестабильный и малопрогнозируемый [30-32]. Схожие данные получили и американские авторы, изучавшие этот же материал, Binder P. [33] и McDonald M. с соавт. 1981г. [34]; Werblin T., 1983г. [35]. В 2007 году группа авторов Мороз З.И., Калинин Ю.Ю., Гурбанов Р.С. опубликовали исследования по интраламеллярной кератопластике с имплантацией сегментов из сополимер коллагена на основе гидрогеля в лечении кератоконуса [36, 37]. Полученные данные на основе 207 прооперированных пациентов были соизмеримы с ранее опубликованными данными авторов по имплантации сегментов из ПММА. Из осложнений авторы указывали на отложения на поверхности сегмента в тоннеле невыясненной этиологии, не влияющие на остроту зрения и не вызывающие реакции со стороны стромы; экструзии концевой отрезка сегмента в разрез, затруднённую имплантацию сегмента в тоннель за счёт большей «мягкости» материала. Из всех когда-либо используемых материалов для интракорнеальной имплантации самым привлекательным оказался полиметилметакрилат, применённый впервые Stone W., Herbert E. в 1953г. [38], зарекомендовавший себя также и в качестве интраокулярных линз для коррекции афакии. Он выгодно отличался от других по целому ряду параметров: 1) материал показал самую высокую биосовместимость с роговичной тканью, низкую инертность, был нетоксичен, имел малый вес и рефракционный индекс, близкий к роговичному [39]; 2) ПММА оказался удобен и с практической точки зрения как для мастеров на производстве – достаточно пластичен, лёгок в обработке с технической точки зрения, с ним удобно работать для изготовления изделий любой сложности; 3) так и для хирурга – достаточно плотный в отличие от силикона и гидрогеля, но одновременно очень упругий и пластичный по сравнению с оргстеклом, пластмассами и полисульфонами. Это обеспечивает лёгкость имплантации сегментов неправильной сложной формы в дугообразный тоннель. Недостатком

всех ранее используемых методов интрастромальной кератопластики было то, что зона операции затрагивала центр роговицы с имплантацией в неё экзогенного материала.

Однако все выше перечисленные используемые полимерные материалы не нашли своего клинического применения в лечении буллезной кератопатии. Наиболее значимые работы в использовании полимерных материалов для лечения буллезной кератопатии можно выделить следующие.

В 1997 году Дронов М. М. и Каранов В С. в качестве роговичного трансплантата в лечении буллезной кератопатии предложили желатиновую пленку толщиной 3-5 мкм [40]. Пленку готовили из желатина (ПО "ТАСМА", Казань) путем дублирования его NNN"N" тетраизопророксиметилдиамидом малоновой кислоты (ЛИКИ-19). Для этого в 3% -ный водный раствор желатина вводили 0,8-1,24 (0,5-0,9) способ лечения буллезной кератопатии, патент № 208236410-4М) ЛИКИ-19. Пленки толщиной 3-6 мкм создавали на подложке миллипорового фильтра "Владипор", используемого в качестве опоры. После высушивания в течение 40 минут на открытом воздухе при температуре 20°C и относительной влажности 65% подложки помещали в 70%-ный этанол для стерилизации и длительного хранения. Приготовленные пленки обладали нужной прозрачностью и характеризовались температурой плавления выше 100°C с адгезионной прочностью к стеклянной подложке на уровне 300 г (по Дерстуганову) [41]. Путем послойной кератопластики выкроенную трепаном пленку укладывали на роговичное ложе вместе с роговичным лоскутом и фиксировали швами 10-00. Недостатками способа являлось его трудоемкость, связанная с необходимостью наложения значительного количества швов, требующих в дальнейшем их обязательного удаления, что часто приводило к формированию индуцированного астигматизма роговицы за счет формирования рубца, а также побочным осложнениям в виде снижения качества зрения после операции.

Дружинин И.Б. в 2009 году предложил использовать гидрогелевый диск в целях осуществления барьера между влагой передней камеры и тканями

роговицы для лечения буллезной кератопатии [42]. Согласно предложенному им способу, после обработки операционного поля и местной анестезии, отступив от лимба 1,5-2,0 мм на 12 часах трансконъюнктивально, в направлении глубоких слоев стромы роговицы, формировали тоннель шириной 2,5-3,0 мм и длиной 2,5-3,0 мм, и затем расслаивали строму роговицы на глубине $\frac{2}{3}$ ее толщины от поверхностных слоев, с последующим формированием интрастромального кармана округлой формы с диаметром 8,5-9,0 мм. Далее, в сформированный интрастромальный карман роговицы имплантировали с помощью стандартного инжектора для имплантации интраокулярных линз гидрогелевый диск из сополимера гидрогеля диаметром 8,0 мм и толщиной 0,1 мм. После имплантации гидрогелевого диска края роговичного тоннельного разреза самогерметизировались. Недостатками метода являлись техническая сложность оперативного вмешательства, а также высокая гидрофильность имплантируемого материала, который в силу физико-химических характеристик не был способен уменьшить или предотвратить излишнюю гидратацию стромы роговицы, а также относительно большая толщина имплантируемого диска (0,1 мм).

Таким образом, в ходе изучения проблемы лечения буллезной кератопатии и анализа литературных источников по применению полимерных материалов в кератопластике, мы пришли к выводу, что имплантаты, выполненные на основе полимерных мембран, могут быть весьма перспективными для использования в кератопластике.

В связи с этим возникли вопросы выбора полимерного материала в качестве основы мембраны и метода создания пористой структуры мембраны.

1.5. Методы изготовления трековых мембран на основе полиэтилентерефталата.

В 1962 г. было установлено, что тяжелые заряженные частицы и осколки деления атомных ядер создает в диэлектрических материалах сплошные протяженные дефекты структуры, называемые треком, который после специальной химической обработки становятся видимыми. Этот эффект стал

основой для применения в качестве трековых детекторов ядерных частиц таких диэлектрических материалов как слюда, стекло, природные минералы, а также синтетические полимеры. В тоже время стало ясно, что треки ядерных частиц, после соответствующего химического травления можно использовать для перфорации тонких пленок материала с целью получения фильтров с заданной геометрической формой пор, контролируемой плотностью и размерами пор. С этого времени ядерные частицы попали в арсенал инструментов, которые используются для создания мембран [43, 44].

Для получения фильтров изначально использовались осколки деления, которые образовывались при облучении тонкой пластинки урана (^{235}U) потоком нейтронов из ядерного реактора. Осколки деления имеют большой заряд и энергию и значительно разрушают структуру полимера по траектории движения частицы, что впоследствии получило название «Nuclepores» компании «Nuclepore corporation» для обозначения фильтров. Использование пучков ускоренных частиц для облучения пленок и получения треков в полимерах было предложено треков на циклотроне У-300 лаборатории ядерных реакций ОИЯИ [43] в начале 70-х годов. Ускорители имеют ряд преимуществ и обеспечивают мощные потоки многозарядных ионов, позволяющие использовать однородные по составу и энергии пучки ионов, что приводит к получению качественных и дешевых фильтров.

Проходя сквозь пленку облучаемого вещества, тяжелый ион образует канал сильного радиационного повреждения, в которых молекулы облучаемого полимера разорваны и расщеплены на более мелкие компоненты (радикалы). В результате радиационного повреждения образуется область вещества – латентный трек – с измененной структурой, обладающая повышенной химической растворимостью. Из-за стабильности полимеров к воздействию температуры и влажности среды, область латентного трека может сохраняться в течение нескольких лет [43-45].

Облучение полимеров тяжелыми ионами приводит к разрыву или перекрестной сшивки молекулярных цепей (рис. 3).

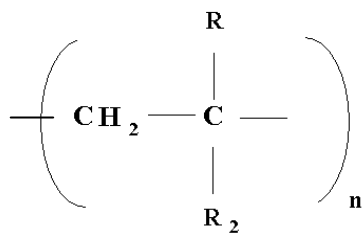


Рисунок 3. Структуры полимеров, подверженных разрыву

Разрывы способствуют образованию более коротких молекул с повышенной радиационной стойкостью и изменениям свойств вещества в латентном треке: увеличения растворимости полимера, уменьшение средней молекулярной массы, ухудшение механических свойств, уменьшение температуры размягчения. Ионы, радикалы и активированные молекулы, образующиеся при радиационном воздействии, могут вызывать реакцию между молекулами самого полимера - связывание макромолекул между прочными углеродными мостиками и создание разветвленной пространственной сетки.

Дальнейшее воздействие специально подобранных химических травителей на полимеры с латентными треками приводит к образованию пустотелых каналов травления [44, 46, 47].

Выделяют три стадии радиационного повреждения полимеров при облучении тяжелыми ионами. На первой стадии процесса происходит передача энергии заряженной частицы веществу. Продолжительность облучения определяется параметрами заряженной частицы (зарядом, массой, энергией), а также тормозной способностью облучаемого вещества. Высвобождающиеся δ -электроны передают свою энергию атомам и молекулам вещества вокруг траектории первичной частицы, в результате чего они ионизируются и возбуждаются. Плотность ионизации, пространственное распределение ионов, соотношение доли потерь энергии на ионизацию и возбуждение зависят в конечном итоге также от параметров первичной частицы. Продолжительность первой стадии процесса (10^{-13} - 10^{-12}) с, обусловлена временем торможения δ -электронов до субвибрационных энергий (менее 6 эВ). На этом заканчивается непосредственное воздействие первичной частицы на вещество. В результате этого воздействия происходит образование латентного трека [46, 48, 49].

На второй стадии процесса в течение (10^{-12} - 10^{-9}) с происходит перенос и перераспределение энергии, что приводит к установлению теплового равновесия в области трека. Основными механизмами на этой стадии являются: передача энергии в столкновениях продуктов ионизации, накопление энергии в форме потенциальной энергии возбужденных молекул и химически активных радикалов, люминесценция возбужденных атомов. По окончании второй стадии процесса энергия оказывается сконцентрированной возбужденными молекулами и свободными радикалами, а электроны, которые замедлились до тепловых энергий, будут захватываться ловушками.

На третьей стадии латентные треки могут наблюдаться с помощью электронного микроскопа, однако полимер может разрушаться под воздействием электронного пучка микроскопа. Поэтому следующим этапом должно быть химическое травление латентных треков с целью получения сквозных пор, плотность и диаметр которых затем измеряется кондуктометрическим методом в специальной ячейке [49, 47, 50].

Наиболее универсальным и широко используемым методом получения сквозных треков в трековой мембране (ядерный фильтр) является травление облученного полимера в избирательном химическом травителе. Суть травления заключается в растворении материала, специально подобранным «избирательным» травителем. В этом случае растворение идет преимущественно в области латентного трека и с большой скоростью. В результате травления образуются сквозные треки (поры), представляющие собой пустотелый канал [51, 52].

Таким образом, для получения сквозной поры, должно выполняться соотношение $v_t > v_b$, то есть скорость травления вещества в треке (v_t) должна быть всегда выше скорости травления полимера вне облученной области (v_b).

Сечение трека определяется типом налетающего иона и параметрами химического раствора и режимами травления. Оно может быть: цилиндрическим, конусообразным, в виде пересекающихся двух конусов и т.д.

Цилиндрическая форма пор получается тем легче, чем выше Z налетающего иона.

Свойства трековых мембран зависят от состава полимера, его толщины, диаметра и формы пор, а также от плотности пор. Каждый из этих параметров, в свою очередь, зависит от характеристики применяемых ионных пучков.

Исследования, проведенные при изготовлении ядерных микрофильтров, показали возможность использования и более легких ионов, в частности ионов ^{40}Ar , которые можно получать на относительно небольших ускорителях, в частности на циклотроне НИИ ЯФ ТПУ. Циклотрон НИИ ЯФ ТПУ имеет напряженность магнитного поля - 1,5 Т, радиус вывода пучка ионов – 0,53 м и позволяет ускорять ионы кислорода, азота, аргона с энергией 1 МэВ/нуклон. Наиболее подходящим для получения мембран является пучок ионов $^{40}\text{Ar}^{+8}$ с полной энергией около 41 МэВ. В этом случае возможно создание сквозных треков в ПЭТФ пленке толщиной (10-15) мкм и получение трековых мембран.

1.6. Трековые мембраны на основе полиэтилентерефталата и перспективы использования в кератопластике

Одним из первых работ применения трековых мембран в офтальмологии является труд самарских офтальмологов совместно с учеными из Объединенного Института Ядерных Исследований [53]. Согласно их работам, трековые мембраны из полиэтилентерефталата с модифицированной в плазме поверхностью были применены в качестве эксплантодренажа в хирургии некоторых форм вторичной глаукомы. Апробация материала была проведена на 30 кроликах породы Шиншилла и 134 пациентах с вторичной глаукомой (разрешение на проведение клинических исследований №01-26718/06 от 28.12.2009). Согласно результатам, разработанный дренаж не обладает местно-раздражающим, сенсibiliзирующим действием и соответствует требованиям, предъявляемым к изделиям, постоянно контактирующим с внутренней средой глаза [54]. Однако хирургия роговицы имеет свои

особенности, отличающиеся от хирургии глаукомы [55] и опирающиеся на анатомическое строение и физиологию роговой оболочки.

Обменные процессы в роговой оболочке замедлены и осуществляются за счет влаги передней камеры и сосудов перикорнеальной петливой сети, расположенной вокруг роговицы [56].

Таким образом, материал для корнеального имплантата должен быть способен для избирательной проницаемости жидкости в целях поддержания обменных процессов роговой оболочки.

Трековые мембраны из полиэтилентерефталата имеют ограниченную смачиваемость поверхности и относительно небольшую поверхностную энергию (~ 32 мДж/м²) [57], что заставляет искать методы модификации поверхности для удовлетворения необходимых требований.

Одним из наиболее перспективных и современных методов модификации поверхности полимерных материалов является воздействие низкотемпературной плазмы, которое позволяет изменять свойства поверхности полимеров в достаточно широких пределах [58]. Преимуществом воздействия плазмы является то, что благодаря малой глубине проникновения активных частиц плазмы в материал изменяются свойства тонкого поверхностного слоя мембраны. Объемные свойства материала, при этом, не претерпевают изменений [59], что является критичным, с позиций сохранения механических и физико-химических свойств имплантата.

В последнее время, появилось множество работ, посвященных исследованию влияния низкотемпературной плазмы на свойства полимерных материалов, в том числе и мембран [60-63].

В работе [64] приводятся результаты исследования воздействия импульсной плазмы атмосферного давления на морфологические и химические свойства ряда полимерных материалов: полиоксиметилен ко-полимер, поликарбонат, полипропилен, полиэтилен малой плотности, полиэтилентерефталат, полистирен, силиконовая резина. Показано, что взаимодействие поверхности с азотной или азотсодержащей плазмой приводит

к образованию азотсодержащих групп в поверхностном слое полимера в форме имидных и уретанных групп, что повышает их биосовместимость, увеличивая смачиваемость и величину адгезии к органическим веществам. Данные работы [65], в которой исследуется влияние низкотемпературной плазмы атмосферного давления на свойства поверхности пленок полипропилена и политерефталата, а также работы [66], в которой приводятся результаты действия плазмы на свойств непредельных каучуков, отмечают значительную гидрофилизацию поверхности материалов, сохраняющуюся в течение длительного времени (до 120 суток). Гидрофилизация поверхности материала после плазменного воздействия связана в первую очередь с изменением его химической структуры, а также с образованием на поверхности и в приповерхностном слое избыточного поверхностного заряда.

В последнее время большое внимание уделяется применению холодной плазмы при атмосферном давлении для придания материалу гидрофильных свойств. Наиболее эффективным источником подобного рода плазмы является барьерный разряд. Недостатком барьерного разряда является его неоднородность, которая может привести к повреждению материала, если энерговыведение в местах неоднородности высокое. Однако существует ряд методов создания плазмы высокой однородности разряда, такой как низкотемпературная атмосферная плазма. Низкотемпературная атмосферная плазма является источником активных веществ, таких как радикалы, возбужденные и заряженные частицы, фотоны, в связи с чем, следует ожидать стерилизационного эффекта в результате плазменного воздействия. С помощью холодной плазмы можно изменять поверхностные свойства материалов без существенной тепловой нагрузки.

Проблемы сенсibilизации и модифицирования поверхности полиэтилентерефталата ПЭТФ также широко обсуждаются в настоящее время [67]. В ряде работ исследуется влияние плазмы различного состава [68-70], а также облучения ионами Ar, (интервал энергии 0.2 – 1.4 кЭв) [71] на свойства поверхности ПЭТФ.

Результат воздействия плазмы и пучка ионов Ag на свойства ПЭТФ идентичен: возрастает гидрофильность поверхности и параметр R_a (от 5.8 нм до 49.7 нм), уменьшается контактный угол смачивания, изменяется химический состав (увеличение гидрофильных групп, снижение групп (C–O, C=O)).

Данные XPS анализа, представленные в работе [72] показывают, что результат воздействия атмосферной плазмы на поверхность ПЭТФ комплексный: *i*) с одной стороны, уменьшается количество C=C и C=O групп, а также количество бензольных групп в результате воздействия гелиевой (He) плазмы, что свидетельствует о возможном разрыве цепи ПЭТФ по связям “висячих” ароматических групп; *ii*) с другой стороны, под воздействием плазмы, на поверхности формируются аминные (C–N), карбонильные (C=O) и ангидридные (O=C–O–C=O) гидрофильные функциональные группы, а также комплексы углерод - кремний (C–Si). Подобные результаты приводятся и в работах [73] и [74]. В результате воздействия плазмы растет поверхностная энергия, увеличивается гидрофильность поверхности ПЭТФ и шероховатость поверхности. Подобного рода эффекты характерны как для плазмы высокочастотного, так и микроволнового разряда [75]. В работе [76] ПЭТФ подвергался воздействию комбинированной плазмы (10% азота и 90% гелия) и УФ света, в результате чего наблюдались типичные для плазменного воздействия эффекты: разрыв C–C/C–H связей, присутствующие в полимере, с последующим их заполнением кислородом и азотом атмосферы, возрастание поверхностной энергии за счет полярной составляющей и гидрофильности. В работе [77] приводятся результаты сравнительного исследования влияния плазмы различного типа (рабочий газ либо кислород O₂ либо азот N₂) на свойства поверхности ПЭТФ. В качестве основного метода анализа использовалась ИК спектроскопия. Плазменное воздействие приводит изменению спектров ИК оптического поглощения, наблюдается уширение полосы при 1710 нм, обусловленной валентными колебаниями C=O независимо от типа плазмы. Кроме того, увеличивается прочность ПЭТФ пленки на разрыв и её поверхностная энергия.

Для всех изделий медицинского назначения обязательна процедура стерилизации. Существуют различные методы стерилизации, среди которых широко используется стерилизация ионизирующим излучением, в частности, γ - лучами. В случае воздействия γ - лучей возникает вероятность создания радиационных повреждений материала и, связанные с этим, изменения как поверхностных, так и объемных свойств материала.

Первые работы, посвященные этим вопросам, начали появляться в ранние годы. Все выполненные работы можно разделить на два типа: действие излучения на свойства пленок и действие излучения на мембраны. Большинство работ посвящено исследованию влияния облучения на свойства пленок, в частности, ПЭТФ [78]. В работе [79] приводятся данные о влиянии γ -облучения ^{60}Co в интервале доз 0-200 кГр на физико-химические свойства ПЭТФ. Предлагается механизм изменения структуры полимерных цепей, в результате радиационного воздействия, заключающийся в образовании межмолекулярных связей с последующим формированием звеньев диэтиленгликоля в молекулах ПЭТФ. Безусловно, есть разница между пленками ПЭТФ и трековыми мембранами (ТМ) на основе ПЭТФ, из-за того, что, в отличие от пленок, материал мембраны подвергнуты существенным предварительным воздействиям (ионное облучение, облучение УФ светом с целью сенсibilизации процесса химического травления треков, химическое травление) при их изготовлении. В связи с этим, возникает возможность синергического действия комплекса воздействий на характеристики ТМ, с учетом процесса γ -стерилизации.

Вопросы радиационной стойкости ПЭТФ трековых мембран начали обсуждаться с момента их создания. В работе [80] представлены результаты исследования влияния электронного облучения (интегральные дозы в интервале 30 - 990 кГр) на физико-механические характеристики ПЭТФ трековых мембран. Показано, что предел прочности на разрыв уменьшается приблизительно на 30% при их облучении дозой 990 кГр.

Таким образом, анализ литературы показал высокую эффективность плазменного воздействия и значительное влияние ионизирующего излучения на свойства поверхности ПЭТФ, однако синергизм плазмы и γ - стерилизации не достаточно хорошо изучен, что и определило цель работы.

Глава 2. Экспериментальные методы исследования

2.1. Постановка задачи исследований

В результате анализа литературных данных, можно сказать, что поиск наиболее подходящего роговичного имплантата в хирургическом лечении буллезной кератопатии является актуальной задачей. Так как трековые мембраны из полиэтилентерефталата имеют ограниченную смачиваемость поверхности и относительно небольшую поверхностную энергию, это заставляет искать методы модификации материала для удовлетворения необходимых требований имплантату и метода стерилизации, существенно не изменяющих поверхностные свойства модифицированных мембран. Таким образом, был предложен метод модификации низкотемпературной атмосферной плазмой и метод стерилизации ионизирующим γ - излучением радионуклида ^{60}Co .

Целью работы является исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы на поверхностные свойства ПЭТФ трековой мембраны и изучение их изменения после последующего воздействия ионизирующего γ - излучения радионуклида ^{60}Co в стерилизующей дозе 1 кГр и 10 кГр.

Для выполнения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

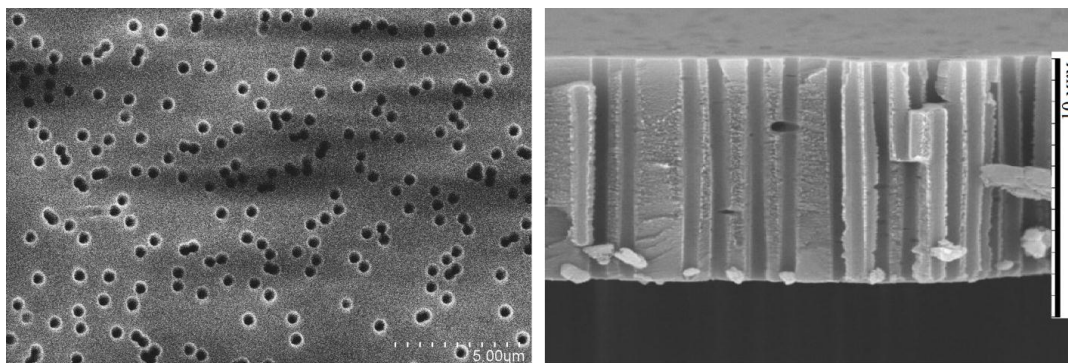
1. Исследовать топографию поверхности трековых мембран, определить параметры их шероховатости, а также влияние режимов модификации и γ -облучения в стерилизационных дозах на структуру поверхности и физико-химические свойства мембран.
2. Исследовать влияние низкотемпературной плазмы и γ -стерилизации на химический и фазовый состав ПЭТФ трековых мембран.
3. Определить параметры лиофильности, свободную энергию поверхности ПЭТФ трековых мембран и исследовать влияние плазменной модификации и γ - стерилизации на гидрофобно-гидрофильный баланс поверхности.

4. Исследовать зависимость величины краевого угла смачивания от параметров шероховатости поверхности ТМ, модифицированной плазменным воздействием и γ -стерилизацией с целью определения условий регулирования степени гидрофильности поверхности при сохранении прочностных характеристик мембран.
5. Исследовать электрокинетические характеристики поверхности ПЭТФ трековых мембран и влияние воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы и ионизирующего γ - излучения на значение ζ -потенциала.

2.2. Образцы для исследований

Трековые мембраны из полиэтилентерефталата были получены путем облучения полимерной пленки пучком ионов $^{40}\text{Ar}^{+8}$ с максимальной энергией 41 МэВ и последующего химического травления. Селективное щелочное травление материала в области трека позволяет получить в исходной пленке пористую систему со сквозными цилиндрическими отверстиями с типичной симметричной структурой. Перед травлением пленку подвергали облучению ультрафиолетовым светом для дополнительной сенсibilизации. Травление осуществляли в водном растворе NaOH с 1.5 N концентрацией при температуре в диапазоне 72–82 °С.

На рисунке 4 представлено типичное электронно-микроскопическое изображение элемента поверхности (рис. 4а) и поперечного сечения (рис.4б) полученной мембраны.



а)

б)

Рисунок 4. Электронно-микроскопическое изображение трековой мембраны: а) поверхность трековой мембраны, б) скол трековой мембраны

Как видно из рисунка 2 поры достаточно равномерно распределены по поверхности мембраны. Расчеты, проведенные по данным электронно-микроскопических измерений показывают средний размер пор равный 0,5 мкм и поверхностная плотность пор 5×10^8 пор/см². Сечение элемента мембраны со сквозными порами представлено на рисунке 2 (б), из которого видно, что поры имеют цилиндрическую форму.

2.3. Методика воздействия низкотемпературной плазмы на поверхность мембран при атмосферном давлении

Одним из наиболее перспективных и современных методов модификации поверхности полимерных материалов является воздействие низкотемпературной плазмы, которое позволяет изменять свойства поверхности полимеров в достаточно широких пределах [81]. Благодаря малой глубине проникновения активных частиц плазмы в материал изменяются свойства тонкого поверхностного слоя мембраны, в то время как объемные свойства материала не претерпевают изменений [82], что является критичным, с позиций сохранения механических и физико-химических свойств имплантата.

Модификация поверхности трековых мембран проводилась с использованием экспериментальной установки атмосферной низкотемпературной плазмы. Барьерный разряд осуществлялся с помощью специально разработанного источника холодной плазмы. Диэлектриком служило стекло толщиной 1 мм. Напряжение было равно 25 кВ, частота - 5 кГц. Плотность мощности составляла величину 2 Вт/см². Температура поверхности, на которую воздействовала плазма, не превышала 40°C, величина потока воздуха составляла 1 л/мин. Расстояние между электродами было 0,5 мм.

2.4. Методика стерилизации полученных мембран ионизирующим облучением Co^{60}

Дезинфекция, как метод уничтожения патогенных микроорганизмов, является профилактикой внутрибольничных инфекций и продолжает оставаться одной из актуальных проблем современного здравоохранения.

В настоящее время существует множество методов дезинфекции медицинских изделий, среди которых наиболее широко в лечебно-профилактических учреждениях наряду с автоклавированием используется метод лучевой стерилизации.

Лучевая стерилизация является альтернативой паровой и применяется в тех случаях, когда стерилизуемые предметы не выдерживают высокой температуры. Благодаря возможности широкомасштабной стерилизации, позволяющей обрабатывать большое количество медицинских предметов, применение этого метода вполне оправданно, несмотря на его экологическую опасность и высокую стоимость.

Для лучевой стерилизации трековых мембран использовали статическое гамма-излучение радионуклида ^{60}Co . Облучение проводили на установке «Исследователь» с цилиндрической рабочей камерой. Неоднородность мощности дозы (неоднородность дозного поля) в пределах аттестованного объема рабочей камеры диаметром 150 мм и высотой 240 мм не превышала 10%. Аттестация дозного поля проводилась по кремнию путем использования набора термолюминесцентных дозиметров. Уровень воздействия гамма-излучения задавался временем облучения и характеризовался экспозиционной дозой Gy (Si). В данной работе использовались два уровня воздействия гамма-излучения – 1 kGy (Si) и 10 kGy (Si), что соответствует нижнему и верхнему пределам диапазона доз, используемых при стерилизации ионизирующим излучением. В серии экспериментов облучение проводили как до, так и после плазменной обработки, что позволяет оценить комбинированное (разнесенное

во времени) влияние данных воздействий на изменение свойств основных характеристик исследуемых мембран.

2.5. Электронно-микроскопические методы

Электронные микрофотографии позволяют определить диаметр входных отверстий пор порядка 20 нм, а также поверхностную плотность пор. Для этого использовали AuGd реплики толщиной порядка 200 нм при препарировании поверхности мембраны методом вакуумного и катодного напыления. Просмотр и регистрацию реплик проводили на микроскопе Hitachi S3400N Type II.

2.6. Атомная силовая микроскопия и определение шероховатости поверхности

Более полное представление о строении поверхности и ее шероховатости позволяет получить атомная силовая микроскопия, которая является высокоинформативной техникой, широко используемой для получения данных о топографии поверхности.

Определение топографии и качества обработки поверхности образцов проводили с использованием атомно-силовой микроскопии (АСМ) на научно-исследовательском комплексе Centaur (ООО “Нано Скан Технологии”, Россия). Профиль шероховатости поверхности строился с точностью до 1 нм в программе Gwyddion. Расчет параметров шероховатости, описывающих морфологию поверхности, проводился согласно ГОСТ 2789–73.

Для количественной оценки и нормирования шероховатости поверхностей устанавливается 5 параметров: три высотных (R_a , R_q , R_{max}), один шаговый (S_m) и параметр асимметрии (R_{sk}).

В первую очередь, определяют среднюю шероховатость поверхности (характеризует высотные параметры образца), т.е. среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля от средней наклонной прямой или плоскости проведенной методом наименьших квадратов [83]. Он определяется

как площадь отклонения профиля шероховатости относительно средней прямой (плоскости) деленной на общую длину базовой линии [84], и численно равен

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

где N – количество разбиений профиля через равные промежутки, y_i – расстояние от линии профиля до средней линии m для i -того разбиения, x – ось абсцисс (рисунок 3).

Среднеквадратичное отклонение профиля поверхности относительно базовой линии l характеризует среднеквадратичную шероховатость

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (2)$$

Также особое внимание следует уделять параметру S_m – среднему периоду профиля поверхности, который можно использовать на разных масштабных уровнях S_m – это длина участка профиля, пересекающего среднюю линию снизу вверх два раза. Если S_n – размер каждого периода, то

$$S_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_n) \quad (3)$$

Кроме того, необходимо рассчитать параметр асимметрии (R_{sk}), который описывает симметричность разброса профиля относительно средней линии и определяется по формуле:

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \sum_{n=1}^N y_i^3 \quad (4)$$

где N – количество разбиений профиля через равные промежутки, y_i – расстояние от линии профиля до средней линии для i -того разбиения, R_q – среднеквадратичное отклонение профиля относительно базовой линии [85].

Класс шероховатости поверхности определяется путем сравнения полученных параметров шероховатости поверхности исследуемых образцов и их с эталонными значениями.

2.7. Инфракрасная спектроскопия

В исследовании структурных особенностей органических и неорганических соединений применяется универсальный физико-химический метод инфракрасной спектроскопии. Метод построен на основе явления поглощения группами атомов исследуемых образцов электромагнитного излучения в ИК-диапазоне. Под действием квантов ИК-света, происходит возбуждение молекулярных колебаний и происходит поглощение. В течение облучения молекулы излучением ИК поглощаются только те кванты с частотами, которые соответствуют частотам валентных, деформационных и вибрационных колебаний молекул [85]. Между тем, если объект не является простой механической смесью, а представляет собой сложное химическое соединение, то вышеописанные особенности спектров ИК не обнаруживаются.

Представление о строении индивидуального соединения или о компонентном составе сложных веществ дает число характеристических полос поглощения атомных групп, также их интенсивность и положение максимумов, наблюдаемых на инфракрасных спектрах [86].

Интенсивность полосы поглощения численно равна энергии, которую поглощают атомные или функциональные группы образца при прохождении через них лучей ИК-излучения. Для количественного определения содержания отдельных компонентов пользуются обратной пропорциональной зависимостью величины пропускания (диагностический показатель полос поглощения) и оптической плотностью вещества образцов.

Измерения ИК - спектров исходных мембран, модифицированных мембран, а также мембран после стерилизации производили с помощью ИК-Фурье спектрометра Termo Nicolet 5700 диапазоне $400 - 4000 \text{ см}^{-1}$. В качестве элемента однократного наружного полного внутреннего отражения использовали алмазный кристалл.

Принцип действия прибора фурье-спектрометра Termo Nicolet 5700 формируется на основе того, что при движении одного из зеркал

интерферометра происходит изменение разности хода между интерферирующими лучами. На выходе интерферометра регистрируется световой поток (интерферограмма), который представляет собой фурье-образ регистрируемого оптического спектра. ИК-спектр (в шкале волновых чисел) формируется только после выполнения обратного преобразования Фурье полученной интерферограммы. Классическим примером фурье-спектрометра является интерферометр Майкельсона, в котором регистрируется интерферограмма $\Phi(\Delta/c)$, где Δ – разность хода между двумя пучками, изменяемая в пределах $-\Delta_{\max}$ до $+\Delta_{\max}$, c – скорость света. Искомый спектр как функцию длины волны или частоты света I_ν находят в результате обработки интерферограммы при помощи ЭВМ [87].

2.8. Исследование смачиваемости поверхности и свободной поверхностной энергии

Рассматривая поверхность раздела двух фаз (твердую – жидкую), можно сделать вывод о степени гидрофильности / гидрофобности, т.е. является ли твердая поверхность смачиваемой, частично или вообще не смачиваемой. Исследование поверхности на гидрофильность, проводится с помощью аналитического метода измерения краевого угла смачивания. В этом методе капля жидкости диспергируется на поверхности. При полном смачивании покрытия образуется плоская пленка на поверхности, так что невозможно измерить краевой угол смачивания. При неполном смачивании поверхности образуется капля, контактный угол которой дает информацию о степени смачиваемости [88].

Величину краевого угла смачивания θ образованного каплей жидкости на твердой поверхности, оценивают с помощью уравнения Юнга. Уравнение включает поверхностное натяжение γ всех трех происходящих фаз: твердое (твердое тело), жидкое (жидкость), газообразное (пар).

$$\gamma^{sv} - \gamma^{sl} = \gamma^{lv} \cdot \cos \theta, \quad (5)$$

также является уравнением равновесия без учета силы тяжести.

Величина смачивания поверхности зависит от величины краевого угла:

1. Хорошая смачиваемость поверхности (гидрофильность поверхности) – контактный угол с жидкостью ниже 90° , т. е. капля образует с поверхностью острый угол (на рисунке 3 (а)).
2. Переход от плохого смачивания поверхности к хорошему (средняя гидрофильность поверхности) – контактный угол равен 90° .
3. Плохое смачивание поверхности (гидрофобность поверхности) – контактный угол от 90° до 180° (рисунок 5 (б)).

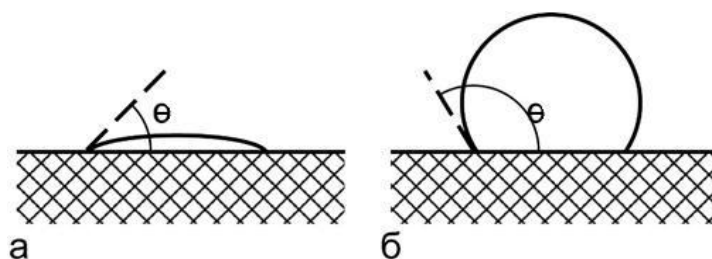


Рисунок 5. Контактный угол сидячей капли на гидрофильной (а), гидрофобной (б) поверхностях.

Измерение контактного угла можно проводить двумя методами: сидячей капли (Sessile Drop) и захваченного пузырька (Captive Bubble) [88].

В первом методе (Sessile Drop) капля жидкости садится на горизонтальную поверхность и все это происходит на воздухе. Во втором методе (Captive Bubble) пузырь воздуха лежит на поверхности, которая находится в жидкости.

Контактный угол в обоих случаях представляет собой угол, который измеряют с помощью точки прохождения между 3 фазами поверхности и касательной (рисунок 6).

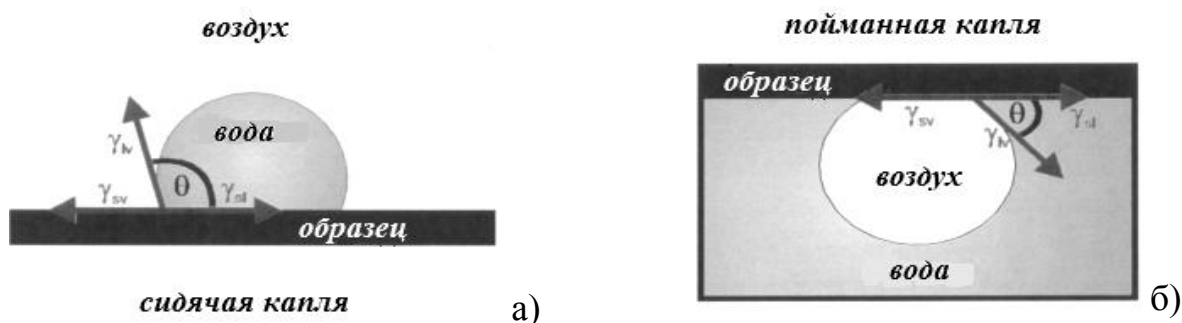


Рисунок 6. Определение угла смачиваемости методом а) «Sessile Drop», б) «Captive Bubble» на примере воды.

В настоящей работе углы смачивания деионизованной воды (θ_w°) и глицерина (θ_g°) измерялись методом сидячей капли при комнатной температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$ с помощью прибора «KRÜSS Easy Drop DSA 20» и специального программного обеспечения, точность измерения $\pm 0,1^\circ$. На образцы наносились по четыре капли воды объемом 3 мкл. Каждое измерение проводилось за время менее 5 секунд после осаждения капли. Контактный угол смачивания определялся на 1, 3, 7, 14, 21 сутки после воздействия плазмы, а также после стерилизации модифицированных образцов в эти же сроки.

Одной из характеристик поверхностных свойств материала является свободная поверхностная энергия. Полная поверхностная энергия (σ_s) рассматривалась в рамках модели Оуэнса-Вендта [89], как суперпозиция дисперсионной (σ_s^d) и полярной (σ_s^p) составляющих, которые вычислялись по методу Оуэнса-Вендта-Рабел-Кэлби (ОВРК).

$$\frac{\sigma_l \cdot (\cos\theta + 1)}{2\sqrt{\sigma_l^d}} = \frac{\sqrt{\sigma_l^p}}{\sqrt{\sigma_l^d}} \cdot \sqrt{\sigma_s^p} + \sqrt{\sigma_s^d} \quad (6)$$

ОВРК метод позволяет с высокой степенью точности оценить значение поверхностной энергии полимерных материалов [90]. Образцы после воздействия плазмы хранились на воздухе, после воздействия стерилизации – в специальных пакетах для стерилизации.

2.9. Исследование электрокинетических свойств

Исследования электрокинетических свойств трековых мембран проводились на установке SurPASS (Австрия). Принцип измерения потенциала течения заключается в циркуляции через измерительную ячейку с исследуемым материалом разбавленного электролита (рис. 7).

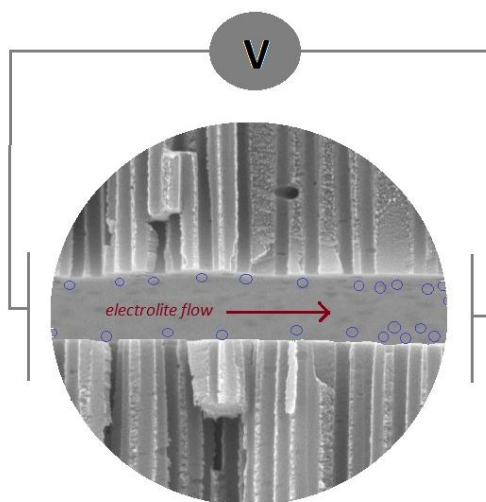


Рисунок 7. Схематическое изображение принципа измерения потенциала течения ТМ.

Значение сопротивления потоку, создаваемого структурой образца или промежутком, созданным между двумя твердыми плоскими поверхностями-образцами, используется для генерации нужных величин давления между входом и выходом измерительной ячейки. После чего, система двойных насосов, прикладывая определенное давление, производит поток электролита в параллельной плоскости контакта между телом и жидкостью. Это приводит к относительному движению между стационарным и мобильным слоями двойного электрического слоя, в результате чего происходит разделение электрических зарядов по направлению потока вдоль измерительной ячейки. Электроды, расположенные с обеих сторон образца, измеряют результирующую разность потенциалов (фильтрационный потенциал).

Для проведения измерения образцы предварительно вырубали в форме дисков с диаметром 10 мм и помещали в раствор 1 ммоль KCl на 48 часов,

после чего крепились к противоположным поверхностям регулируемого зазора ячейки установки SurPASS.

В качестве электролита использовался водный раствор KCl. Начальная концентрация калия хлорида составляла 1 ммоль. pH электролита изменялся с шагом 0,5 единиц в интервале 5–9 единиц. Перед началом измерений раствор электролита протекал ячейку в течении 15 минут для стабилизации образца в состоянии равновесия. Максимальное значение разности давления составило 300 мбар в объеме электролита 550 мл. В использованном интервале давлений и размеров ячейки течение раствора электролита имело ламинарный характер. Скорость течения электролита линейно зависит от разности гидростатического давления и описывается формулой Гагена–Пуазейля [91]. Потенциал и сила тока протекания измерялись с использованием Ag/AgCl-электродов. Для уменьшения поляризации электродов направление протекания потока периодически менялось.

2.10 Исследование проницаемости мембран

Проницаемость водных растворов измеряли с помощью ячейки (Amicon Model 8010, Millipore) объемом 10 мл на образцах площадью 3,6 см². Ячейка с мембраной соединялась с сосудом объемом 2000 мл, в который подавалось соответствующее давление (рис. 8).

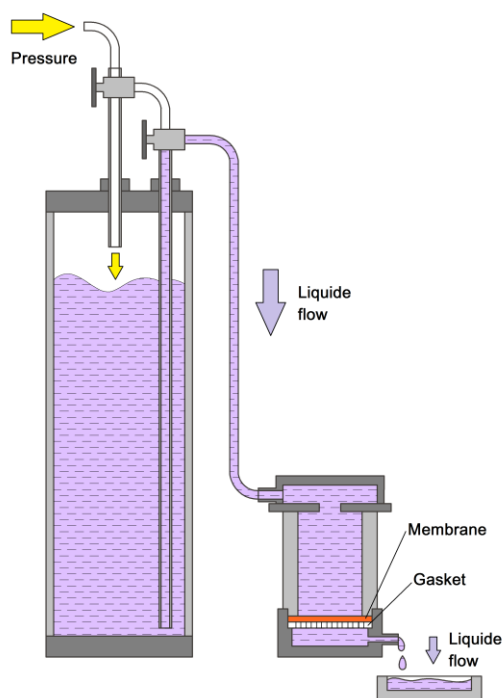


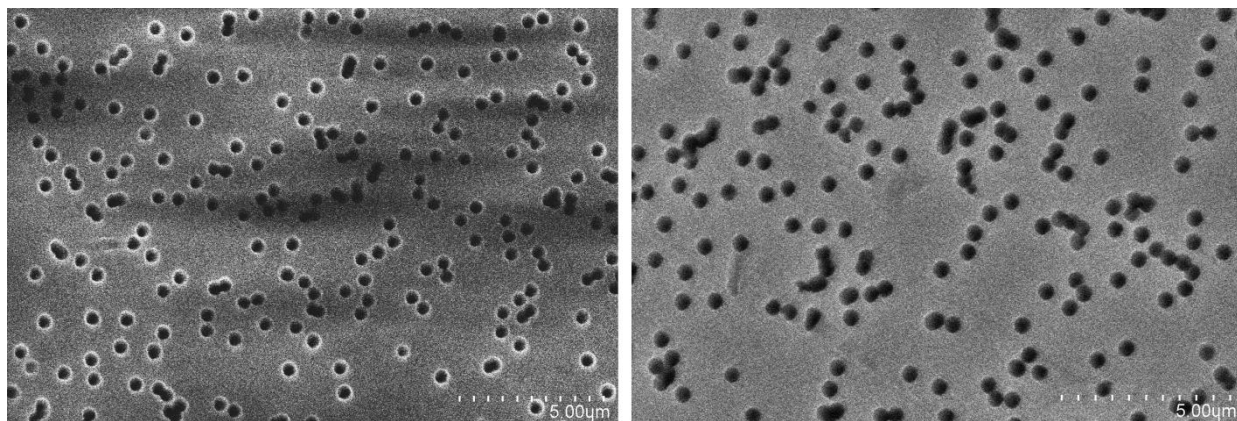
Рисунок 8. Схема установки по измерению проницаемости водными растворами мембран.

В качестве рабочих растворов служили дистиллированная вода и 0,5 М раствор NaCl. До начала фильтрации мембраны выдерживали в соответствующем растворе в течение 20 минут. Расчет величины потока раствора через мембрану производили с помощью уравнения Хагена-Пуазейля [92].

Глава 3. Экспериментальные результаты

3.1. Исследование поверхностных свойств модифицированных плазмой трековых мембран

На рисунке 9 представлено электронно-микроскопическое изображение элемента поверхности мембраны до и после модификации.



а)

б)

Рисунок 9. Электронно-микроскопическое изображение трековой мембраны: а) исходный образец, б) после воздействия плазмы 30 секунд.

Данные рисунка 1 свидетельствуют о том, что РЭМ изображения поверхности не показывают каких-либо заметных следов влияния воздействия плазмы на морфологию поверхности ТМ.

На рисунках 2 (а-г) представлены трёхмерные изображения топографии поверхности мембраны после плазменной обработки. На топографических изображениях поверхности ТМ (см. рис. 10 а) видно, что поверхность является достаточно плоской, на ней наблюдаются поры и достаточно крупные фрагменты рельефа неправильной формы и различного масштаба. Воздействие низкотемпературной атмосферной плазмы приводит к существенным изменениям морфологии поверхности (см. рис. 6 б, в, г). На поверхности ТМ появляются деструктивные области в виде многочисленных мелких неровности, которые распределены хаотично и имеют конусообразную форму с

высотой более 100 нм. Плотность таких образований достигает 2,43 пиков/мкм² при времени воздействия плазмы 30 секунд.

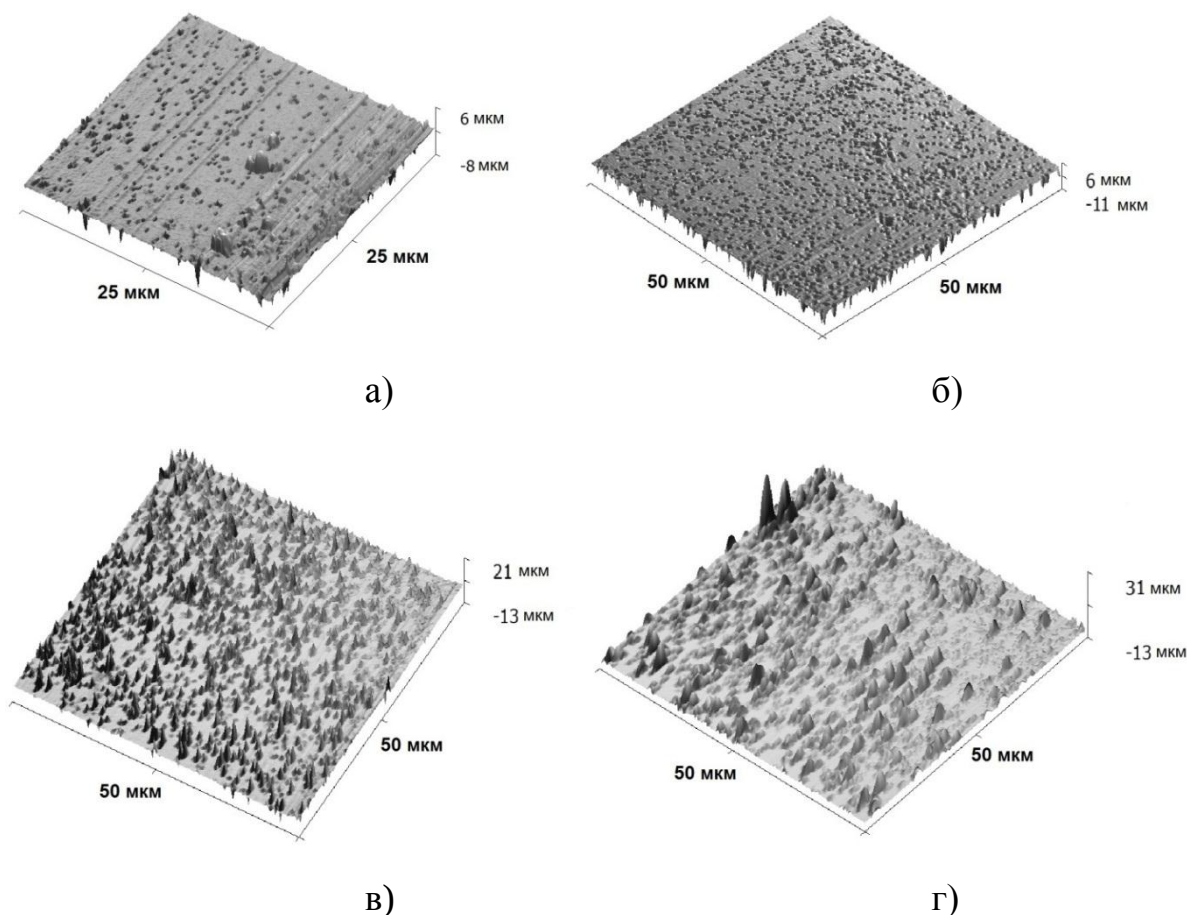


Рисунок 10. Топография поверхности трековых мембран исходных (а), после плазменной модификации: время обработки 30 секунд (б), 60 секунд (в), 90 секунд (г).

Важным параметром в настоящем исследовании является шероховатость поверхности, анализ которой охватывает большую часть изображения. Результаты измерения параметра шероховатости R_a в зависимости от времени плазменной обработки на рисунке 4. Прежде всего, следует отметить, что плазменная обработка поверхности ТМ приводит к значительному (в 15 раз) увеличению среднего арифметического значения параметра (R_a) нестерилизованных образцов (рис. 11).

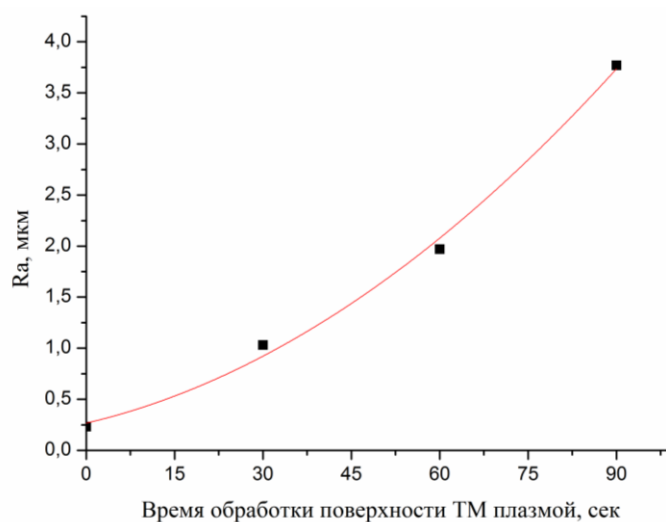


Рисунок 11. Зависимость параметра шероховатости от времени воздействия низкотемпературной атмосферной плазмой.

Характерное значение параметра шероховатости R_a для пленки ПЭТФ $\sim$ ($R_a = 2 - 6$) нм [93, 94]. Плазменное воздействие приводит к значительному росту шероховатости поверхности ПЭТФ до значений R_a в интервале (10-20) нм, т.е. в (2 – 5 раз) [93, 94]. Процесс создания трековой мембраны (ТМ) приводит к существенному росту, приблизительно в 10 раз, шероховатости ($R_a = 0.2$ мкм). Последующая плазменная обработка приводит к дальнейшему росту шероховатости, параметр $R_a = 3.3$ мкм. Таким образом, в результате воздействия атмосферной плазмы существенно меняется топография поверхности мембраны, происходит её реконструкция.

Важными характеристиками поверхностных свойств материала являются значения контактного угла смачивания и свободной поверхностной энергии. Как известно, регулирование смачивания твёрдой поверхности может осуществляться использованием поверхностно-активных веществ. В настоящей работе исследуется возможность и эффективность воздействия плазменной обработки на степень смачивания и свободной энергии поверхности ТМ.

Результаты измерения контактного угла смачивания показали, что исходная поверхность трековой мембраны из ПЭТФ обладает слабо выраженной гидрофильностью, среднее значение контактного угла $\theta = 72,0^\circ$.

Воздействие на поверхность ТМ атмосферной низкотемпературной плазмы приводит к резкому возрастанию степени гидрофильности поверхности, краевой угол смачивания уменьшился на $40^\circ - 43^\circ$ (56%), среднее значение $\theta = 29^\circ$.

Динамика измерения краевого угла смачивания от времени хранения при комнатной температуре показывает (см. рис. 12) заметный рост величины контактного угла ($\sim 77\%$) в течение первых трех дней хранения. В течение последующего времени хранения величина контактного угла практически не меняется (см. рис. 5), т.е. степень гидрофильности поверхности сохраняется.

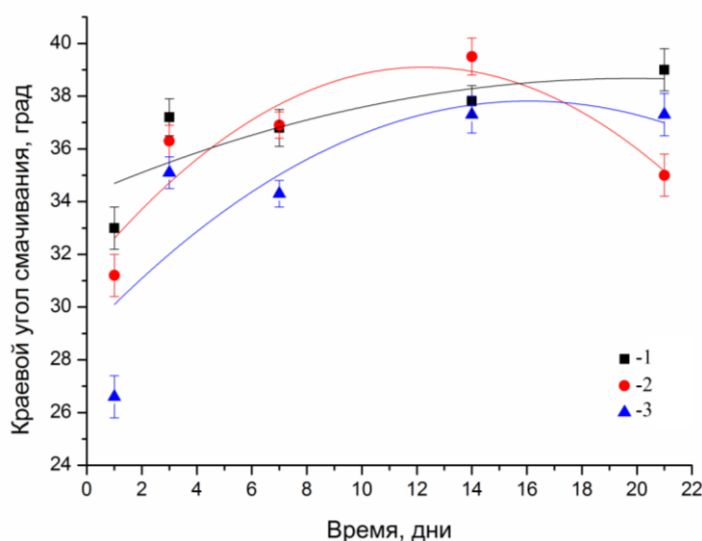


Рисунок 12. Зависимость величины краевого угла смачивания трековой мембраны, модифицированной плазменной обработкой от времени хранения.

Кривые: 1 – плазменная обработка 30 секунд, 2 – плазменная обработка 60 секунд, 3 – плазменная обработка 90 секунд.

Ранее отмечалось, что воздействие плазмы приводит к окислению поверхности ПЭТФ, что проявляется в уменьшении величины контактного угла [95]. Поведение трековой мембраны (ТМ) по отношению к плазменному воздействию во многом подобно поведению пленки ПЭТФ, однако наблюдаемые эффекты более значительны.

В таблице 1 приведены значения поверхностной энергии σ_s , её дисперсионной σ_s^d и поляризационной σ_s^p составляющих для исходной пленки полиэтилентерефталата и трековых мембран.

Как видно из данных таблицы 1, ПЭТФ относится к классу слабополярных полимеров. Полярность пленки ПТФЭ $p = \sigma_s^p / \sigma_s$, определяемая как доля полярной компоненты в суммарной поверхностной энергии составляет 0,22, что находится в хорошем согласии с литературными данными [96]. Последующий процесс формирования трековой мембраны, включающий ионное облучение и химическое травление поверхности незначительно влияет (см. табл. 1) на величину поверхностной энергии σ_s , однако существенно (более чем на 300%) увеличивает величину полярной σ_s^p составляющей поверхностной энергии. Таким образом, поверхность ПТЭФ трековой мембраны (в отличие от пленки ПЭТФ) является сильнополярной, полярность $p = 0.8$.

Воздействие плазмы на ТМ приводит к значительному, более чем в 4 раза, увеличению полной поверхностной энергии, причем это увеличение связано с доминирующим ростом полярной составляющей σ_s^p полной энергии (см. табл. 1). При этом следует отметить, что вклад дисперсионной составляющей σ_s^d в полную поверхностную энергию не превышает 7% (см. табл. 1).

Таблица 1. Средние значения параметров поверхности ТМ:

шероховатость R_a , поверхностная энергия σ_s , дисперсионная σ_s^d и поляризационная σ_s^p составляющие поверхностной энергии, угол смачивания:

θ_w° (вода), θ_g° (глицерин).

ТМ	σ_s	σ_s^d	σ_s^p	Поляр- ность	θ_w°	θ_g°
Пленка ПЭТФ	36.76	29.15	7.61	0.2	61.1	76.5

ТМ исходная	29.95	5.97	23.98	0.8	72.8	74.8
ТМ + pl 30	131.53	7.33	124.21	0.94	33.0	73.3
ТМ + pl 60	146.04	9.91	136.13	0.93	31.2	73.3
ТМ + pl 90	129.64	7.46	122.18	0.94	26.6	74.5

Примечание: ТМ+pl – обработка плазмой; поверхностная энергия $\dim \sigma = \text{мДж/м}^2$; контактный угол $\dim \theta = \text{градус } (\theta^\circ)$.

Изменения химического состава поверхности ТМ в результате воздействия плазмы исследовались методом инфракрасной спектроскопии. ИК спектры оптического поглощения ТМ представлены на рисунке 13. В спектрах ИК присутствует классический набор линий поглощения, характерный для пленок ПЭТФ.

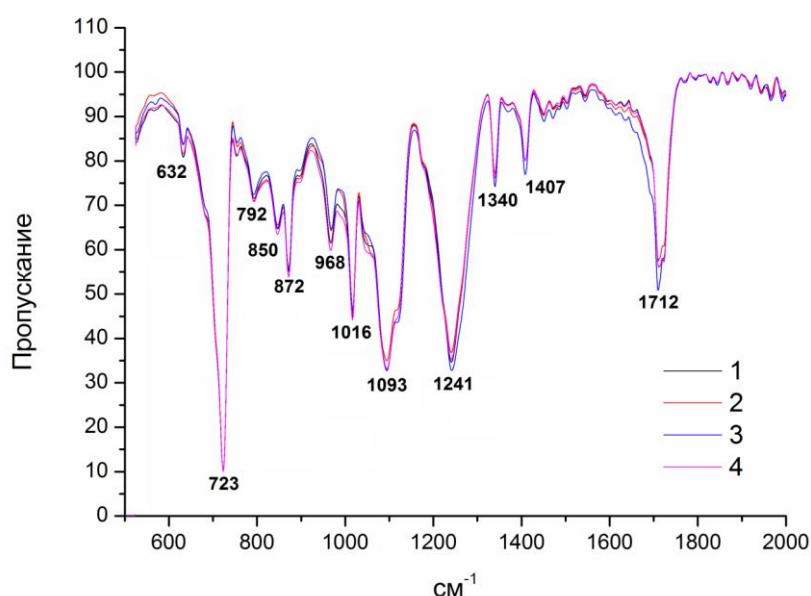


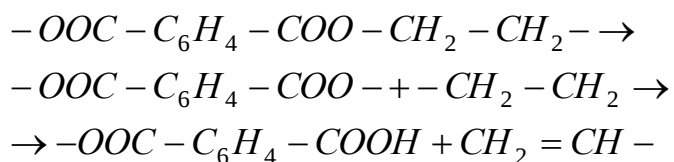
Рисунок 13. Спектры ИК оптического поглощения ТМ: 1) исходная ТМ; 2) плазменная обработка 30 секунд; 3) плазменная обработка 60 секунд; 4) плазменная обработка 90 секунд;

Линия поглощения при 723 см^{-1} приписывается [97, 98] крутильной моде колебаний метиленовой группы (CH_2), а при 792 см^{-1} обусловлена колебаниями карбонильных $\gamma(\text{C=O})+\delta(\text{COO})$ групп [99]. Линия поглощения при 850 см^{-1} относится к колебаниям метиленовой группы $\gamma(\text{CH}_2)$, а при 872 см^{-1} - колебаниям фенильного $\gamma(\text{CH})$ кольца. Поглощение при 1016 см^{-1} также

обусловлено (-C-C-) валентными колебаниями и колебаниями групп (C-H) бензольного кольца в плоскости связи [99]. Линия поглощения при 1093 см⁻¹ и линия поглощения при 1241 см⁻¹ приписывается к колебаниям неполярных (C=C, C=O) функциональных групп, а при 1340 см⁻¹ - колебаниям метиленовых (=CH₂) групп [100]. Поглощение при 1407 см⁻¹ трактуется как отклонения (C-C) групп. Полоса поглощения при 1712 см⁻¹ обусловлена валентными колебаниями (C=C) и (C=O) групп [99, 100].

Воздействие плазмы на поверхность ТМ приводит к некоторому уменьшению поглощения при 1712 см⁻¹, 1241 см⁻¹ и 1093 см⁻¹, которое связано с неполярными (C=C, C=O) функциональными группами в тонком приповерхностном слое ТМ. Полученные данные находятся в хорошем согласии с результатами работ [101-103], в которых приводятся данные XPS, свидетельствующие об уменьшении количества неполярных (гидрофобных) функциональных групп C=C и C=O. Разорванные связи заполняются кислородом и азотом атмосферы. В результате, на поверхности полимера образуются группы C-C/C-H, C-O и/или C-N, O=C-O и/или N-CO-N, наблюдаются, также и N-C=O группы, т.е., увеличивается количество полярных (гидрофильных) функциональные групп [101-103].

Таким образом, при воздействии плазмы происходит деструкция полимерных цепей на поверхности преимущественно в аморфной фазе, подверженной окислению. Авторы [104, 105] полагают, что наиболее вероятен разрыв связи C-O (энергия связи 376 кДж/моль) и C-C (энергия связи 335 КДж/моль). Возможна, например, следующая химическая реакция



Появившиеся карбоксильные группы в местах разрыва химических связей определяют гидрофильность поверхности мембран. Образованные при этом радикалы нестабильны и в результате вторичных реакций образуются, например, концевые карбоксильные группы (рис. 14 б). Все эти изменения

связаны с процессами реорганизации полимерных цепей при плазменном воздействии в результате разрыва химических связей в них, сшивки и формирования новых связей на поверхности ТМ [106].

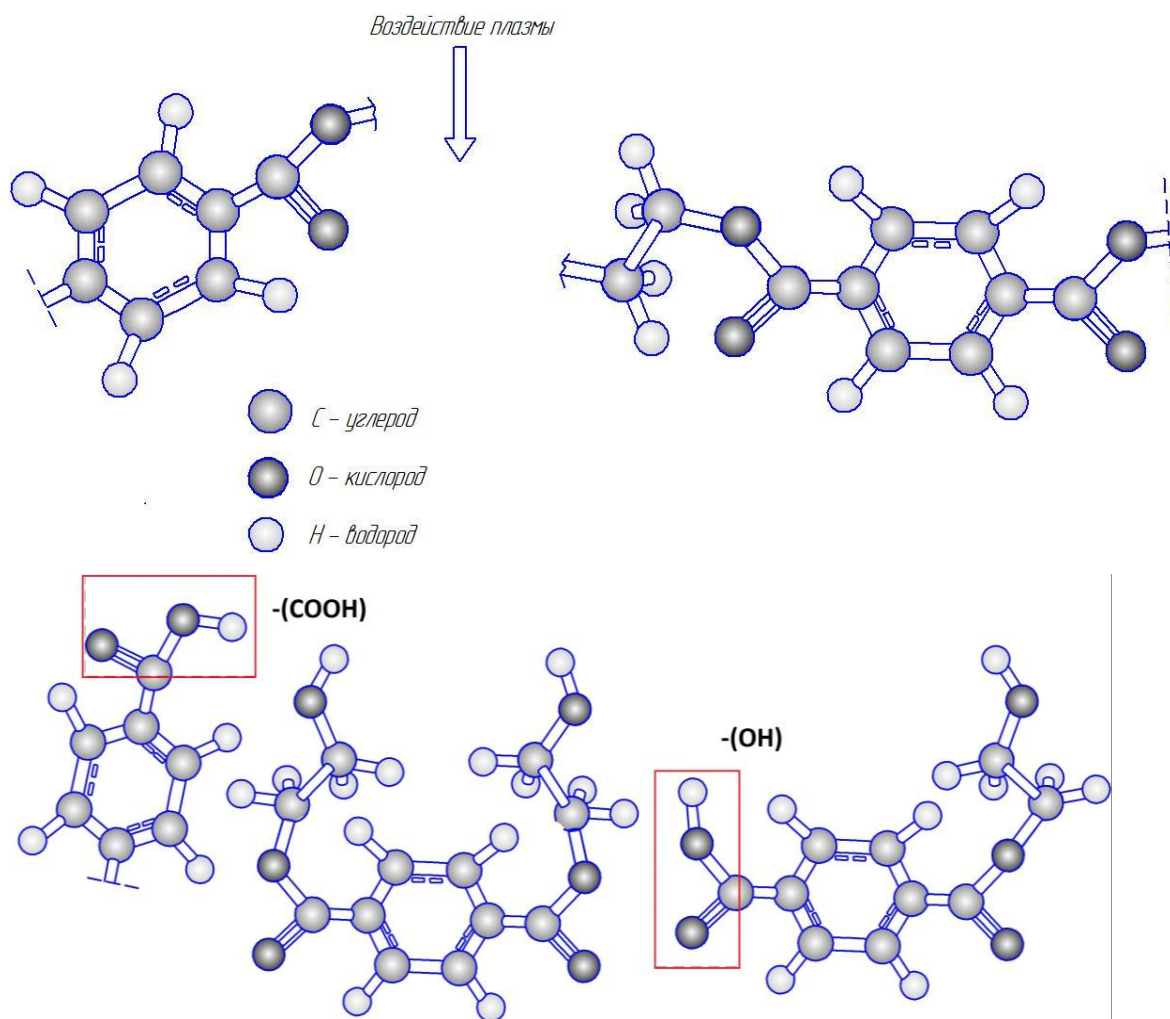


Рисунок 14. Схематичное изображение влияния плазмы на молекулы ПЭТФ:

- а) Разрыв молекулы ПЭТФ после воздействия плазмы
- б) Присоединение гидроксильных групп в местах разрыва молекулы ПЭТФ

Морфологические изменения поверхности образцов, вызванные воздействием низкотемпературной атмосферной плазмы, приводят к реконструкции поверхности ТМ, что проявляются в виде многочисленных кратеров – деструктивных областей которые приводят к росту гидрофильности поверхности.

Результаты измерения электрокинетических свойств мембран после плазменного воздействия представлены на рисунке 15.

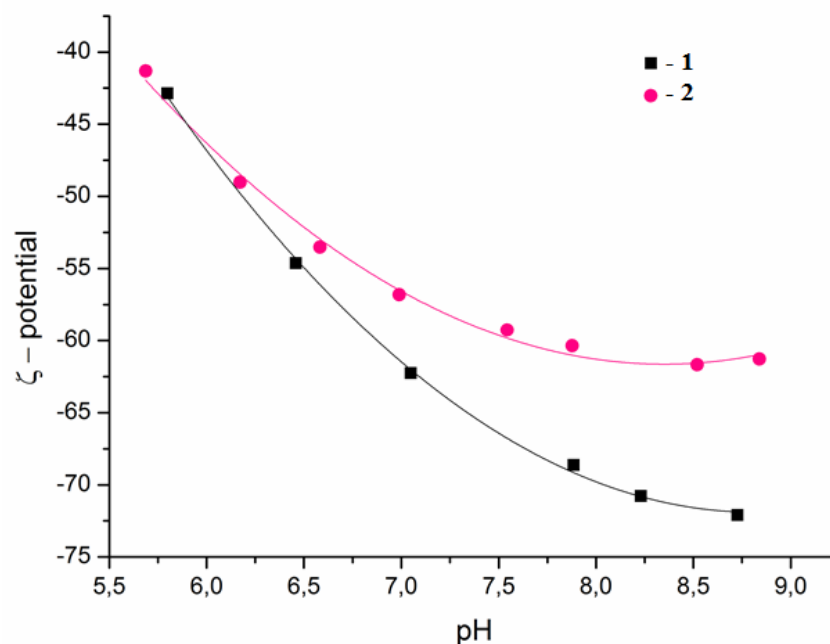


Рисунок 15. ξ - потенциал трековых мембран до и после плазменного воздействия. Кривые: 1 – исходный образец; 2 – после плазменной обработки (30 с).

Как видно из рисунка плазменное воздействие на поверхность мембран способствует увеличению ξ - потенциала при pH раствора 6,5 – 9,0. Еще в 30-х гг. прошлого столетия Вильбрандт [107] предположил, что электрохимическое поведение целлюлозных мембран обусловлено наличием тех или иных химических активных групп на поверхности капилляров. Активными группами для нитроцеллюлозы он считал нитрогруппы ($-\text{NO}_2$), а для чистой целлюлозы или ее производных с невысокой степенью замещения, – гидроксильные группы ($-\text{OH}$). Их активность он предложил оценивать по величине дипольного момента (табл. 2).

Таблица 2. Величины и знаки дипольного момента некоторых активных групп целлюлозы.

Заместитель	$\mu \cdot 10^{18}$, эл. ст. ед.	Заместитель	$\mu \cdot 10^{18}$, эл. ст. ед.
-OH	-1,7	-OCH ₃	-1,0
-COOH	-1,8	-COOH	-0,9
-NO ₂	-3,8	-CH ₃	-0,4
-CONH ₂	-2,8	-NH ₂	+1,5

Где μ – величина дипольного момента (эл. ст. ед.).

Как показано в работах [108], введение в целлюлозу групп заместителей, имеющих кислый характер, приводит к уменьшению величины ξ - потенциала, по сравнению с образцом исходного состава. Введение группы $-\text{NO}_2$ с более высоким дипольным моментом приводит к увеличению ζ -потенциала. Окисление целлюлозы и связанное с этим повышение содержания COOH -групп вызывают к увеличению ζ -потенциала при увеличении содержания COOH -групп и аморфной фазы. В работе [109] указано, что при окислении препарата хлопковой целлюлозы (линтер) перхлорной кислотой и увеличении содержания COOH -групп в три раза ζ -потенциал, измеренный на приборе Magendans, увеличился по модулю с $-37,4$ до $-18,4$ мВ в $0,02$ М NaCl . Кроме COOH -групп, могут диссоциировать и другие гидроксильные группы, но в связи с низкой степени диссоциации ($K_d = 10^{-13}$) вклад их ионизации в общий заряд поверхности столь незначительный, что ими можно пренебречь [110]. Таким образом, можно предположить, что небольшое увеличение ζ -потенциала при рН раствора $6,5 - 9,0$ после плазменного воздействия связано в первую очередь с появлением на поверхности мембраны $-(\text{COO}^-)$ групп, что согласуется с данными ИК-спектров (рис. 13).

Известно, что для мембран с жесткой структурой при диаметре пор намного больше размера молекул воды, увеличение давления приводит к линейному росту проницаемости по H_2O [111]. Исследование зависимости проницаемости по воде и хлориду натрия трековых мембран от величины приложенного давления показало аналогичный характер (рис. 16).

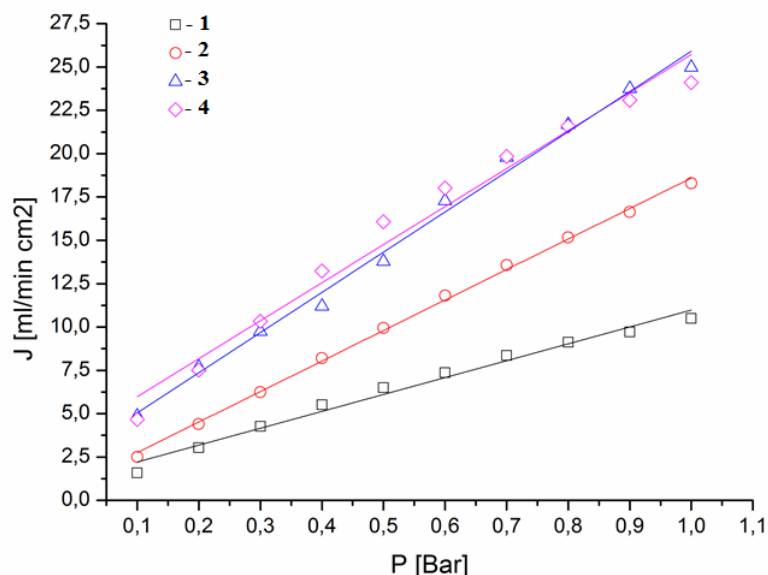


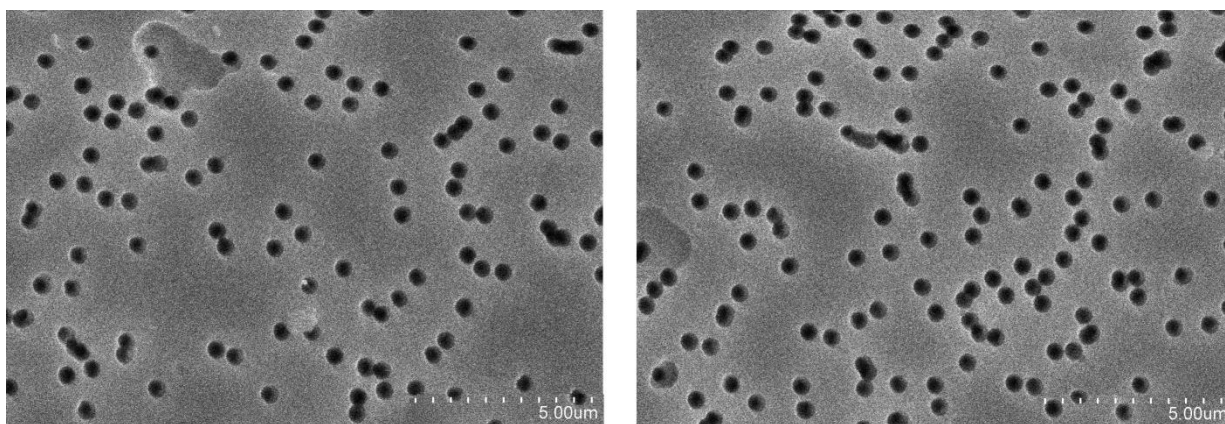
Рисунок 16. Проницаемость трековых мембран по воде (1) и хлориду натрия (2). Кривые: 1, 2 – исходная мембрана; 3, 4 – после плазменной обработки (время обработки 30 секунд).

Авторы в работе [112] рассматривают различия проницаемости мембран жидкостями HCl, KCl и NaCl различной концентрации, приходя к выводам, что различия связаны в первую очередь с концентрацией раствора и его pH.

Аналогичный эффект наблюдается при исследовании проницаемости по натрию хлору мембран до и после плазменной обработки, причем различия между обработанными и необработанными плазмой образцами незначительны (рис. 16). Таким образом, плазменная обработка вносит незначительные изменения проницаемости по раствору NaCl трековых мембран в сравнении с не модифицированными ТМ. Если учесть, что в составе внутриглазной жидкости большую часть (99 %) составляет вода, а меньшую электролиты, в том числе NaCl, то учитывать результаты по проницаемости целесообразно по H₂O.

3.2. Влияние процессов стерилизации ионизирующим облучением на поверхностные свойства ПЭТФ трековых мембран

На рисунке 17 представлено электронно-микроскопическое изображение элемента поверхности модифицированных и немодифицированных плазмой мембраны после стерилизации ионизирующим γ - облучением.



а)

б)

Рисунок 17. Электронно-микроскопическое изображение трековой мембраны после ионизирующего облучения: а) не модифицированный плазмой образец, б) модифицированный плазмой образец (время воздействия плазмы 30 секунд).

Как видно на электронно-микроскопических изображениях облучение обработанной плазмой поверхности ТМ, γ – лучами практически не меняет её топографии, однако появляются дополнительные крупные “кратероподобные” неправильной формы дефекты глубиной порядка 4,25 мкм и средним диаметром 0,5 мкм (см. рис. 18, 19).

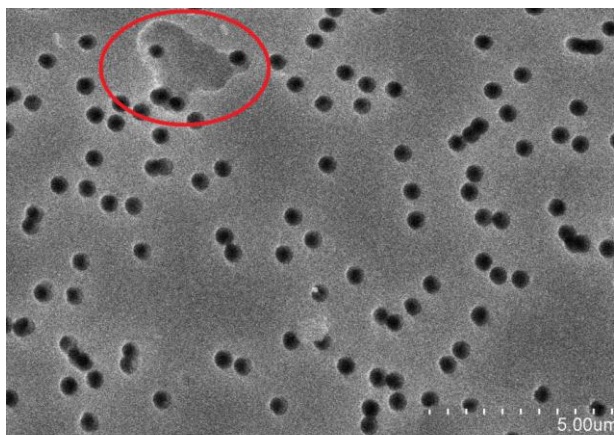


Рисунок 18. Электронно-микроскопическое изображение “кратероподобных” дефектов трековой мембраны после ионизирующего облучения:

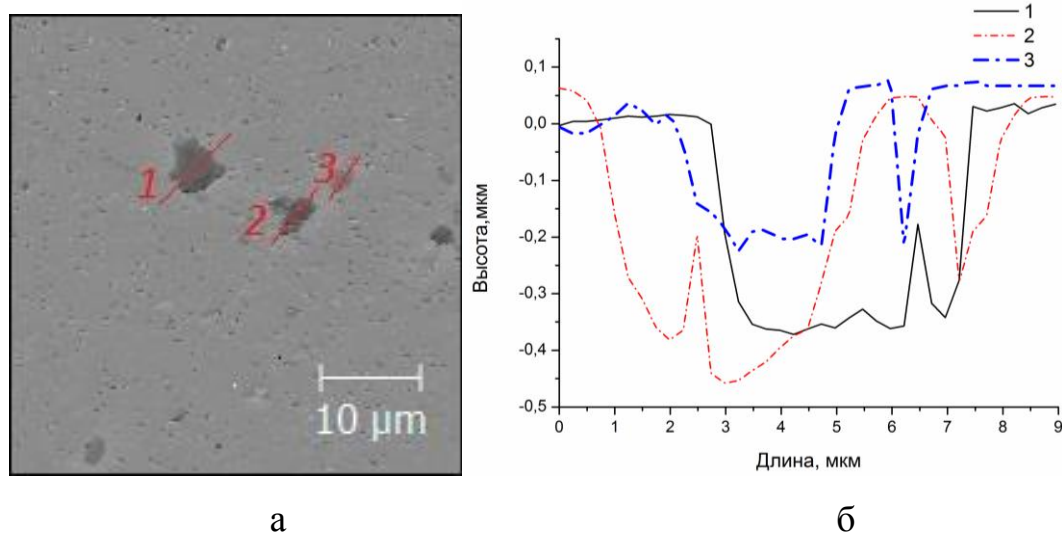
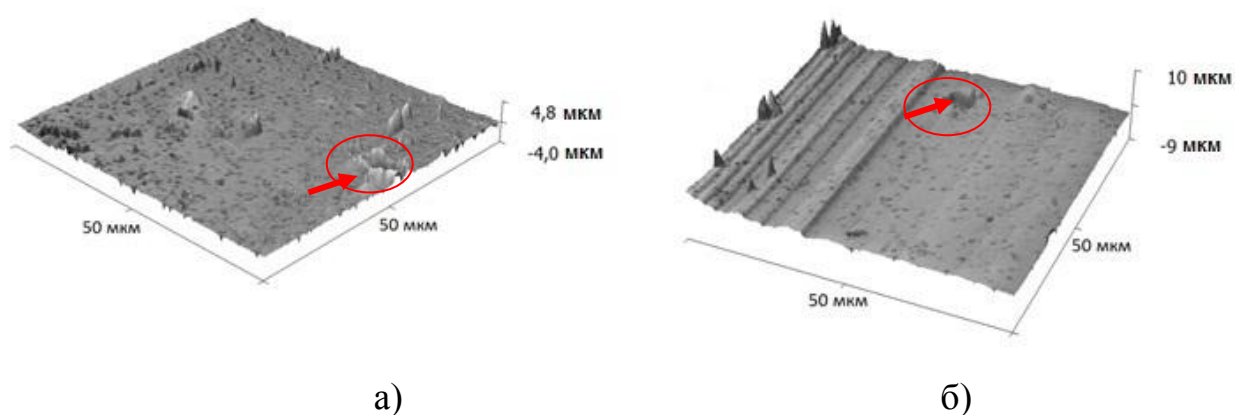


Рисунок 19. Микроскопическое изображение и профили “кратероподобных” дефектов трековой мембраны после ионизирующего облучения:

Таким образом, воздействие γ – облучения в стерилизационных дозах приводит к возникновению элементов разрушения поверхности, однако плотность таких дефектов небольшая, порядка $4 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$. Плотность крупных “кратероподобных” дефектов возрастает, с ростом времени плазменной обработки от 30 до 90 секунд.



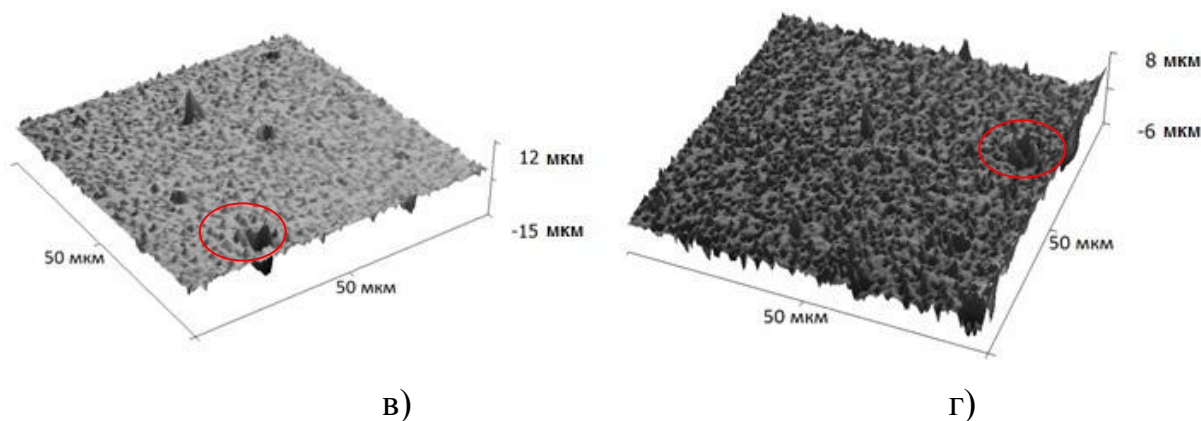


Рисунок 20. Топография поверхности стерилизованных (1 кГр) трековых мембран исходных (а), после плазменной модификации: время обработки 30 секунд (б), 60 секунд (в), 90 секунд (г).

Трёхмерные изображения топографии поверхности модифицированных мембраны после стерилизации ионизирующим облучением представлены на рисунке 20 и иллюстрируют аналогичный эффект изменения топографии поверхности после воздействия плазмы. На топографических изображениях поверхности модифицированных и стерилизованных мембран ТМ (см. рис. 13 а) видно, что поверхность является достаточно плоской, на которой наблюдаются поры и «кратероподобные» единичные дефекты (обозначены стрелками на рис.). С увеличением времени воздействия плазмы, изменяется морфология поверхности и возрастает параметр R_a (табл. 2). Однако параметр шероховатости R_a модифицированных мембран после стерилизации значительно меньше чем, параметр R_a нестерилизованных модифицированных ТМ (табл. 3).

Таблица 3. Средние значения параметров поверхности ТМ: шероховатость R_a , поверхностная энергия σ_s , дисперсионная σ_s^d и поляризационная σ_s^p составляющие поверхностной энергии, угол смачивания: θ_w° (вода), θ_g° (глицерин).

ТМ	R_a	σ_s	σ_s^d	σ_s^p	Поляр-ность	θ_w°	θ_g°
Пленка ПЭТФ	-	36.76	29.15	7.61	0.2	61.1	76.5

ТМ исходная	0.231	29.95	5.97	23.98	0.8	72.8	74.8
ТМ+ γ 1kGy	0.265	43.73	0.30	43.43	0.99	68.7	77.2
ТМ+ γ 10kGy	0,269	37	0.9	36.34	0.98	72.3	80.9
ТМ + pl 30	1.03	131.53	7.33	124.21	0.94	33.0	73.3
ТМ + pl 60	1.97	146.04	9.91	136.13	0.93	31.2	73.3
ТМ + pl 90	3.77	129.64	7.46	122.18	0.94	26.6	74.5
ТМ+pl 30+ γ 1kGy	0.357	110.3	3.1	107.2	0.97	36.0	70.5
ТМ + pl 60+ γ 1kGy	0.55	108.56	2.68	105.88	0.98	38.1	69.3
ТМ + pl 90+ γ 1kGy	0.6	107.1	2.43	104.67	0.98	36.1	71.1
ТМ+pl 30+ γ 10kGy	0.345	120.1	7.08	113.02	0.94	39.1	76.9
ТМ+pl 60+ γ 10kGy	0.497	123.07	8.15	114.91	0.93	41.4	79.1
ТМ+pl 90+ γ 10kGy	0.54	128.13	9.6	118.53	0.93	38.3	78.6

Примечание: ТМ+pl – обработка плазмой; + γ - облучение γ -лучами; параметр шероховатости $\dim R_a$ = мкм; поверхностная энергия $\dim \sigma$ = мДж/м²; контактный угол $\dim \theta$ = градус (θ°).

Воздействие γ - лучей на исходные образцы ТМ не оказывает существенного влияния на значение параметра шероховатости R_a её поверхности (см. табл. 3). Как было отмечено ранее, плазменная обработка поверхности ТМ приводит к значительному (в 15 раз) увеличению среднего арифметического значения параметра (R_a) нестерилизованных γ - лучами образцов. Последующее воздействие γ - облучения в стерилизационных дозах 1 кГр и 10 кГр (рис. 21, кривые 2 и 3) приводит к резкому уменьшению значений параметра шероховатости R_a поверхности образцов ТМ, предварительно обработанных плазмой.

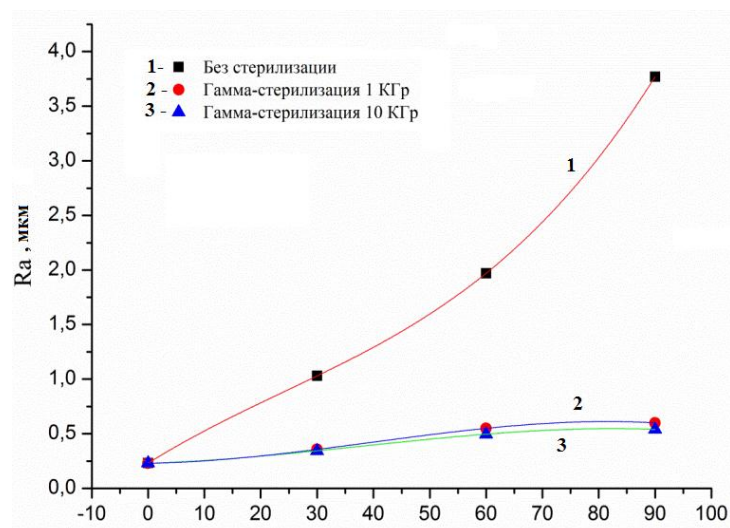


Рисунок 21. Зависимость параметра шероховатости от времени воздействия низкотемпературной атмосферной плазмой.

Результаты исследования влияния плазменной обработки и γ -облучения на величину смачивания ТМ представлены на рисунке 22. Как видно из рис. 22 стерилизация ТМ γ -излучением радионуклидов ^{60}Co влияет на величину угла смачивания поверхности исходной ТМ крайне незначительно, а хранение образцов в течение 22 суток также не приводит к каким-либо заметным изменениям контактного угла.

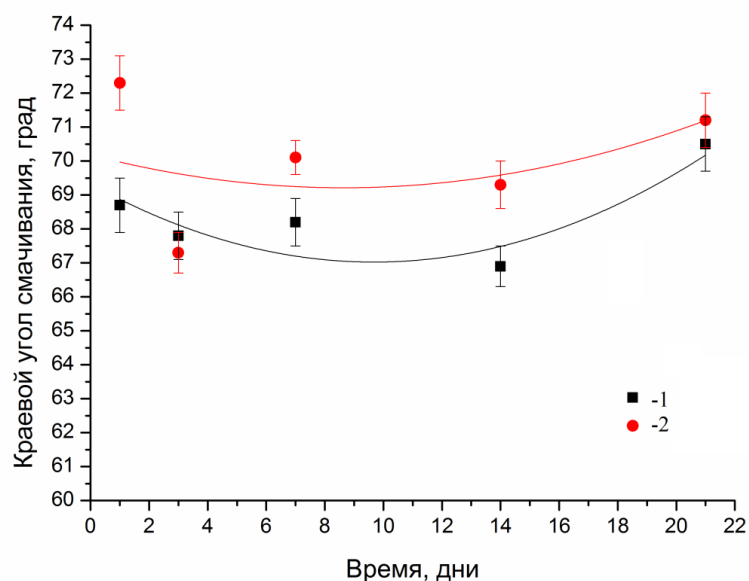


Рисунок 22. Зависимость величины краевого угла смачивания трековой мембраны после гамма стерилизации.
Кривые: 1 – доза 1 кГр, 2 – доза 10 кГр.

γ -стерилизация плазменно-модифицированных образцов ТМ не оказывает заметного влияния на величину контактного угла в сравнении со значениями Θ нестерилизованных модифицированных ТМ (см. рис. 23). Динамика изменения угла смачивания последовательно плазменно-модифицированных и γ -стерилизованных ТМ в зависимости от времени хранения показывает некоторое увеличение контактного угла (на 10° - 12° и составляет при дозе 1 кГр $\theta = 44,5^\circ$, рис. 23) в первые три дня хранения. Дальнейшее хранение не приводит к заметному его изменению в течение последующих 20 дней.

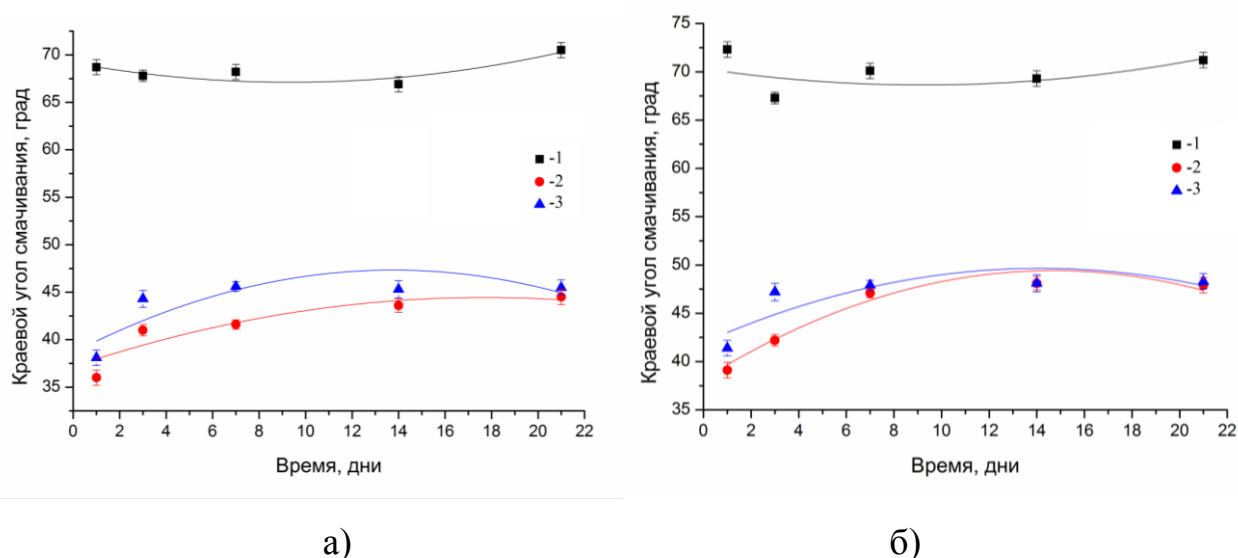


Рисунок 23. Зависимость величины краевого угла смачивания исходной трековой мембраны, после плазменного воздействия и гамма стерилизации 1 кГр (а) и 10 кГр (б) от времени хранения. Кривые: 1 – без плазменной модификации, 2 – после плазменного воздействия (30 секунд), 3 – после плазменного воздействия (60 секунд).

Приведенные данные показывают существенное влияние процедуры плазменной обработки и последующего γ -облучения на величину шероховатости и контактного угла трековых мембран из полиэтилентерефталата. Прежде всего, это касается величины шероховатости поверхности (параметр R_a), с которой связывается и свойства её смачивания.

Литературные данные, касающиеся воздействию плазмы на величину шероховатости и контактный угол смачивания, показывают рост параметра шероховатости R_a [113] и гидрофильности поверхности пленок ПЭТФ.

Ранее отмечалось, что воздействие плазмы приводит к окислению поверхности ПЭТФ, что проявляется в уменьшении величины контактного угла [27]. Поведение трековой мембраны (ТМ) по отношению к плазменному воздействию во многом подобно поведению пленки ПТЭФ, однако наблюдаемые эффекты более значительны.

Как было отмечено ранее, воздействие плазмы на ТМ приводит к значительному, более чем в 4 раза, увеличению поверхностной энергии (см. табл. 3). Последующее γ - облучение ТМ дозой 1 kGy и 10 kGy незначительно уменьшает поверхностную энергию σ_s (см. табл. 3).

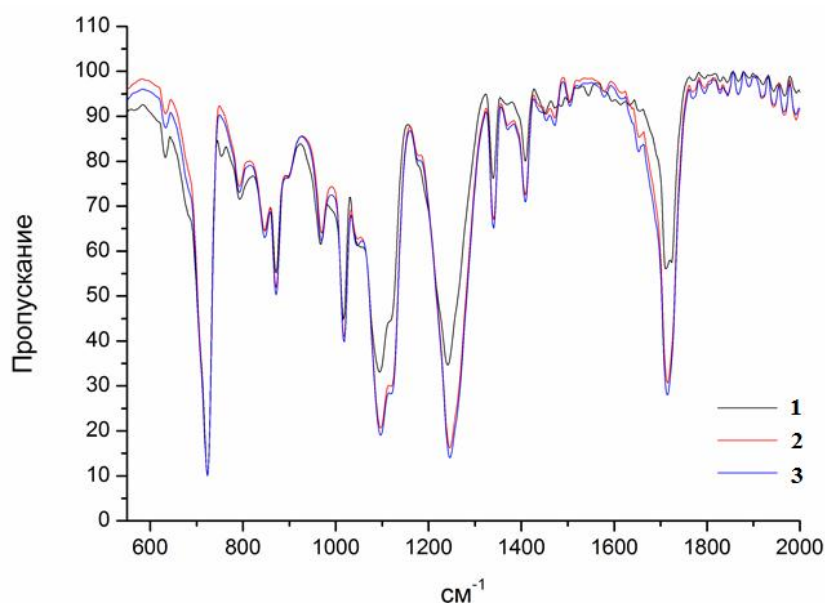


Рисунок 24. Спектры ИК оптического поглощения ТМ: 1) исходная ТМ; 2) γ - облучение ТМ дозой 1 kGy; 3) γ - облучение ТМ дозой 10 kGy.

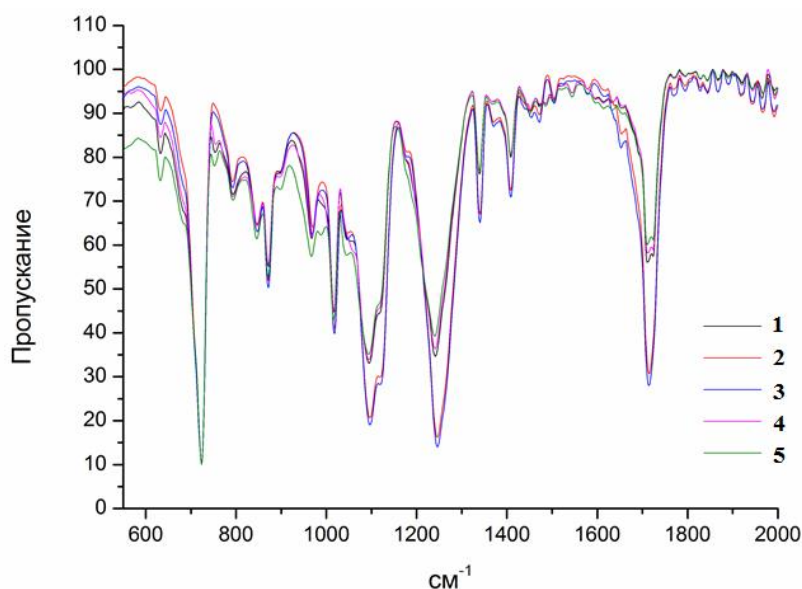


Рисунок 25. Спектры ИК оптического поглощения ТМ: 1) исходная ТМ; 2) γ - облучение ТМ дозой 1 kGy; 3) γ - облучение ТМ дозой 10 kGy; 4) γ - облучение ТМ дозой 1 kGy и плазменная обработка 30 секунд; 5) γ - облучение ТМ дозой 10 kGy и плазменная обработка 30 секунд.

В результате стерилизации γ - облучением ^{60}Co образцов ТМ, модифицированных плазмой, в спектрах ИК оптического поглощения наблюдается незначительное уменьшение интенсивности полосы поглощения 1716 см^{-1} (см. рис. 24, 25). Это результат показывает уменьшение количества полярных функциональных групп, и, как следствие, некоторое уменьшение смачиваемости поверхности (стерилизация модифицированных образцов привела к увеличению краевого угла смачивания на 3° - 5°). Интересно отметить, что эффекты воздействия жесткого ультрафиолетового (УФ) излучения эксимерной лампы $\lambda=172\text{ нм}$ на пленки ПЭТФ (рост поверхностной энергии, диссоциация химических связей) [114] аналогичны действию γ -излучения, наблюдаемые в настоящей работе.

В отличие от УФ воздействия, γ -облучение оказывает существенное влияние на шероховатость поверхности. Воздействие γ -лучей на модифицированные плазмой образцы ТМ привело к существенным изменениям морфологии поверхности. Шероховатость поверхности существенно снизилась

в сравнении с нестерилизованными образцами ТМ. Параметр шероховатости R_a уменьшился для ТМ (обработка плазмой 60 сек) от 1,97 мкм до 0,55 мкм при дозе γ -облучения 1 kGy и 0,497 мкм при дозе γ -облучения 10 kGy; для ТМ (90 сек воздействия плазмы) от 3,77 мкм до 0,6 мкм (1 kGy) и 0,54 мкм (10 kGy) (см. табл. 3).

Таким образом, воздействие γ -облучения в малых дозах (1 – 10) kGy приводит к уменьшению размеров деструктивных областей, т.е. к сглаживанию поверхности, что и определяет некоторый рост краевого угла смачивания (см. табл. 3). Мы полагаем, что наблюдаемый эффект реконструкции поверхности ТМ в результате γ -воздействия в малых дозах имеет ту же природу, что и эффект малых доз ионизирующего излучения [115], заключающийся в том, что слабое воздействие ионизирующего излучения вызывает перестройку структуры материала, которая происходит в процессе облучения. Возбуждение γ -лучами электронной подсистемы материала передается ядерной подсистеме, что приводит к устранению дефектов и переходу материала в более равновесное состояние по сравнению с исходным.

Результаты измерения электрокинетических свойств мембран после стерилизации γ -облучением ^{60}Co представлены на рисунке 26.

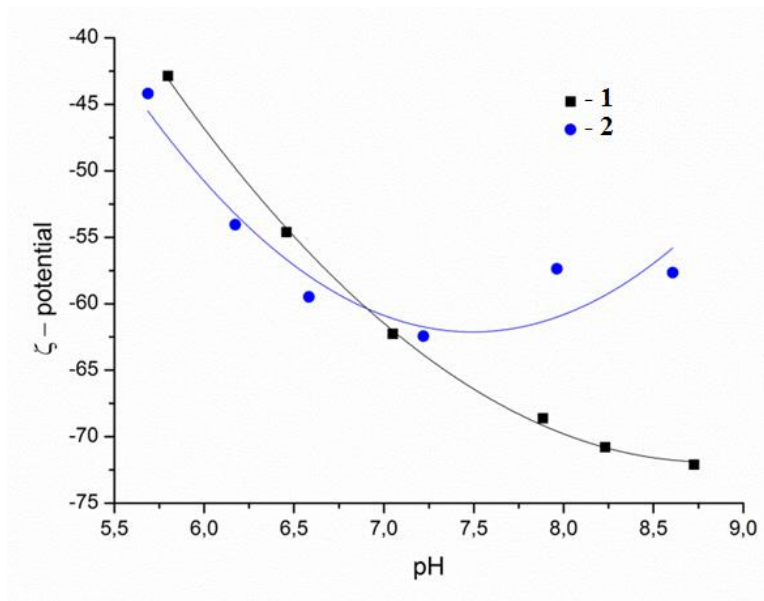


Рисунок 26. ξ - потенциал трековых мембран до и после стерилизации γ -облучением ^{60}Co . Кривые: 1 – исходный образец; 2 – после стерилизации.

Как видно из рисунка 26, при $\text{pH} = 6,8$ ξ - потенциал резко увеличивается у образцов после стерилизации и достигает своих значений до -56 мВ при $\text{pH} = 8,8$, что соответствует увеличению на $23,29\%$ по сравнению с исходными образцами.

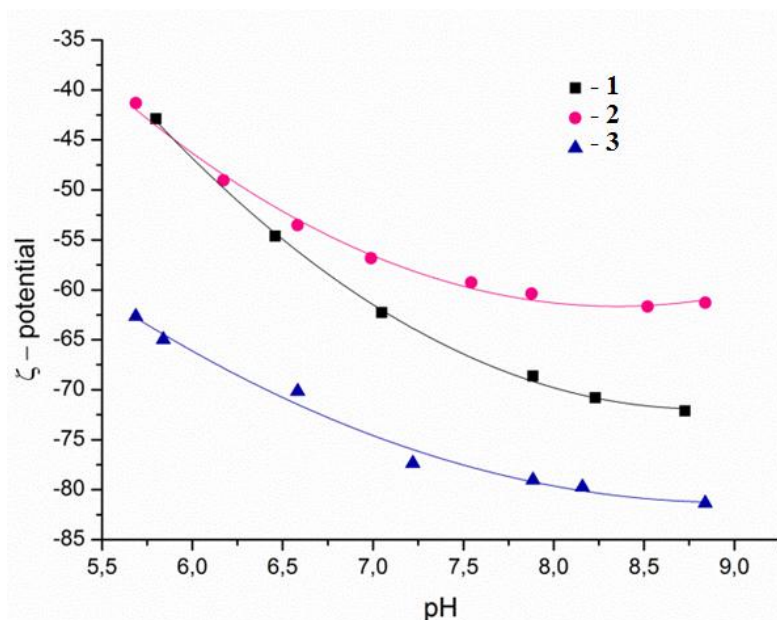


Рисунок 27. ξ - потенциал трековых мембран после плазменного воздействия без стерилизации и со стерилизацией γ - облучением ^{60}Co . Кривые: 1 – исходный образец; 2 – после плазменной обработки (30 с); 3 – после плазменной обработки (30 с) и стерилизации.

Последующее воздействие γ - квантами ^{60}Co способствует уменьшению ξ - потенциала с -45 мВ до -63 мВ при $\text{pH} = 5,6$, что может быть причиной появлению новых отрицательно заряженных групп в полимере после повреждения полимерной цепи в результате воздействия γ - лучами, проходящими на всю толщину материала. В связи с чем можно предположить, что находясь в условиях циркуляции внутриглазной жидкости, содержащую воду (98 %) с электролитами (Na, Cl, K, Ca, HCO_3 , PO_4 , Mg) и глобулины, имеющие отрицательный заряд на поверхности [116] в диапазоне $\text{pH} 5\text{-}9$, мембрана с порами с зарядом « $\rightarrow$ » не будет адгезировать на своей поверхности

белки, тем самым способствуя функционированию пор и пропусканию воды с электролитами.

Значения дзета - потенциалов всех мембран представлены в таблице 4.

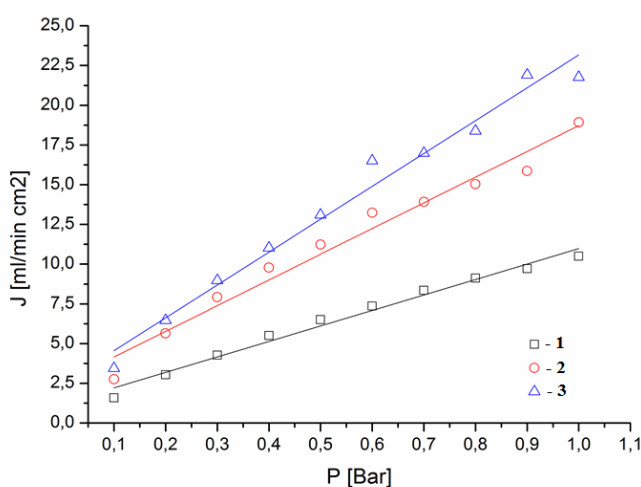
Таблица 4. Дзета - потенциал трековых мембран в разных диапазонах pH

Дзета- потенциал	Трековые мембраны			
	virgin	γ – irradi.	Pl.	Pl.+ γ – irradi
pH 5.0-7.0	-53,25	-52,58	-47,95	-65,92
pH 7.0	-62,27	-60,97	-56,82	-73,76
pH 7.0-9.0	-70,5	-63,25	-60,65	-79,36

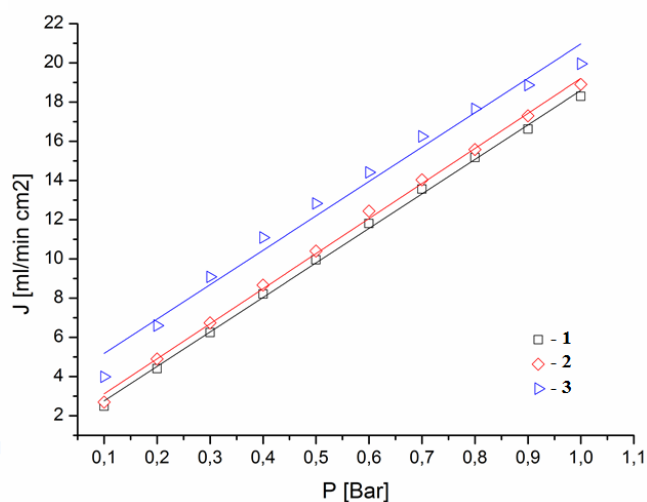
Примечание: virgin – исходные образцы; γ – irradi. – после стерилизации ионизирующим облучением (1 кГр); Pl. – после плазменного воздействия (время воздействия 30 секунд); Pl.+ γ – irradi – после плазменного воздействия (t=30 сек) и γ – стерилизации (1 кГр).

Таким образом, трековая мембрана имеет отрицательно заряженную поверхность. Плазменное воздействие уменьшает отрицательный заряд полимера, что может быть расценено как замещение ионов H^+ групп (COO^-) и (CO^-) , тем самым увеличивая количество гидроксильных групп и гидрофильность материала.

Гамма стерилизация, характеризующаяся проникновением на всю толщину материала и возможной деструкцией звеньев полимера, способствует увеличению количества отрицательно заряженных групп на поверхности мембраны (рис. 26, 27).



а)



б)

Рисунок 28. Проницаемость трековых мембран по воде (а) и хлориду натрия (б). Кривые: 1 – исходная мембрана; 2 – после гамма-стерилизации (1 кГр); 3 – после гамма-стерилизации (10 кГр).

Проницаемость мембран по воде и хлориду натрия показала, что стерилизация способствует увеличению проницаемости мембран, причем с увеличением стерилизующей дозы, увеличивается проницаемость (рис. 28), что может говорить об эффекте малых доз ионизирующего облучения [117 - 120]. Различия по характеру жидкости аналогичны различиям проницаемости мембран после плазменной обработки (рис. 16, 28). Похожий эффект наблюдали авторы статьи [112].

Введение

На сегодняшний день оценка коммерческой ценности разработки является обязательным условием поиска источников финансирования научного исследования и коммерциализации его результатов. Для разработчиков эта часть имеет большое значение, так как они должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Оценка позволяет ученому не только улучшить технические параметры, но и создать конкурентоспособную разработку, отвечающую современным требованиям, а также найти партнеров для дальнейшего проведения научного исследования и внедрения его результатов в промышленный оборот.

Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения научного исследования трековых мембран из полиэтилентерефталата.

4.1 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды выполняемого научного исследования проводят - SWOT-анализ. SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) [121].

Анализ проводится в несколько этапов.

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлена в таблице 8

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

Таблица 8 - SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Заявленная экономичность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Квалифицированный персонал. С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл1. Длительный период при некоторых видах исследований. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований. Сл3. Недостаток финансовых средств Сл4. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ
Возможности:		
В1. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров В2. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ В3. Ценовая стабильность на рынке товаров-конкурентов		
Угрозы:		
У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Ограничения на экспорт технологии У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

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

Использование интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT.

Таблица 9 - Интерактивная матрица работы

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

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: B1C1C2C3; B2C1C2C3. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта. В таблице факторы помечаются: соответствие сильных сторон возможностям знаком плюс «+»; слабое соответствие знаком минус«-»; если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-» - знак«0» (таблица 9).

Третий этап включает в себя итоговую матрицу SWOT-анализа, которая приводится в магистерской диссертации (таблица 10).

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 10 - SWOT-анализ

	Сильные	Слабые стороны
--	---------	----------------

	стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Квалифицированный персонал. С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	научно-исследовательского проекта: Сл1. Длительный период при некоторых видах исследований. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований Сл3. Недостаток финансовых средств Сл4. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ
Возможности: В1. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров В2. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ В3. Ценовая стабильность на рынке товаров-конкурентов	При использовании научно-исследовательских достижений ТПУ можно повысить снизить стоимость производимой продукции и тем самым заявить об экономичности, экологичности технологии, а также повышении квалификации персонала.	Научно-исследовательские достижения ТПУ могут быть использованы при отсутствии необходимого оборудования и недостатке финансирования.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Ограничения на экспорт технологии У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Заявленная экономичность и энергоэффективность может быть не оправдана при отсутствии спроса на новые технологии, ограничении на экспорт и несвоевременном финансировании научного исследования.	Отсутствие необходимого оборудования и длительность периода исследований может привести к отсутствию спроса на новые технологии.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Приведённый анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований. При этом, если переход разработки в стадию коммерциализации затянется, то возможна потеря спроса на готовую технологию.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

Для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательных действий необходимо составить календарный график выполнения НИОКР.

Таблица 11 - Календарный план ВКР

№ работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания на ВКР	3	12.01.2016	15.01.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	16.01.2016	18.01.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследования и способов решения задач	2	19.01.2016	21.01.2016	Руководитель магистрант
4	Подбор и изучение научно-технической литературы по теме	38	22.01.2016	01.03.2016	магистрант
5	Разработка методики экспериментальных исследований	2	02.03.2016	04.03.2016	Руководитель магистрант
6	Проведение экспериментальных исследований	40	04.03.2016	14.04.2016	магистрант

7	Анализ и обработка полученных результатов	20	15.04.2016	8.05.2016	Руководитель магистрант
8	Оформление пояснительной записки	21	10.05.2016	31.05.2016	магистрант
9	Подготовка к защите ВКР	17	1.06.2016	17.06.2016	Руководитель, магистрант

Иллюстрацию календарного плана представляют в виде диаграммы Ганта таблица 12, представляющую собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм). Они характеризуют начало даты и окончания выполнения работ, и представлены протяженными во времени отрезками с различной штриховкой (отвечающей за исполнителя работы).

4.3. Бюджет научного исследования

Планирование бюджета научного исследования предполагает необходимость учета полного и достоверного отражения всех видов планируемых расходов, необходимых при его выполнении.

Процесс формирования бюджета НТИ включает в себя учет материальных затрат НТИ, затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную заработную плату исполнителей темы и другие статьи по затратам, представленным в таблице 13 определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат осуществляется по договорным ценам или действующим прейскурантам. Учитываются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены) также входят в расчет стоимости материальных затрат. Результаты по данной статье представлены таблице 14.

Таблица 12 - Календарный план-график проведения НИОКР

№	Вид работ	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ																	
			январь			февраль			март			апрель			май			июнь		
			Декады (10 дней)																	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Разработка технического задания на ВКР	р																		
2	Составление и утверждение технического задания	р																		
3	Выбор направления исследования и способов решения задач	р, м		 																
4	Подбор и изучение научно- технической литературы по теме	м																		
5	Разработка методики эксперимен- тальных исследований	р, м							 											
6	Проведение эксперименталь- ных исследований	м, и																		
7	Анализ и обработка полученных результатов	р, м																		
8	Оформление пояснительной записки	м																		
9	Подготовка к защите ВКР	м																		

р – руководитель - ■

м – магистрант - ■

Таблица 13 - Группировка затрат по статьям

Виды работ	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на соц. нужды	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого Плановая себестоимость НИР
1	1946	99166	99445	9944	32926	2253	87511	333191
2			13200					13200

Таблица 14 - Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

	Материал	Единица материала	Цена, руб/ед.	Количество материала	Затраты, руб.
	Полиэтилентерефталат	рулон	280	3	840
	Раствор NaOH	л	80	1	80
	Раствор CH ₃ COOH	л	73	1	73
	Моющее средство	л	30	1	30
	Дистиллированная вода	л	15	20	300
	Бумага	упаковка	200	0,5	100
	Спирт этиловый	л	200	2	400
	Растворитель (бензин)	л	50	0,5	25
Всего за материалы					1768
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					178
Итого					1946

4.3.1 Специальное оборудование для научно-исследовательских работ

Все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов) необходимого для проведения работ по конкретной теме включены в данную статью.

Таблица 15 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Кол. ед. оборудования	Стоимость (руб.)	Амортизация в год (руб.)	Срок использования (дни)	Амортизация за все дни использования
1	ИК- Фурье спектрометр	1	700000	58300	5	9700
2	Научно-исследовательский комплекс Centaur UHR	1	8000000	66600	15	33300
3	EasyDrop DSA	1	6500000	54100	21	36600
4	Электронный микроскоп Hitachi S3400N Type II	1	1500000	75000	5	12500
5	Электрокинетический анализатор SurPASS	1	2500000	53000	4	7066
6	Итого					99166

Вышеуказанное спецоборудование для проведения научно-исследовательской работы имеются в лабораториях ТПУ. Поэтому дополнительные финансовые расходы по данной статье не учитываются.

4.3.2. Расчет основной заработной платы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (7)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (8)$$

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (9)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.(окладом магистранта выступает стипендия, 2200руб.);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	96	104
- праздничные дни	12	12
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	233	225

Месячный должностной оклад

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} k_{\text{р}} = 44974 \text{ руб}, \quad (10)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _{раб} раб.дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	34595,56	1.3	44974	2162	46	99445
Магистрант	-	-	2200	-	-	13200

4.3.3. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительную заработную плату рассчитывали на примере руководителя. Она включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} З_{\text{осн}} = 0,1 \cdot 99445 = 9944,5 \text{ руб.} \quad (11)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,1$);

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Расчёт основной и дополнительной заработной платы представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	99445	2200
Дополнительная зарплата	9944	-
Зарплата исполнителя	109389	13200
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	122589	

4.3.4. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,301 \cdot (99445 + 9944) = 32926 \text{ руб.} \quad (12)$$

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

4.3.5. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле на примере руководителя:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (99445 + 9944) = 87511 \text{ руб.} \quad (13)$$

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

Заключение. При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (6123 руб), затратам по основной заработной плате исполнителей тем (112645 руб), затратам по дополнительной заработной плате (9944 руб) и отчислениям во внебюджетные фонды (32926 руб). Всего бюджет составил 331002 руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Данная научно-исследовательская работа направлена на изучение поверхностных и структурных свойств покрытий применяемых в медицине. Расчёт экономической и финансовой эффективности не имеет других

вариантов, так как ход работы проходил линейно, что подтверждается графиком диаграммы Ганта (таблица 12).

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

В настоящее время в мире происходит большое количество различных ЧС на предприятиях. В связи с этим, актуальной проблемой является обеспечение безопасности рабочих мест на предприятии, и предотвращение возможных ЧС.

Магистерская работа по теме «Исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы и γ – облучения на свойства трековых мембран из полиэтилентерефталата» предполагает работу с установкой атмосферной низкотемпературной плазмы. Облучение пленок проводилось на установке «Исследователь» НИИ ПП сертифицированным персоналом, что исключает работу студента с радиационным облучением. Процедура стерилизации γ – облучением Co^{60} исключает возможность радиационной активности материала медицинского назначения и проводится согласно ГОСТ 11137 2000.

В данной главе рассмотрены правила безопасной работы труда при выполнении модификации поверхности мембран, а также последующих исследований. Рассмотрены условия работы с установкой, выделены опасные и вредные производственные факторы, а также существующие средства и методы защиты, описаны организационные и технические мероприятия, проводимые перед началом работы.

Опасным производственным фактором, согласно [122], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

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

5.1 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 [123].

На инженера, работа которого связана с моделированием на компьютере, воздействуют следующие факторы:

1.) физические:

микроклимат;

шум;

статическое электричество;

электромагнитное поле низкой частоты;

освещённость;

наличие излучения;

2.) психофизиологические

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Таблица 19 – 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	
Рабочее место находится на кафедре ЭФ НИИ ТПУ в учебном корпусе № 19. Исследование воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы и γ – облучения на	Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне		Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.

свойства трековых мембран из полиэтилентерефталата			
		Электри- ческий ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электро- безопасность

Гамма-излучение, или кванты энергии (фотоны), представляют собой жесткие электромагнитные колебания, образующиеся при распаде ядер многих радиоактивных элементов. Ионизирующий эффект действия гамма-излучения обусловлен в основном как непосредственным расходом собственной энергии, так и ионизирующим действием электронов, выбиваемых из облучаемого вещества. В соответствии с установленными величинами относительной биологической эффективности, предельно допустимая доза (ПДД) ионизирующего гамма- излучения – 0,1 рад/нед. Средства коллективной защиты (СКЗ) для ионизирующего гамма- излучения в соответствии с ГОСТ 12.4.123-83 включают оградительные; предупредительные устройства; герметизирующие устройства, защитные покрытия; устройства улавливания и очистки воздуха и жидкостей; средства дезактивации; устройства автоматического контроля; устройства дистанционного управления; средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ; знаки безопасности; емкости для радиоактивных отходов. Средства индивидуальной защиты (СИЗ) для ионизирующего гамма- излучения включают в себя: костюм, фартук, нарукавники, брюки, перчатки, халат. Для изготовления пленочных средств индивидуальной защиты от ионизирующих излучений применяются определенные виды пластика и резины или органического стекла. Они должны быть не только устойчивы к определенному виду негативного воздействия (скачки температуры, излучение, повышенная влажность, запыленность помещения), но и легко очищаться от загрязнений после использования. Конструкция такой одежды зачастую предусматривает подачу чистого воздуха под нарукавники и костюм. При использовании средств индивидуальной защиты от ионизирующих излучений необходимо учитывать и

правила их надевания и снятия. Несоблюдение их или нарушение последовательности влечет к загрязнению одежды и кожи сотрудников.

5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих

5.2.1. Требования к ПЭВМ и организация работы организационные мероприятия

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

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

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.

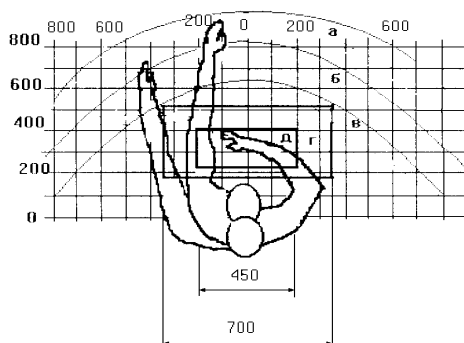


Рисунок 29. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

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: 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 заглублённым 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 D к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 D. 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.

5.2.2. Условия безопасной работы

5.2.2.1. Производственный шум

При работе форвакуумного и турбомолекулярного насосов, а также вентиляции возникает производственный шум. Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения, прежде всего в органах слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, составляет 75 дБА. Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБА обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026. Рекомендуется использовать следующие средства:

коллективной защиты: акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры;

средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски.

5.2.2.1. Микроклимат

При работе компонентов установки, а также охлаждающего оборудования происходит изменение микроклимата в помещении. В соответствии с [124], параметрами, характеризующими микроклимат, являются:

1. температура воздуха;
2. относительная влажность воздуха;
3. скорость движения воздуха.

Выполняемые работы относятся к Ib категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не превышает 45 °С.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 20.

Для создания оптимальных метеорологических условий в помещениях применяют кондиционирование воздуха — автоматическое поддержание в помещениях заданных оптимальных параметров микроклимата и чистоты воздуха независимо от изменения наружных условий и режимов внутри помещения.

Системы вентиляции служат для удаления из помещения загрязненного и (или) нагретого воздуха и подачи в него чистого. Системы кондиционирования воздуха обеспечивают создание и автоматическое поддержание в помещении заданных

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Контролируемые показатели	Оптимальные нормы для рабочего места		Допустимые нормы для рабочего места	
	В холодный и переходный периоды года	В теплый период года	В холодный и переходный периоды года	В теплый период года
Температура, °C	20-23	22-25	19-25	23-28
Относительная влажность, %	40-60	40-60	не более 75	не более 55 (при 28°C)
Скорость движения воздуха, м/с	не более 0,2	не более 0,2	не более 0,2	не более 0,5

параметров воздушной среды независимо от меняющихся метеоусловий.

В холодное время года для поддержания в помещении оптимальной температуры воздуха применяется отопление.

5.2.3. Расчет искусственной освещенности

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости.

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) освещения и комбинированного (общего и местного) освещения. При учете особенностей процесса работ с установкой низкотемпературной атмосферной плазмы (ТПУ,

Россия) (не требует освещения для работ высокой точности) допускается применение системы общего равномерного освещения.

Для освещения помещения используются светильники для ламп ЛХБ типа ОД (мощность 15 Вт).

Высота помещения: $H = 3800$.

Расстояние светильников от перекрытия: $h_c = 400$.

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 3800 - 400 = 3400 \quad (14)$$

Высота рабочей поверхности над полом: $h_{rp} = 800$.

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{rp} = 3400 - 800 = 2600 \quad (15)$$

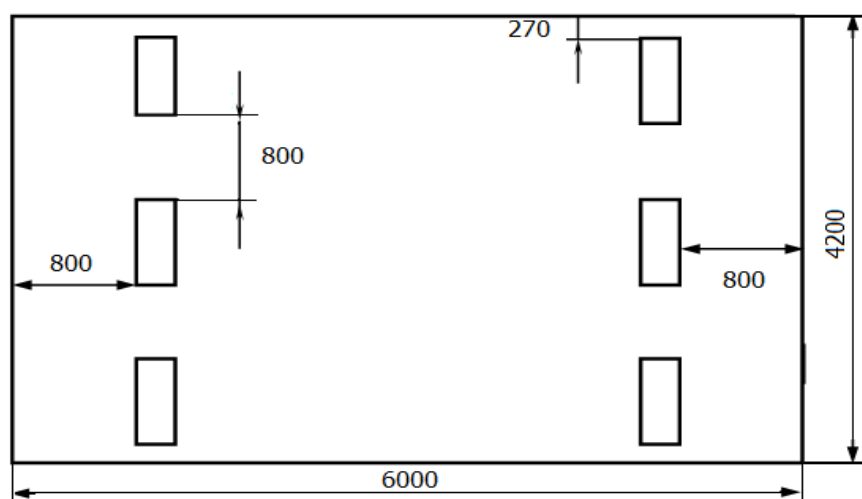


Рисунок 30 – Схема размещения светильников в помещении

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина $h = 2600$ мм не соответствует требованиям. В целях создания благоприятных зрительных условий на рабочем месте и для борьбы со слепящим действием источников света необходимо использовать двухламповые светильники ШЛД или ШОД (наименьшая допустимая высота подвеса над полом: 2,5 м).

Расстояние между соседними светильниками: $L = 800$ мм;

Расстояние от крайних светильников до стены: $l = 270$ мм.

Расстояние от крайних светильников до стены является оптимальным, так как рекомендуемая величина равна $\frac{L}{3} = \frac{800}{3} = 267$ мм.

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников является величина $\lambda = \frac{L}{h}$. При идеальном расположении светильников ОД величина должна составлять 1,4 м.

Оптимальное расстояние между светильниками L должно составлять:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \text{ м}, \quad (16)$$

что соответствует настоящему расположению светильников.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 25,2 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,42} = 2685 \text{ Лм}, \quad (17)$$

где нормируемая минимальная освещенность (по СНиП 23-05-95): $E_n = 300$ лк (разряд зрительной работы V: малой точности);

Площадь освещаемого освещения: $S = 25,2 \text{ м}^2$;

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли: $K_z = 1,5$ (помещение с малым выделением пыли);

Коэффициент неравномерности освещения: $Z = 1,1$ (для люминесцентных ламп);

Число ламп в помещении: $N = 12$;

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 42$.

Световой поток лампы ЛХБ типа ОД (40 Вт) составляет 2700 Лм. Расчет искусственного освещения показал, что световой поток от 1 лампы 2685 Лм.

5.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

При выполнении работы возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

- 1) Электрическое напряжение.
- 2) Пожаровзрывоопасность.

5.3.1. Электробезопасность

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Согласно [123] электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Помещения разделяются на три класса опасности: без повышенной опасности, и повышенной опасностью, особо опасные электроустановки. Согласно ПУЭ 7.4 «Правила устройства электроустановок» помещение, в котором находится установка, предназначенная для воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы на поверхность материала, относится к помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность. К таким условиям относятся: сырость (влажность более 75 %), токопроводящей пыли, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.); высокие температуры (выше 35 °С); возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей технологическим аппаратам,

механизмам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой. В лаборатории находятся электрические установки с классами напряжения до 10 кВ, в которых, согласно ГОСТ12.1.038-82 ССБТ, предельно допустимые безопасные значения тока, напряжения и сопротивления не должны превышать значений 0,1 мА, 36В и 4 Ом соответственно.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия [125]:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
2. своевременно проводить техническое обслуживание;
3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников [126].

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;
5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;
6. средства индивидуальной защиты и предохранительные приспособления: диэлектрические перчатки, галоши, изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, диэлектрические резиновые ковры, указатели напряжения.

5.3.2. Пожаровзрывобезопасность

Согласно НПБ 105-03 используемое помещение относится к категории пожароопасной В1-В4, т. е. в которых находятся горючие и трудногорючие жидкости, вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся, не относятся к взрывопожароопасным категориям А или Б.

В лаборатории разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка (мастерской, цеха и т. п.) в соответствии с приложением № 1 ППБ 01-03

Согласно [127, 128] работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

Согласно [129] в здании, где ведутся работы, предусмотрены инженерно-технические решения, которые обеспечивают в случае пожара эвакуацию людей (аварийные выходы), подачу средств пожаротушения к очагу, есть сигнализация и работает оповещение о пожаре.

Пожарные краны, огнетушители и другая пожарная техника для защиты объектов соответствует (ГОСТ 12.1.004-91 с измен. 21.10.1993 г).

На рисунке 22 представлен план эвакуации 131 аудитории 19 корпуса, где находится установка низкотемпературной атмосферной плазмы. По плану виден основной эвакуационный выход и 2 огнетушителя. В лабораториях расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)-АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт).

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
2. Курение в неустановленных местах;
3. Перегрузка электрических сетей;



Рисунок 31 – План эвакуации из рабочего помещения:

	Телефон		Направление к эвакуационному выходу
	Аптечка первой помощи		Умывальник
	Огнетушитель		Пожарный кран
	Вы находитесь здесь		Основной путь эвакуации

4. Нарушение правил пожарной безопасности;
5. Неправильное хранение возгорающихся веществ.

5.4 Охрана окружающей среды

В данной работе отходами являются полимерные образцы.

Утилизация полимерных отходов состоит из нескольких технологических операций, включающих в себя:

1. сортировка и идентификация для отходов смешанного полимерного типа;
2. транспортировку отходов на перерабатывающее предприятие;
3. измельчение отходов;
4. разделение, мойка и сушка смешанных полимерных отходов.;
5. заключительный контроль отходов;
6. переработка.

После стерилизации образцов γ – облучением Co^{60} образцы не имеют наведенную радиацию.

5.5. Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Рассмотрим две наиболее типичных чрезвычайных ситуации, которые могут произойти на предприятии.

Первый случай: остановка производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

1. Повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

2. Обеспечение устойчивости теплоснабжения за счет запасных автономных источников теплоснабжения, кольцевания системы, заглубления теплотрасс.

3. Обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования водопитания, кольцевание системы, заглубление водопроводов, обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Должна быть разработана схема аварийного выпуска сточных вод

непосредственно в водоемы. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

Второй случай: диверсия.

Для обеспечения безопасности работника, предотвращения хищений и проникновении посторонних лиц на предприятие следует использовать ряд мер безопасности:

1. Организовать контрольно-пропускной пункт.
2. Установить системы видеонаблюдения в производственных цехах, а также на всех входах и выходах из здания.
3. Установить оповещающие системы безопасности при несанкционированном проникновении на предприятие в нерабочее время.

5.6. Промышленная санитария

Промышленная санитария - система практических мероприятий, направленных на предупреждение неблагоприятного воздействия условий труда на здоровье лиц, занятых в промышленности.

Исходным сырьем для получения мембран является полиэтилентерефталат. Полиэтилентерефталат - термопластик, наиболее распространённый представитель класса полиэфиров, известен под разными фирменными названиями. Многообразно применение полиэтилентерефталата в машиностроении, химической промышленности, пищевом оборудовании, транспортных и конвейерных технологиях, медицинской промышленности, приборостроении и бытовой технике.

Согласно гигиеническим нормативам "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГН 2.2.5.1313-03", утвержденным Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27 апреля 2003 г, ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений и класс опасности основных продуктов деструкции полиэтилентерефталата приведены в таблице 21.

Таблица 21. Предельно допустимые концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны производственных помещений и класс опасности основных продуктов деструкции полиэтилентерефталата.

Наименование вредного вещества	Предельно допустимая концентрация, мг/м	Класс опасности по ГОСТ 12.1.007	Действие на организм
Ацетальдегид	5,0	3	Вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей
Оксид углерода	20,0	4	Вызывает головокружение, шум в ушах, чувство слабости
Терефталевая кислота	0,1	1	Раздражает центральную нервную систему, слизистые оболочки глаз, органы дыхания
Органические кислоты (в пересчете на уксусную)	5,0	3	Вызывают раздражение верхних дыхательных путей
Диметилтерефталат	0,1	1	Вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей

5.7. Правовые вопросы обеспечения безопасности

К работе на установке низкотемпературной атмосферной плазмы допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний, норм и правил работы с электроустановками, приобретенных навыков и безопасных способов

выполнения работы на установке, имеющие не менее III группы по электробезопасности.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца. Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются следующие законодательные и нормативные документы:

- Инструкция по охране труда при выполнении работ на установке низкотемпературной атмосферной плазмы;
- Инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.003-99 ССБТ Шум. Общие требования эксплуатации;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
- ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление;
- ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах;
- ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация;
- ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;

- СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений;
- СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

Заключение. В данной главе были рассмотрены правила безопасной работы труда при выполнении основных этапов воздействия низкотемпературной атмосферной плазмы, а также их последующих исследований. Рассмотрены условия работы с установкой, выделены опасные и вредные производственные факторы, а также существующие средства и методы защиты, описаны организационные и технические мероприятия, проводимые перед началом работы.

Заключение

Комплекс проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Воздействие низкотемпературной атмосферной плазмы на поверхность трековой мембраны приводит к резкому увеличению её шероховатости, формированию деструктивных областей в виде многочисленных хаотично распределенных по поверхности неровностей;

2. Воздействие на ТМ γ -излучения ^{60}Co приводит к уменьшению шероховатости поверхности образцов после плазменного воздействия и уменьшению количества деструктивных областей;

3. Поверхностные изменения мембран после плазменной модификации обусловлены окислительно–восстановительными химическими реакциями, протекающими в результате плазменного воздействия и приводящими к изменению её химического состава: уменьшению числа неполярных и увеличению числа полярных функциональных групп в тонком приповерхностном слое ТМ;

4. Изменение химического состава поверхности ТМ в результате плазменного воздействия способствует увеличению свободной энергии поверхности за счет роста полярной составляющей и уменьшению краевого угла смачивания, что приводит к росту лиофильности поверхности;

5. Стерилизация γ - облучением ^{60}Co образцов ТМ, модифицированных плазмой, уменьшает количество полярных функциональных групп, и, как следствие, смачиваемость поверхности;

6. Трековая мембрана имеет отрицательно заряженную поверхность. Плазменное воздействие уменьшает отрицательный заряд полимера, что может быть расценено как замещение ионов H^+ групп $(\text{COO})^-$ и $(\text{CO})^-$. γ – стерилизация способствует увеличению количества отрицательно заряженных групп на поверхности мембраны.

Список публикаций

Результаты научно исследовательской работы были апробированы на следующих конференциях:

– Современные техника и технологии: XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 5-9 Октября 2015.

– Перспективы развития фундаментальных наук, Томск, 21-24 Апреля 2015.

– Second International Conference on Radiation and Dosimetry Fields of Research, Belgrad, May 27-30, 2014.

– Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: VII Международная научно-практическая конференция, Томск, 3-6 Июня 2015.
- Томск: ТПУ, 2015.

– Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций, Томск, 21-25 Сентября 2015.

- Всероссийская итоговая 74-я студенческая научная конференция им. Н.И. Пирогова, Томск, 27-29 Апреля 2015.

По теме работы были опубликованы следующие работы:

1. Filippova E. O., Sokhoreva V. V., Pichugin V. F. Potential use of nuclear track membranes in ophthalmology // Petroleum Chemistry. - 2014 - Vol. 54 - №. 8. - p. 669-672;

2. Filippova E. O., Pichugin V. F., Sokhoreva V. V. Possibility of Using Nuclear Track Membrane for Ophthalmology // Advanced Materials Research. - 2015 - Vol. 1084. - p. 434-438;

3. Запускалов И. В., Филиппова Е. О., Сохорева В. В., Шилова О. Г. Исследование возможности применения полимерных трековых мембран в барьерной кератопластике // Известия Высших Учебных Заведений. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 11/3. - С. 303-305;

4. Филиппова Е. О., Сохорева В. В. , Пичугин В. Ф. Исследование возможности применения ядерных трековых мембран для офтальмологии // Мембраны и мембранные технологии. - 2014 - Т. 4 - №. 4. - С. 267-271;
5. Кривошеина О. И., Филиппова Е. О. Клинико-экономическая оценка консервативного лечения эндотелиально-эпителиальной дистрофией роговицы // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией , Томск, 6-10 Апреля 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 675-676;
6. Филиппова Е. О., Сыпченко В. С. Применения трековых мембран на основе полиэтилентерефталата в хирургическом лечении буллезной кератопатии [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 5-9 Октября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 1 - С. 308-310 - <http://portal.tpu.ru/files/conferences/ctt/proceedings/2015/ctt-2015-2.pdf>;
7. Filippova E. O. Anderung der kontaktwinkel spur membranen nach der behandlung mit niedriger temperatur atmospharischen plasma [Electronic resorces] // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 272-275 - http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2015.pdf;
8. Филиппова Е. О. Изменения контактного угла смачиваемости ПЭТФ трековых мембран после автоклавирования [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 275-277 - http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2015.pdf;

9. Filippova E. O., Sokhoreva V. V. The Possibility of Using Nuclear track membrane for ophthalmology // Second International Conference on Radiation and Dosimetry Fields of Research: Proceedings, Belgrad, May 27-30, 2014. - Nis: University of Nis, 2014 - p. 119-122;
10. Filippova E. O., Filippov A. V. Sterilization influence on PET track membrane properties // Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций: сборник тезисов докладов, Томск, 21-25 Сентября 2015. - Томск: ИФПМ СО РАН, 2015 - С. 578;
11. Филиппова Е. О. Метод барьерной кератопластики с использованием трековых мембран при лечении эндотелиально-эпителиальной дистрофии роговицы // Всероссийская итоговая 74-я студенческая научная конференция им. Н.И. Пирогова : сборник материалов, Томск, 27-29 Апреля 2015. - Томск: СибГМУ, 2015 - С. 266;
12. Филиппова Е. О. Экспериментальное обоснование возможности применения полимерных мембран при эндотелиально-эпителиальной дистрофии роговицы // Всероссийская итоговая 74-я студенческая научная конференция им. Н.И. Пирогова : сборник материалов, Томск, 27-29 Апреля 2015. - Томск: СибГМУ, 2015 - С. 265;
13. Filippova E. O., Pichugin V. F. Changing of track membranes contact wetting angle after low-temperature atmospheric plasma treatment [Electronic resorces] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 212-213 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>.

Список использованных источников

1. Каспаров, А. А. Каспарова, Е. А. Труфанов, С. В. Послеоперационная буллезная кератопатия: трансплантационные и нетрансплантационные методы лечения // Тезисы докладов IX съезда офтальмологов России. Москва: Печатная мануфактура. - 2010. - С. 307.
2. Егоров, В. В. Посвалюк, В. Д. Сорокин, Е. Л. Поиск возможностей повышения эффективности лечения тяжелых индуцированных дистрофий роговицы методом эксимерной хирургии // Офтальмология. - 2008. - Т. 5. - № 3. - С. 35 – 40.
3. Мамиконян, В. Р. Современные технологии пересадки роговицы // Тезисы докладов IX съезда офтальмологов России. – Москва. - 2010. - С. 311.
4. Егоров, В. В. Поиск возможностей повышения эффективности лечения тяжелых индуцированных дистрофий роговицы методом эксимерной хирургии // Офтальмология. - 2008. - Т.5, №3.- С. 35 40.
5. Ермаков, Н. В. Диагностическое и прогностическое значение зеркальной микроскопии эндотелия при трансплантации роговицы: автореф. дисс. канд. мед. наук. Н. В. Ермаков. Москва. - 1989. - 26 с.
6. Каспаров, А. А. Труфанов, С. В. Использование консервированной амниотической мембраны для реконструкции поверхности переднего отрезка глаза // Вестник офтальмологии. - 2003. - № 3. - С. 45-47.
7. Мороз, З. И. Тахчиди, Х. П. Калинин, Ю. Ю. Современные аспекты кератопластики // Новые технологии в лечении заболеваний роговицы: мат-лы. конф. – Москва. - 2004. - С. 280-288.
8. Момозе, А. и др. Использование лиофилизированной амниотической оболочки человека для лечения поражений поверхности глазного яблока // Офтальмохирургия. – 2001. – № 3. – С. 3 – 9.
9. Мороз, З. И. Современные направления хирургического лечения патологии роговицы // тезисы докл. IX съезда офтальмологов России. – Москва. - 2010. - С. 298-299.

10. Малюгин, Б. Э. Мороз, З. И. Ковшун, Е. В. и др. Задняя автоматизированная послойная кератопластика с использованием ультратонких трансплантатов // тезисы докл. IX съезда офтальмологов России. – Москва. - 2010. - С. 310-311.
11. Кривошеина, О. И. Филиппова Е. О. Клинико-экономическая оценка консервативного лечения эндотелиально-эпителиальной дистрофией роговицы // Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией. – 2015. - 675 – 678.
12. Малюгин, Б. Э. Мороз, З. И. Ковшун, Е. В. и др. Задняя автоматизированная послойная кератопластика с использованием ультратонких трансплантатов // тезисы докл. IX съезда офтальмологов России. – Москва. - 2010. – С. 310 – 311.
13. Гундорова, Р. А. Нероев, В. В. Воробьева, М. А. и др. Микроинвазивная десцеметопластика-пересадка десцеметовой мембраны и эндотелия через 2,0 мм разрез // Сборник науч. тр. Рос. общенац. офтальмол. форума. – Т. 2. – М., 2009. – С. 275 – 277.
14. Егоров, В. В. Посвалюк, В. Д. Сорокин, Е. Л. Поиск возможностей повышения эффективности лечения тяжелых индуцированных дистрофий роговицы методом эксимерной хирургии // Офтальмология. - 2008. - Т. 5. - № 3. - С. 35– 40.
15. Волков, В. В. Бржеский, В. В. Ушаков, Н. А. Офтальмохирургия с использованием полимеров / Волков, В. В. Бржеский, В. В. Ушаков, Н. А., СПб. - 2003. – С. 172 – 178.
16. Гундорова, Р. А. и др. Применение амниотической мембраны в офтальмологии: обзор литературы // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2007. – № 2. – С. 27 – 31.
17. Драваджян, З. Х. Амбариумян, А. В. Овакимян, А. В. Применение амниотической мембраны при перфорациях роговицы // Сборник науч. тр. Рос. общенац. офтальмол. форума. – Т. 2. – М., 2009. – С. 280 – 284.

18. Джураева, Ш. У. Гельманова, Т. И. Первый опыт пересадки амниотической мембраны в лечении различных заболеваний роговицы // Тез. докл. IX съезда офтальмологов России. – Москва. - 2010. - С. 304.
19. Мамиконян, В. Р. Труфанов, С. В. Осипян, Г. А. Современные технологии пересадки роговицы: // Тезисы докладов IX съезда офтальмологов России. - Москва: Печатная мануфактура, 2010. С. 311.
20. Филатов, В. П. Оптическая пересадка роговицы и тканевая терапия / В. П. Филатов. – Москва, 1945, 120 с.
21. Закон РФ "О трансплантации органов и (или) тканей человека" от 22.12.1992 г. // Ведомости Съезда народных депутатов РФ и Верховного Совета РФ, 1993. № 2. с. 62.
22. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации «О трансплантации органов и (или) тканей человека» от 4 июня 2015 г. N 307н/4 г.
23. Краснов М. М., Орлова Е. А. Первый опыт имплантации искусственной роговицы (аллопластическое кератопротезирование) // Вестник офтальмологии. – 1967. – № 6. – С.11 – 16.
24. Морхат, И. В. Интраламеллярная кератопластика / Морхат, И. В. – Минск, 1980. – 110 с.
25. Морхат, И. В. Медведская, Л. Е. Методика расчётов изменения рефракции при рефракционной интраламеллярной кератопластике твёрдым аллопластическим материалом // Проблемы офтальмологии. – Киев, 1976. – С. 54 – 55.
26. Dohlman, C. H. et al. Syntetic polymers I corneal surgery. I. Glyceryl mehacrylate // Arch. Ophthalmol. – 1967, Vol. 77(2). pp. 252-257.
27. Refojo, M. F. Dohlman, C. H. Alloplastic implants in corneal edema // Int. Ophthalmol. Clin. – 1968, Vol. 8(3), pp. 729-756.
28. Животовский, Д. С. Изменение рефракции глаза в результате имплантации внутрироговичных пластмассовых линз в эксперименте // Вестник офтальмологии. – 1970, №2, С. 34 – 38.

29. Животовский, Д. С. Применение внутрироговичных пластмассовых линз в эксперименте и клинике // Вестник офтальмологии – 1972. - № 2, С. 38-45.
30. McCarey, B. E. Andrews, D. T. Refractive keratoplasty with intrastromal hydrogel lenticular implants // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 1991. – Vol. 21. – P. 107-115.
31. McCarey, et. Al. Hydrogel implants for refractive keratoplasty: corneal morphology // Cur. Eye Res. - 1982/83. – Vol. 2. – pp. 29-38.
32. McCarey, et al. Hydrogel keratophakia: a freehand pocket dissection in the monkey model // Br. J. Ophthalmol. – 1986, Mar. –Vol. 70(3). – pp. 187-
33. Binder, P. S. et al. Hydrogel implants keratophakia in non-human primates //Curr. Eye Res. - 1981/82. - Vol. 1. - pp. 535-542.
34. McDonald, M. B. et al. Alloplastic epikeratophakia for the correction of aphakia // Cur. Eye Res. – 1981. – Vol. 1. – pp. 131-137.
35. Werblin, T. P. et al. Stability of hydrogel intracorneal implans in nonhuman primates // Cont. Lens Assoc. Ophthalmol. – 1983, Jan. – Vol. 9. – pp. 17-61.
36. Гурбанов, Р. С. Интрастромальная кератопластика в коррекции миопии и миопического астигматизма при кератоконусе: Дис. канд. мед. наук. – М., 2010. – 151 с.
37. Мороз, З. И. Калинин, Ю. Ю. Леонтьева, Г. Д. и др. Рефракционные результаты имплантации интрастромальных роговичных сегментов на основе гидрогеля у пациентов с кератоконусом // Офтальмохирургия. – 2009. - № 1. – С. 14-17.
38. Stone, W. Herbert, E. Experimental study of plastic matenal as replacement for the cornea // Am. J. Ophthalmol. – 1953. - Vol. 36. – pp. 168-173.
39. D’Hermies, F. Hartmann, C. et al. Biocompatibility of a refractive intracorneal PMMA ring // Forschr. Ophthalmol. – 1991. – Vol. 88. – pp. 790 – 793.
40. Дронов, М. М. Каранов, К. С. Бобырь, А. Б. Способ лечения буллезной кератопатии. – Патент России № 2082364, приоритет от 27.06.1997.
41. Каранов, К. С. Трансплантация культивированного in vitro монослоя клеток заднего эпителия роговицы. Москва. 1991. с. 12-14.

42. Дружинин, И. Б. Способ лечения буллезной кератопатии. – Патент России № 2405513, приоритет от 13.10.2009
43. Флеров, Г. Н. Барашенков, В. С. Практические применения пучков заряженных частиц. Успехи физических наук, 1974, т.114, с. 351-373.
44. Price, P. B. Walker, R. M. Phys. Rev. Lett, 1962, v.8, pp. 217-219.
45. Маренный, А. М. Диэлектрические трековые детекторы в радиационном и радио- биологическом эксперименте. Энергоатомиздат.-М.-1987, 180 С.
46. Головков, В. М. Комов, А. И. Коньков, В. А. и др. Особенности получения трековых мембран с помощью циклотрона типа У-120. Изв. вузов. Физика, 1998, №4, с. 187-192.
47. Апель, П. Ю. Третьякова, С. П. Изучение процессов травления следов тяжелых заряженных частиц кондуктометрическим методом. Приборы и техника эксперимента, 1980, №3, с.58-61.
48. Головков, В. М. Пирогов, Н. В. Патент РФ № 2132580, Устройство для равномерной развертки пучка ионов. Бюллетень Изобретений. № 18, 1999 г.
49. Апель, П. Ю. Практические применения пучков заряженных частиц. Успехи физических наук, 1974, т.114, с. 351-373.
50. Апель, П. Ю. Радиационно-химическая модификация полиэтилентерефталатных пленок при облучении ускоренными тяжелыми ионами и разработка ультрафильтрационных мембран. // Диссертация на соискание кандидата химических наук. Дубна – 1985.
51. Нечаев, А. Н. Ионоселективные свойства трековых мембран // Диссертация на соискание кандидата химических наук. Москва – 1995.
52. Benton, E. V. On latent track formation in organic nuclear charged particle track detectors // Radiation Effects, 1970, Vol. 2, pp. 273-280.
53. Mchedlishvili, B. V. Beriozkin, V. V. Oleynikov, V. A. Vilensky, A. I. Vasilev, A. B. Structure, physical and chemical properties and application of nuclear filters as a new class of membranes // J. Membr. Sci. – 1993. – V. 79. – P. 285–304.
54. Рязанцева, Т. В. Кравец, Л. И. Экспериментальное исследование полиэтилентерефталатных трековых мембран с наноструктурированной

- поверхностью в качестве эксплантодренажа // Известия Томского политехнического университета. - 2012. - Т. 320. - № 2. - с. 120-125.
55. Копаева, В. Г. Глазные болезни / В. Г. Копаева. Москва: Медицина. – 2012. - с. 207.
56. Флеров, Г. Н. Барашенков, В. С. Практические применения пучков заряженных частиц. Успехи физических наук, 1974, т.114, с. 351-373.
57. Миронюк, А. В. Придатко, П. В. Сиволапов, В. А. Особенности оценки смачивания полимерных поверхностей // Технологии органических и неорганических веществ, Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - № 67. – 2014. - С. 23 – 26.
58. Фортова, В. Е. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том IV / Под ред. В.Е. Фортова Москва: Наука. - 2000. - 386 с.
59. Кравец, Л. И. Гильман, А. Б. Яблоков, М. Ю. и др. Исследование поверхностных и электрохимических свойств полипропиленовой трековой мембраны модифицированной в плазме неполимеризующихся газов // Препринт Объединенного института ядерных исследований. - Дубна. - 2012. - С. 21.
60. Yu, H.-Y. He, X.-Ch. Liu, L.-Q. Gu, J.-Sh. Wei, X.-W. // Plasma Process. and Polym. - 2008. - V. 5. - No. 1. - P. 84.
61. Zhou, J. Li, W. Gu, J.-Sh. Yu, H.-Y. // Membr. Water Treat. - 2010. - V. 1. No. 1. - P. 83.
62. Slepicka, P. Vasina, A. Kolska, Z. and all. // Nucl. Instrum. and Meth. D. - 2010. - V. 268. - No. 11-12. - P. 2111.
63. Kravets, L. I. Dmitriev, S. N. Sleptsov, V. V. Elinson V. M. // Surf. Coat. Technol. - 2003. - V. 174-175. - P. 821.
64. Головятинский, С. А. Модификация поверхности полимеров импульсной плазмой атмосферного давления / С. А. Головятинский. - Вестник Харьковского университета. - № 62. – 2004. - с. 80-86.
65. Акишев, Ю. С. Экспериментальные и теоретические исследования воздействия неравновесной низкотемпературной плазмы атмосферного

давления на поверхность полимерных пленок / Ю. С. Акишев, М. Е. Грушин, Н. А. Дятко, В. Б. Караульник, И. В. Кочетов, Напартович, А. В. Петряков, Н. И. Трушкин. Материалы 5-го Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии 3-8 сентября 2008. – Иваново. - с. 360-363.

66. Провоторова, Д. А. Модификация непредельных каучуков в низкотемпературной плазме с целью улучшения их адгезионных свойств / Д. А. Провоторова, В. Ф. Каблов, А. Н. Озерин, А. Б. Гильман, М. Ю. Яблоков, В. И. Аксенов, Н. А. Кейбал. - Клеи. Герметики. Технологии. - №9. – 2013. - с.7-9.

67. Кравец, Л. И. Гильман, А. Б. Дмитриев, С. Н. Модификация свойств полимерных мембран под воздействием низкотемпературной плазмы // Химия высоких энергий, 2009, Т. 43, № 3, с. 227 – 234.

68. Daphne, P. Eleftherios, A. Dimitrios, M. Vasilis, I. Panagiotis, N. Improved Surface Energy Analysis for Plasma Treated PET Films // Plasma Surface Engineering (PSE2006) Plasma Processes and Polymers. – 2007. - Vol. 4. - Issue Supplement 1. - pp. 1057–1062.

69. Daphne, P. Eleftherios, A. Dimitrios, M. Vasilis, I. Panagiotis, N. Improved Surface Energy Analysis for Plasma Treated PET Films // Plasma Surface Engineering (PSE2006) Plasma Processes and Polymers. – 2007. - Vol. 4. - Issue Supplement 1. - pp. 1057–1062.

70. Pelagadea, S. M. Singha, N. L. Anjum, Q. Ranec, R. S. Mukherjeec, S. Investigation of surface properties of Ar-plasma treated polyethylene terephthalate (PET) films // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – Vol. 289. – 2012. - pp. 34–38.

71. MiMi, K. Heung. S. K. Joong, Y. L. A Study on the Effect of Plasma Treatment for Waste Wood Biocomposites // Journal of Nanomaterials. – 2013. - pp. 2-6.

72. Kwang-Hyuk, Ch. Han-Ki, K. Effect of Ar Ion Beam Pre-Treatment of Poly(ethylene terephthalate) Substrate on the Mechanical and Electrical Stability of Flexible InSnO Films Grown by Roll-to-Roll Sputtering System // Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 52. – 2013. - pp. 45- 49.

73. Dowling, D. P. Tynan, J. Ward, P. Hynes, A. M. Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Amorphous Polyethylene Terephthalate for Enhanced Heatsealing Properties // International Journal of Adhesion and Adhesives– 2013, Vol.35, pp. 1 – 8.
74. Dowling, D. P. Tynan, J. Ward, P. Hynes, A. M. Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Amorphous Polyethylene Terephthalate for Enhanced Heatsealing Properties // International Journal of Adhesion and Adhesives. – 2013, Vol.35, pp. 1 – 8.
75. Navaneetha, K. Pandiyaraj, V. Selvarajan, R. Adhesive properties of polypropylene (PP) and polyethylene-terephthalate (PET) film surfaces treated by DC glow discharge plasma // Vacuum 83. – 2009. - pp. 332–339.
76. Aflori, M. Drobota, M. Combined treatments for the improving of the PET surfaces hydrophilicity // Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. - Vol. 10. - No. 2. – 2015. - p. 587 – 593.
77. Novak, I. Chodak, I. Sedlia J. et. al. Investigation of poly(ethylene terephthalate) treated by low-temperature plasma // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology. - No 72. – 2010. – PP. 83-89.
78. Maryam, M. Nasrin, Sh. Samad, N. Ebrahimi, A. Gerami, F. Effect of gamma irradiation on physico-mechanical properties of spice packaging films //Radiation Physics and Chemistry. – Vol. 78. – 2009. – PP. 806–809.
79. Dae, H. J. Kwang, H. L. Hyun, J. P. The effects of irradiation on physicochemical characteristics of PET packaging film // Radiation Physics and Chemistry. – Vol. 71. – 2004. – PP. 1059-1064.
80. Buczkowski, M. Sartowska, B. Wawszczak, D. Starosta, W. Radiation resistance of track etched membranes // Radiation Measurements. – Vol. 34. – 2001. – PP. 597–599.
81. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том IV/Под ред. В.Е. Фортова М.: Наука. 2000. 386 с.

82. Кравец, Л. И. Гильман, А. Б. Яблоков, М. Ю. Елинсон, В. М. Миту, Б. Динеску, Г. Исследование поверхностных и электрохимических свойств полипропиленовой трековой мембраны модифицированной в плазме неполимеризующихся газов // Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна. - 2012. - С. 21.
83. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
84. ГОСТ 2.309-73. Обозначения шероховатости поверхностей
85. Клышко, Д. В. Рассеяние света // Наука и жизнь. – 1988. – С.121.
86. Филатов, В. М. Разработка хеометрических методик экспресс-анализа показателей качества и состава нефтяных систем с применением метода ближней инфракрасной спектроскопии. – Москва. – 2010. – С. 117.
87. Громилов, С. А. Введение в рентгенографию поликристаллов / Учебно-методическое пособие. - Новосибирск. – 2008. – С. 50.
88. Абдалла, В. Основы смачиваемости / В. Абдалла [и др.] // Нефтегазовое обозрение. - 2007. - №19. - С. 54-75.
89. Owens, D. Estimation of the Surface Free Energy of Polymer // Appl. Polym. Sci., 1969, № 13, pp. 1741-1747.
90. Carre, A. Polar interactions at liquid/polymer interfaces // Adhesion Sci. Technol. - 2007. - Vol. 21. - № 10. - pp. 961-981.
91. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. — М.: ГХИ, — 1961. — 831 с.
92. Suter, S. P. Skalak, R. The history of Poiseuille's law // Annual review of fluid mechanics. — 1993. — T. 25. — С. 1–19.
93. Dowling, D. P. Tynan, J. Ward, P. Hynes, A. M. Cullen, J. Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Amorphous Polyethylene Terephthalate for Enhanced Heatsealing Properties // International Journal of Adhesion and Adhesives. – 2013. - Vol. 35. pp. 1 – 8.

94. Navaneetha, P. K. Selvarajan, V. Deshmukh, R. R. Changyou, G. Adhesive properties of polypropylene (PP) and polyethylene-terephthalate (PET) film surfaces treated by DC glow discharge plasma // Vacuum 83, 2009, pp. 332–339.
95. Nastuta, A. V. Rusu, G. B. Topala, I. Chiper, A. S. Popa, G. Surface modifications of polymer induced by atmospheric DBD plasma in different configurations // Journal of optoelectronics and advanced materials. – 2008. - Vol. 10. - № 8. - pp. 2038 – 2042.
96. Гужова, А. А. Темнов, Д. Э. Галиханов, М. Ф. Влияние параметров электретирования на поверхностные и электретные свойства полиэтилентерефталата // Известия Российского Государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2013. - № 157. - с. 55 – 60.
97. Barbara, H. Stuart. Infrared spectroscopy fundamentals and application // Wiley. – 2004. - p. 244.
98. Larkin, P. J. Infrared and Raman spectroscopy // Principles and spectral interpretation. – 2011. - p. 230.
99. Liang, C. Y. Krimm, S. Infrared Spectra of High Polymers // Part IX. Polyethylene Terephthalate. Journal of molecular spectroscopy. – 1959. - № 3. - pp. 554 – 574.
100. Shiv, G. Pr. Abhijit, De. Udayan, De. Structural and Optical Investigations of Radiation Damage in Transparent PET Polymer Films // International Journal of Spectroscopy. – 2011. - p. 7.
101. Kwang-Hyuk, Ch. Han-Ki, K. Effect of Ar Ion Beam Pre-Treatment of Polyethylene terephthalate Substrate on the Mechanical and Electrical Stability of Flexible InSnO Films Grown by Roll-to-Roll Sputtering System // Japanese Journal of Applied Physics. – 2013. - Vol. 52. - pp. 10 – 14.
102. Dowling, D. P. Tynan, J. Ward, P. Hynes, A. M. Cullen, J. Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Amorphous Polyethylene Terephthalate for Enhanced Heatsealing Properties // International Journal of Adhesion and Adhesives. – 2013. - Vol. 35. - pp. 1 – 8.

103. Navaneetha, P. K. Selvarajan, V. Deshmukh, R. R. Adhesive properties of polypropylene (PP) and polyethylene-terephthalate (PET) film surfaces treated by DC glow discharge plasma // Vacuum. – Vol. 83. – 2009. - pp. 332–339.
104. Головятинский, С. А. Модификация поверхности полимеров импульсной плазмой атмосферного давления // Вестник Харьковского университета. – 2004. - № 628. - с. 80 – 86.
105. Акишев, Ю. С. Экспериментальные и теоретические исследования воздействия неравновесной низкотемпературной плазмы атмосферного давления на поверхность полимерных пленок // Материалы 5-го Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии 3-8 сентября 2008. – Иваново. - с. 360-363.
106. Chiper, A. Apetroaiei, N. Popa, G. Optoelectron // Adv. Mater. – 2005. - № 7(5). - p. 2561.
107. Григоров, О. Н. Электрокинетические явления / О. Н. Григоров. - Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1973. – 520 с.
108. Юрьев, В. И. Электрокинетические явления. Химия древесины и целлюлозы / под ред. И.Н. Никитина, – М-Л: Изд-во акад. наук СССР, 1962. – С. 110-121.
109. Духин, С. С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсионных систем / С. С. Духин. – Киев: Наукова думка, 1975. – 246 с.
110. Шабиев, Р. О. Смолин, А. С. Анализ электрокинетических параметров бумажной массы / Шабиев, Р. О. Смолин, А. С. Санкт-Петербург, 2012, с. 82.
111. Karz, M. Wydeven, T. // J. Appl. Polym. Sci. - 1981. - V. 26. -№ 9. - P. 2935.
112. Geismann, Ch. Yaroshchuk, A. Ulbricht, M. Permeability and Electrokinetic Characterization of Poly(ethyleneterephthalate) Capillary Pore Membranes with Grafted Temperature-Responsive Polymers // Langmuir. - Vol. 23, No. 1, 2007, pp. 76-83.
113. Nastuta, A. V. Rusu, G. B. Topala, I. Chiper, A. S. Popa, G. Surface modifications of polymer induced by atmospheric DBD plasma in different

- configurations // Journal of optoelectronics and advanced materials. – 2008. - Vol. 10. - № 8. - pp. 2038 – 2042.
114. Takashira, K. Shuichi, Sh. Jun, M. Surface modification of polyethyleneterephthalat (PET) by 172-nm excimer lamp // Transaction of the Japan Institute of Electronics Packaging. – 2012. - Vol 5. - No. 1. - p.47 – 54.
115. Мамонтов, А. П. Чернов, И. П. Эффект малых доз ионизирующего излучения / Мамонтов, А. П. Чернов, И. П. Томск: Дельтаплан, 2009, 288 с.
116. Hidayat, U. Kh. The Role of Ion Exchange Chromatography in Purification and Characterization of Molecules // licensee InTech. Ion Exchange Technologies. – 2012. - pp. 331-342.
117. Бурлакова, Е. Б. Голощанов, А. Н. Жижина, Г. П. и др. Новые аспекты закономерностей действия низкоинтенсивного облучения в малых дозах // Радиоационная биология. Радиоэкология. 1999. Т. 39. № 1.
118. Neel, J. V. Genetic studies at the atomic bomb casualty commission-radiation effects research foundation: 1946–1997 // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1998. Vol. 95.
119. Кузин, А. М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы.— М., 1977. – с. 320.
120. Podkolzin, A. A. Dontsov, V. I. Megreladze, A. G. Chernilevsky, V. E. Influence of electro-chemical-activated solutions (ECAS) on enzymes of antiradical protection of an organism // 2-nd European congress of biogerontology. - 2000. - P. 73.
121. Гаврикова, Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение / учебно-методическое пособие.— Томск. – 2014. –С. 73.
122. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
123. ГОСТ 12.1.019. (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
124. ПУЭ-7 Правила устройства электроустановок 2009 г.
125. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

126. ГОСТ 12.0.004-90. ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
127. НПБ 105-95 Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.
128. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – С.12.
129. ППБ 01 – 03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2003.
130. ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».
131. ГОСТ 12.2.085-2002 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности».

Приложение А

STUDY OF LOW-TEMPERATURE ATMOSPHERIC PLASMA AND γ - IRRADIATION INFLUENCE ON THE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE TRACK MEMBRANES PROPERTIES

Part 1

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0БМ41	Филиппова Екатерина Олеговна		

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Н. В. Демьяненко			

Abstract

The diploma consists of 134 pages, 31 figures, 21 tables.

Key words: track membranes, polyethylene terephthalate, low temperature atmospheric plasma, ionizing radiation, bullous keratopathy, keratoplasty, biocompatibility, sterilization.

Objects of this study are polyethylene terephthalate track membrane with thickness of 10 microns, a pore diameter of 0.5 micron and pore density of $5 \cdot 10^7$ pores / cm².

The purpose of this work is the study of low-temperature atmospheric plasma influence on the surface properties of PET track membranes and track membranes changes after subsequent exposure to ⁶⁰Co radiation in 1 kGy and 10 kGy sterilizing doses.

The work studies the surface properties of track membranes after plasma exposure and γ - radionuclide ⁶⁰Co sterilization radiation in 1 kGy and 10 kGy sterilizing doses using scanning electron microscopy, atomic force microscopy, infrared spectroscopy, membrane permeability for water and sodium chloride, electro kinetic analysis.

The study shows that low-temperature atmospheric plasma increases the surface roughness of the track membranes, decreases of contact angle and increases surface energy. Effect of small doses of TM ⁶⁰Co radiation leads to decrease of surface roughness.

Definitions

We used the terms:

Bullous keratopathy is the violation corneal endothelial layer functions leading to excessive hydration of the stroma to form in the epithelial layer of the characteristic bubbles.

Keratoplasty is the operation using transplant from the donor cornea or synthetic corneal implants.

Biocompatibility is the ability of the implant after the introduction of an organism to suppress adverse events causing the cell or tissue response required to obtain the optimal medicine effect.

Hydrophilic is the characteristic of the molecular interaction of the substance with water, the ability to absorb water and the high wettability of the surface of the water.

Introduction

Bullous keratopathy (BK) is a severe, progressive disease of the cornea associated with decompensation of the endothelial cell layer. In the pathogenesis of BK, a key role is played by insolvency of the barrier function of the onerow cell layer of the corneal endothelium, which leads to stromal impregnation with intraocular fluid and to a gradual spread of the edema to the entire thickness of the cornea, resulting in violation of corneal transparency and a significant decrease in visual acuity. After that, anterior epithelium becomes involved to result in the appearance of roughness and bubbles, whose opening exposes the nerve endings and ultimately leads to a pronounced corneal syndrome.

Existing BK treatment methods can be divided into conservative and surgical. The current conservative treatment methods aimed at the removal of corneal edema and enhanced anterior and posterior epithelium nutrition (subconjunctival injection of vitamins, glucose bath, laser stimulation, therapeutic collagen coating) are ineffective even in the initial stages of the pathological process. This type of treatment is not able to restore the impaired barrier function of the corneal endothelium. Among the surgical methods of treatment, transplantation and nontransplantation are distinguished. Transplantation techniques of treatment of bullous keratopathy include various modifications of keratoplasty: penetrating keratoplasty, Krasnov's intralamellar capsular keratoplast followed by penetrating keratoplasty, posterior lamellar keratoplasty or endothelial keratoplasty, intralamellar implantation of polymeric keratoprotheses, keratoprosthetics, and amniotic transplantation. Surgical methods are pathogenetically more effective. One of such methods is barrier keratoplasty. The problem has been and remains urgent because of the severity of the initial state of the cornea and not always satisfactory outcome of the methods used to treat this disease.

The main challenge in the creation of a semipermeable liquid transport membrane designed to maintain the cornea in the slightly dehydrated state required for its transparency is to find biocompatible materials that could meet the necessary

conditions owing to their structure. Nonbiological polymer membranes are of the greatest interest in this regard. Thus, it was proposed to use a track etched membrane made of polyethylene terephthalate (PET).

Subject of study is the study of low-temperature atmospheric plasma influence on the surface properties of PET track membranes and track membranes changes after subsequent exposure to ^{60}Co radiation in 1 kGy and 10 kGy sterilizing doses.

Objects of this study are polyethylene terephthalate track membrane with thickness of 10 microns, a pore diameter of 0.5 micron and pore density of $5 \cdot 10^7$ pores / cm^2 .

The purpose of this work is the study of low-temperature atmospheric plasma influence on the surface properties of PET track membranes and track membranes changes after subsequent exposure to ^{60}Co radiation in 1 kGy and 10 kGy sterilizing doses.

For realising the purpose of this study we need to solve several tasks:

1. to investigate the surface morphology of the obtained membrane, to determine the parameters of roughness to establish the dependence of the surface topography modification of the metering modes and effects of ionizing γ - radiation.
2. to investigate the molecular bonds, elemental and phase composition of the plasma membrane, and after sterilizing action.
3. to determine the contact angle and wettability of the surface free energy of the original membrane of the plasma membrane after modifying and γ - sterilization.
4. to set the dependence of the contact angle of the membrane surface topography after the plasma and sterilizing steps.
5. to explore electrokinetic properties of the original membrane, the membrane after exposure to low temperature atmospheric plasma and ionizing γ -radiation.

Part 2. Materials and methods

2.1 Experimental samples

Polyethylene terephthalate track membranes were made by $^{40}\text{Ar}^{+8}$ heavy ions irradiating of polymer film at a maximum ion energy of 41 MeV and chemical treatment.

The procedure for fabrication of porous track structures is based on bombardment of various polymers with highenergy heavy ions, which induce narrow latent tracks through the entire thickness of the polymer material [7]. Latent tracks are a defective disordered zone of 5–12 nm in diameter. Subsequent selective etching makes it possible to remove these defective areas and obtain a porous material with nanopores having a density in the range of 10^6 – 10^9 cm $^{-2}$. Oriented PET films were irradiated with argon ion beam at a maximum ion energy of 41 MeV in a specially designed vacuum chamber with a tape drive. The fast argon ion beam was extracted from the chamber by means of an electrostatic deflector and sent to the channel in which a uniform beam sweeping system and a film irradiation chamber were mounted. To scan the beam in the horizontal direction, an ingenious scheme of electrostatic beam scanning was developed and implemented. After passing through the scanning system, the argon beam entered into the vacuum chamber in which film bombardment occurred. The energy of the accelerated ions was measured before the film bombardment with high accuracy using the ion backscattering detection method, which made it possible to identify not only the fast ions by mass, but also to determine very accurately the incident ion energy. The intensity distribution of the beam on the film was monitored by measuring the current on lamellae arranged behind the film over its entire width. Ions passing through the film create an area of a high ionization density, the ion track. Selective alkaline etching of the material in the track resulted in the formation of a pore system with cylindrical through holes having a typical symmetric structure in the initial film. Before etching, the film was irradiated with ultraviolet light for additional sensitization. Etching was carried out in a 1.5 N NaOH aqueous solution at a temperature of 72–82°C.

Figure 4 shows typical SEM-picture of track membrane surface (fig. 4a) and chip made membrane (fig. 4b).

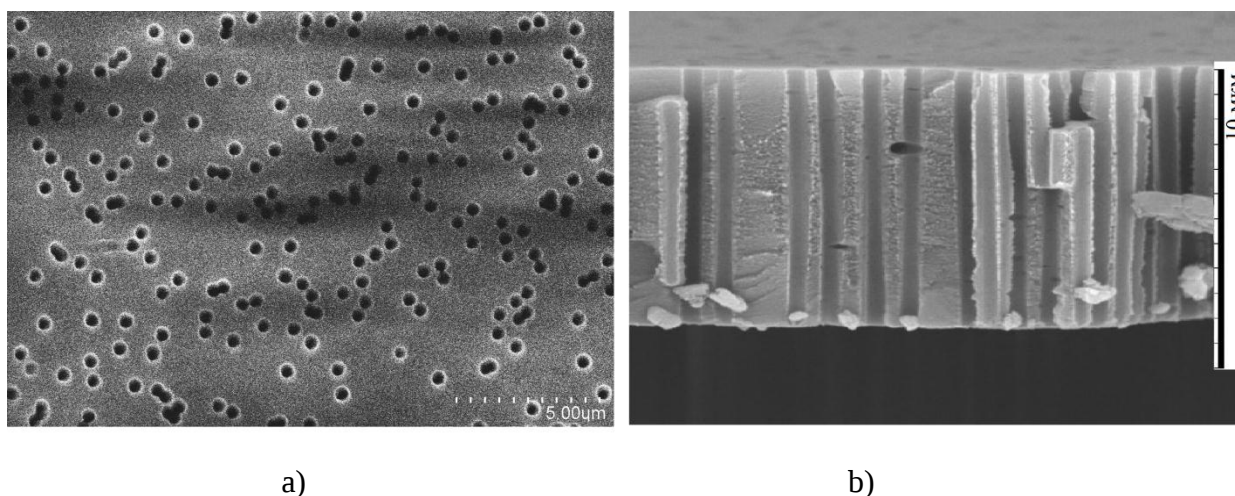


Figure 4. SEM-picture of track membrane: a) track membrane surface, b) track membrane chip

Figure 2 shows track membrane pores on the membrane surface. Calculation carried out according to SEM measurements illustrates 0.5 nm middle size of membrane's pore and 5×10^8 pore/cm² pore's density. Membrane chip of through-pores membrane (fig. 2 b) shows pores with cylinder shape.

2.3. Method of low-temperature atmospheric plasma treatment on the track membrane surface.

Low-temperature atmospheric plasma treatment is the most advanced and modern modification method of polymer materials which allows to change the properties of polymer surfaces in a fairly wide range [81]. Due to the low depth of penetration of active plasma particles in the material the properties of only thin membrane layer change. Deep layers of material don't change [82], which is critical from the standpoint of conservation of mechanical and physico-chemical properties of the implant.

Modification of track membrane surface was carried out with experimental low-temperature atmospheric plasma device using. Barrier discharge was fulfilled using a specially designed cold plasma source. Dielectric was glass of 1 mm thick. The

voltage was 25 kV. Frequency was 5 kHz. The power density value was 2 W / cm². The surface temperature of plasma was 40 40°C. The air flow was 1 L / min. The distance between the electrodes was 0.5 mm.

2.4. Methods of membrane sterilization by ionizing radiation Co⁶⁰.

Disinfection is the prevention of nosocomial infections and continues to be one of the urgent problems of modern health care.

Currently, there are a lot of methods for disinfection of medical products among which the most widely used in health care facilities is radiation sterilization method.

Radiation sterilization is an alternative to steam and is used in cases where the objects do not maintain the sterilized high temperature. Due to large-scale sterilization capabilities enabling to process a large number of medical subjects, the using of this sterilized method is justified.

Static gamma rays radionuclide ⁶⁰Co was used for radiation sterilization of track membranes. Irradiation was carried out on the "Issledovatel" with a cylindrical working chamber. Heterogeneity dose within the certified volume of the working chamber of 150 mm diameter and 240 mm in height should not exceed 10%. Certification dose field was carried on silicon by using a set of thermoluminescent dosimeters. The level of exposure to gamma-ray irradiation time was set and marked by the exposure dose of Gy (Si). Two levels of gamma-radiation exposure (1 kGy (Si) and 10 kGy (Si)) were used in this research. The levels correspond to the lower and upper limits of the range of doses used in the sterilization by ionizing radiation. The irradiation was carried out before and after plasma treatment that allows us to estimate the combined impact of these effects on the change in the properties of the main characteristics of the studied membranes.

2.5. SEM- methods

SEM-pictures allow to determine the diameter of inlets 20 nm pore size and pore density. For imaging we sprayed AuGd of 20 nm thickness on the membrane surface by vacuum and sputtering. Viewing and registration of obtained images we registered using Hitachi S3400N Type II microscope.

2.6. Atomic force microscopy and determination of surface roughness.

Atomic force microscopy (AFM) allows to get comprehension of roughness and surface structure of membranes. AFM is highly informative technique, widely used to obtain data about the surface topography.

Determination of the topography and surface finish quality of the samples was performed using atomic force microscope Centaur (Ltd. "Nano Scan Technology", Russia). Profile surface roughness was built with an accuracy of up to 1 nm in Gwyddion program. The calculation of roughness parameters that describe the morphology of the surface was carried out according to GOST 2789-73.

For quantification and valuation surface roughness parameters were set 5 three high-rise (R_a , R_q , R_{max}), a step (S_m) and the asymmetry parameter (R_{sk}).

First, the average surface roughness is determined. The average surface roughness is the arithmetic mean of the absolute values of the profile deviations from the average slope of the line or the plane carried out by least squares. It is defined as the deviation of the roughness profile with respect to the area of the middle line (plane) divided by the total length of the baseline [84], and is numerically equal

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

N is the number of partitions of the profile at regular intervals. y_i is the distance from the profile line to the middle line m in order for the i -partition. x is the x -axis (Figure 3).

The standard deviation of the surface profile of the baseline l characterizes the mean-square roughness

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (2)$$

S_m is the average period of the surface profile, which can be used at different levels of scale S_m . S_m is the length of the profile, crossing the middle line from the bottom up twice. If S_n is a parameter for each period:

$$S_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_n) \quad (3)$$

It is necessary to calculate the asymmetry parameter (R_{sk}), which describes the symmetry of the scatter profile of the centreline is determined by the equation:

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \sum_{n=1}^N y_i^3 \quad (4)$$

N is the number of partitions of the profile at regular intervals. y_i is the distance from the profile line to the middle line in order for the i -partition. R_q is roughness relative to baseline [85].

The class of surface roughness is determined by a comparison of the surface roughness of the samples and to the reference values.

2.7 . Infrared spectroscopy (IR)

Versatile physical-chemical method of infrared spectroscopy is used in the study of the structural features of organic and inorganic compounds. The method is based on absorption effects of atoms groups investigated samples electromagnetic radiation in the infrared range. Excitation of molecular vibrations are absorbed photons takes place under the action of infrared light. During the irradiation of molecules by infrared radiation it is absorbed only those photons with frequencies that correspond to the frequencies of stretching, deformation and vibration of

molecular vibrations [85]. If the object is not a simple mechanical mixture, the above-described features of the spectra of IR is not detected.

The number of characteristic absorption bands of atomic groups shows the structure of the individual compounds or component part of complex substances [86].

The intensity of the absorption band is numerically equal to the energy which is absorbed by the atomic or functional groups of the sample as it passes through their IR rays. inversely proportional dependence of transmittance values is used for the quantitative determination of individual constituents.

Measurements of IR - spectra of virgin samples, modified membranes and membranes after sterilization were produced using the FT-IR Termo Nicolet 5700 spectrometer in range of 400 - 4000 cm^{-1} . Diamond crystal used as elements of a single external total internal reflection.

The principle of operation of the device Fourier spectrometer Termo Nicolet 5700 is based on the fact that the motion of one of the interferometer mirrors a change in the path difference between the interfering beams. The output light beam interferometer is recorded, which is a Fourier transform of the detected optical spectrum. IR spectrum is formed only after performing an inverse Fourier transformation of the interferogram obtained. A classic example of the Fourier spectrometer is a Michelson interferometer, which interferogram $\Phi(\Delta/c)$ is recorded. Δ is the path difference between the two beams varies $-\Delta_{\max}$ to $+\Delta_{\max}$. c is speed of light. Range is found as a result of the interferogram processing using a computer.

2.8. Surface wettability and the surface free energy research

It is possible to conclude the degree of hydrophilicity / hydrophobicity considering the interface between the two phases (solid - liquid). Research on the hydrophilic surface is performed using the analytical method for measuring the contact angle. In this method a liquid drop is dispersed on the surface. When fully wetted the coating film formed on the flat surface, so that it is impossible to measure the contact angle. Not fully wetted surface forms drop [88].

The magnitude of the contact angle θ formed by a liquid droplet on a solid surface was evaluated by Young's equation. The equation includes the surface tension γ of all three phases occur: solid (solid), liquid (liquid), a gas (steam).

$$\gamma^{sv} - \gamma^{sl} = \gamma^{lv} \cdot \cos \theta, \quad (5)$$

The equation is the equation of balance excluding gravity.

The surface area depends on the wetting contact angle.

4. Good wettability of the surface (surface hydrophilicity) is a contact angle with a liquid below 90° (fig. 3 a).

5. Going from bad to good wetting of the surface (average surface hydrophilic) is a contact angle of 90° .

6. Poor wetting of the surface (the surface hydrophobic) contact angle is from 90° to 180° (fig. 5 b).

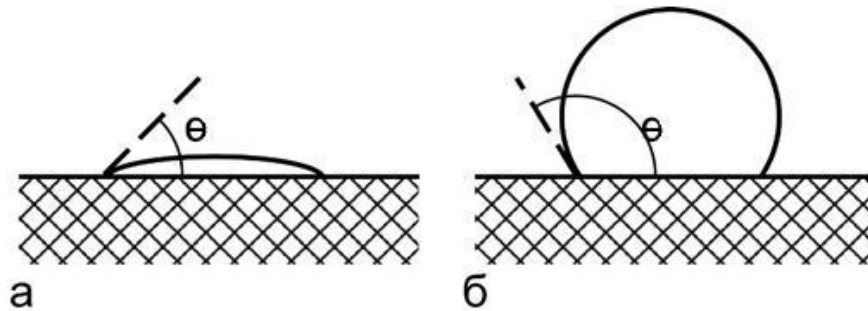


Figure 5. Contact angle on the hydrophilic surface (a) and hydrophobic surface (b).

Measurement of the contact angle can be carried out in two ways: Sessile Drop method and Captive Bubble method [88].

Sessile Drop method is a method when liquid droplet sits on a horizontal surface. Captive Bubble method is a method when air bubble sits on the surface.

The contact angle in both cases is the angle, which is measured by passing three points between the surface and the tangent phases (fig. 6).

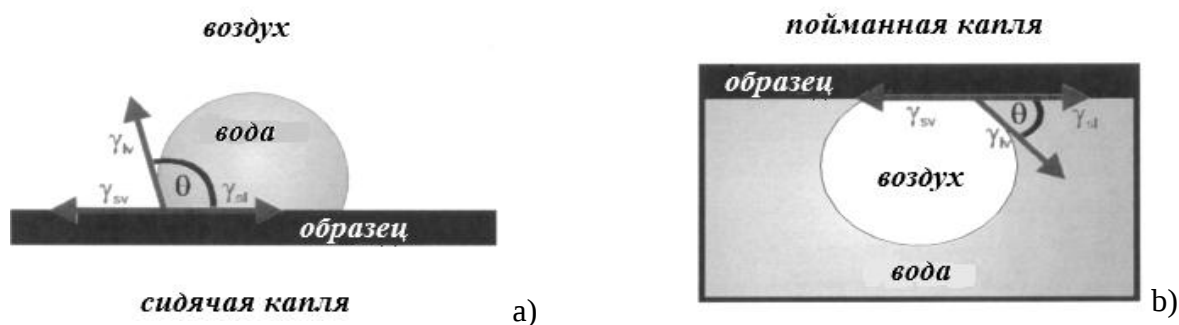


Figure 6. Contact angle measurement a) Sessile Drop, b) Captive Bubble (water liquid).

In this work, contact angles of deionized water (θ_w°) and glycerin (θ_g°) were measured by sit-drop at room temperature of $25 \pm 2^\circ \text{C}$ using the device «KRÜSS Easy Drop DSA 20" and special software. Measurement accuracy was $\pm 0,1^\circ$. The samples were applied four water droplet of 3 nl. Each measurement was carried out in less than 5 seconds after deposition of the drop. Wetting contact angle was determined at 1, 3, 7, 14, 21 days after exposure to the plasma, and after sterilization, the modified samples in the same time.

Surface free energy is one of the important characteristics of the surface properties of the material. The total surface energy (σ_s) was considered in the model of Owens-Wendt [89], as a superposition of dispersion (σ_s^d) and polar (σ_s^p) components. It was determined using Owens-Wendt-Rabel-Kelby method.

$$\frac{\sigma_l \cdot (\cos\theta + 1)}{2\sqrt{\sigma_l^d}} = \frac{\sqrt{\sigma_l^p}}{\sqrt{\sigma_l^d}} \cdot \sqrt{\sigma_s^p} + \sqrt{\sigma_s^d} \quad (6)$$

Owens-Wendt-Rabel-Kelby method allows to estimate the value of the surface energy of polymeric materials [90]. Samples were stored after the plasma exposure to air. After exposure to the sterilization samples were stored in special bags for sterilization.

2.9. Electrokinetic membrane properties study

Research electrokinetic properties of track membranes were carried out at the installation SurPASS (Austria). The measuring principle of streaming potential is circulated through the measuring cell with the test dilute the electrolyte material (fig. 7).

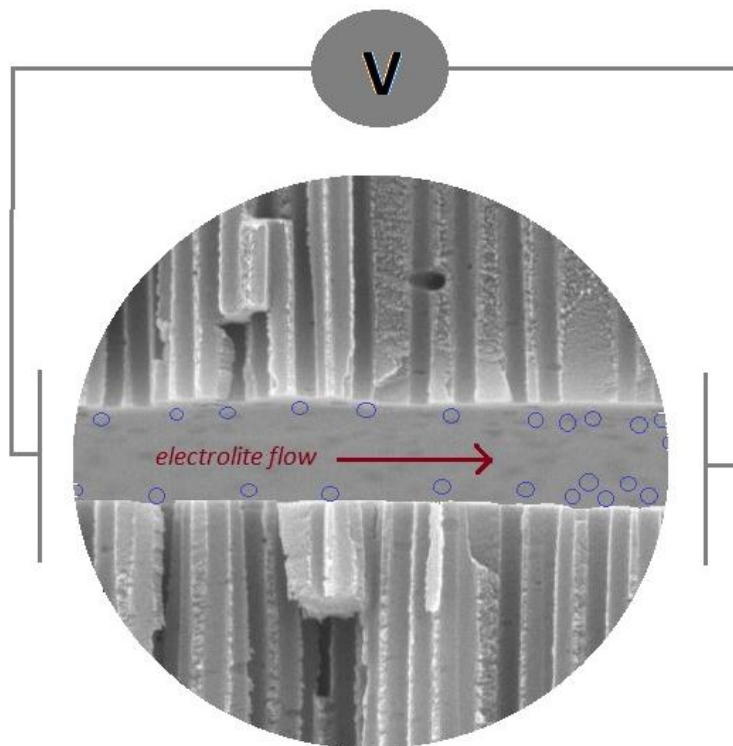


Figure 7. Schematic representation of TM streaming potential measurement principle.

The value of the flow resistance created by the structure of the sample interval or used to generate the desired pressure value between the entrance to the measuring cell and the exit from it. dual pump system by applying a certain pressure produced flow of electrolyte in a plane parallel to the plane of contact between the body and the fluid. This led to a relative movement between the stationary and mobile layers of electric double layer. Whereby the separation took place in the direction of the electric charges flow along the measuring cell. The electrodes measured the resulting potential difference (filtration capacity).

For the measurement the samples were cut in the form of discs 10 mm in diameter and placed into 1 mM KCl solution for 48 hours. Samples were attached to opposite surfaces of the controlled installation SurPASS cell gap.

The electrolyte used an aqueous solution of potassium chloride (KCl) with an initial concentration of 1 mM. pH of the electrolyte was changed in the range of 5-9 units (0.5 unit increments). Before measuring the electrolyte solution to flow through the channel within 15 minutes to bring the sample to equilibrium. The maximum differential pressure value was 300 mbar in an electrolyte volume of 550 ml. Flow of the electrolyte solution was laminar in the used pressure range and cell size. The electrolyte flow rate was linearly dependent on the difference between the hydrostatic pressure and is described by the Hagen-Poiseuille [91]. The potential and the strength of the current flow were measured using a Ag / AgCl-electrodes. Direction of the stream flow changed periodically to reduce electrode polarization.

2.10 Study of membrane permeability

The permeability of the aqueous solutions was measured using a cell (Amicon Model 8010, Millipore) for 10 ml samples of 3.6 cm². The cell membrane was connected with a vessel volume of 2000 ml, which was served in a corresponding pressure (Fig. 8).

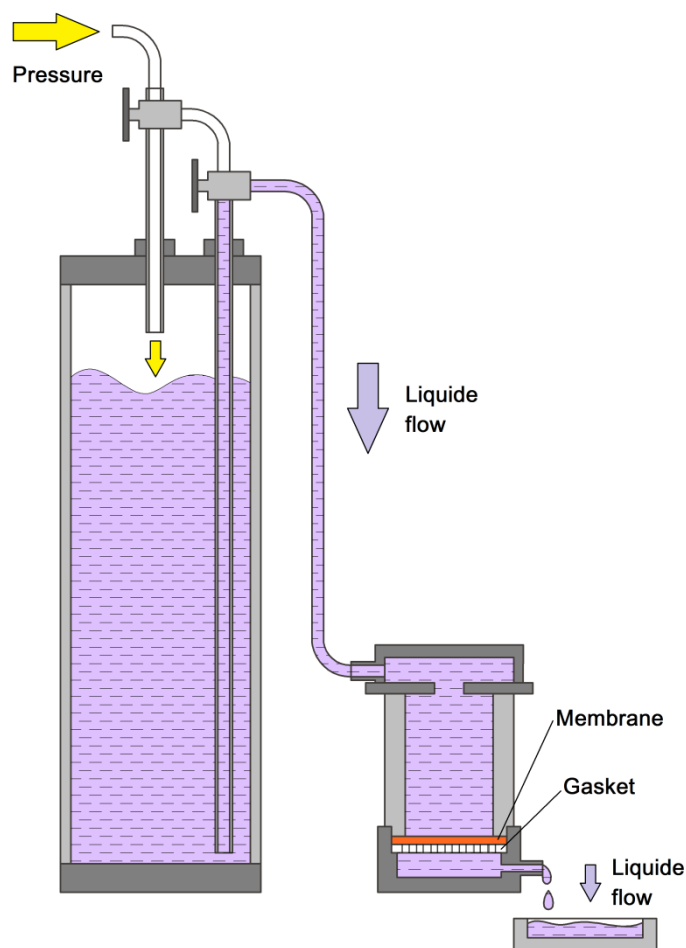


Figure 8. Device scheme for the measurement of water permeability of the membrane solution.

Working solutions were distilled water and a solution of 0,5 M NaCl. Prior to the filtration the membranes were kept in an appropriate solution for 20 minutes. Calculation of the quantity of flow of the solution through a membrane made using the Hagen-Poiseuille equation [92].