

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование разделительных процессов в системе, совмещающей электрохроматографию и изотопный обмен

УДК 66.081.3:544.43:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОАБД	Беляков Дмитрий Михайлович		25.05.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	А.П. Вергун	д.ф.-м.н.		25.05.2020

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результат а	Результат обучения (компетенции)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованны х сторон
Общекультурные компетенции		
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.	Требования ФГОС (УК3,4,5, ОПК-2).
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.	Требования ФГОС (УК-2-5, ОПК-2).
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности	Требования ФГОС (Ук1, УК- 2, УК-3, УК-4,ОПК-2, 3, ПК-6, 19-23).
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы.	Требования ФГОС (ОК-4, ОПК-1-3, ПК-1, ПК-5, Пк-7, Пк-8, Пк-9, ПК-10, ПК-11, ПК-17, Пк-19,Пк-20,ПК-21).
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.	Требования ФГОС (УК-4,5, ОПК-2, ПК-6)
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-12).
Общепрофессиональные		
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.	Требования ФГОС (УК-1, 2, ОПК-1, ПК-2,3,4,5, 6,7, 10, 11,14,).
Профессиональные компетенции		
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3,

	радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).	ПК-2, 4,6, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 20).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов	Требования ФГОС (УК-1,2,8, ПК-2, 5,6, 7, 8, 9, 10, 11, 20).
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.	Требования ФГОС (ПК-4, 14, 15, 16, 21, 22).
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 20, 21, 22).
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.	Требования ФГОС (УК-2 ОПК-1, ПК-1, 2, 4, 5, 6, 7, 8).
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК – 1, 5, 10, 11, 13, 20, 21).

	подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.	
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 7, 10, 11, 14, 16, 18, 22).
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования	Требования ФГОС (УК-1, 2, 3, 6, 8, ОПК-3 ПК-5, 6,9, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23).

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

« ____ » _____ 2020 г. П.Н. Бычков

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
ОА6Д	Беляков Дмитрий Михайлович

Тема работы:

Моделирование разделительных процессов в системе совмещающей электрохроматографию и изотопный обмен	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-84/с от 28.02.2020 г.

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>1. Предмет исследования: процесс разделения изотопов в системе, совмещающей электрохроматографию и изотопный обмен.</p> <p>2. Используемое оборудование: электродиализатор, колбы, источник переменного тока, колонна изотопного обмена, электрохроматографическая колонка.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы; постановка цели и задач исследования; сборка установки для проведения экспериментов; разработка методики проведения экспериментов; анализ полученных результатов; экономическое обоснование проведения НИР; выводы по работе; заключение</p>

<i>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>	
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	профессор ОЯТЦ ИЯТШ А.П. Вергун
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШИП Е.С. Киселева
Социальная ответственность	ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.01.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	А.П. Вергун	д.ф.-м.н., профессор		17.01.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОА6Д	Беляков Дмитрий Михайлович		17.01.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Беляков Дмитрий Михайлович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость на проект. Оклад руководителя и инженера в соответствии с внутренними нормами ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Срок окупаемости – до 5 лет; 30% премии; 20% надбавки; 13,5% дополнительная заработная плата; 16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка осуществляется на основе актуальности работы и перспективности по отношению к существующим методам разделения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Основой для формирования и планирования бюджета являются основная заработная плата исполнителей, страховые отчисления и накладные расходы
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет и оценка научного и научно-технического уровня НИР
4. Планирование графика выполнения работ в рамках проекта	Планирование графика выполнения работ в рамках проекта в форме диаграммы Ганта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Альтернативы проведения НИ
2. Матрица SWOT-анализа
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
5. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		28.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Беляков Д.М.		28.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Беляков Дмитрий Михайлович

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Моделирование разделительных процессов в системе совмещающей электрохроматографию и изотопный обмен	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – хлорид лития (LiCl). Исследования проводятся на опытной установке, состоящей из электродиализатора, колонны изотопного обмена и электрохроматографической колонки
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020); – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – повышенный уровень шума; – психофизиологические факторы; опасность поражения электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – выбор и описание типичной ЧС - пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; порядок действий при возникновении ЧС.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		28.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Беляков Д.М.		28.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа объемом 85 страниц, 15 рисунков, 18 таблиц, 44 источника, 46 формул.

Целью исследований является разработка математических моделей и проведение экспериментальных исследований процессов разделения изотопов в условиях совмещения электрохроматографии и изотопного обмена.

В рамках ВКР в процессе исследования проводились:

1. Обзор литературы;
2. Получение уравнения регрессии изотопного разделения с применением методов планирования экстремальных экспериментов;
3. Проведение экспериментальных исследований по разделению изотопов в электрохроматографической колонне.

Результаты исследований:

1. разработано уравнение регрессии для процесса разделения изотопов в электрохроматографической колонне с движущимся слоем ионита;
2. на разработанной экспериментальной установке, достигнуто изменение концентрации легкого изотопа ${}^6\text{Li}$ до 41% за время 72 часа;
3. разделение изотопов лития при встречном движении ионов и системы ионит-раствор в 1,3 раза выше, чем для способа разделения с неподвижным ионитом.

Результаты исследований являются элементами научных и практических основ перспективного экологически безопасного метода разделения изотопов лития и других элементов, тонкой очистке веществ.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ	14
1.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ.....	14
1.2 ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИНАМИКИ И КИНЕТИКИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ИОНИТ-РАСТВОР	17
1.3 ЭЛЕКТРОМИГРАЦИОННЫЙ МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ	20
1.3.1 Понятие электромиграции	20
1.3.2 Обмен ионов электролизом и электромиграцией	21
1.3.4 Механизм разделения веществ методом электромиграции.....	22
2. РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	24
2.1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ФРОНТА РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОИОНИТНОМ ОБРАЩЕНИИ ПОТОКОВ ФАЗ	24
2.2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИ ВСТРЕЧНОМ ДВИЖЕНИИ ИОНОВ И СИСТЕМЫ ИОНИТ-РАСТВОР	26
2.3 ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ В ВИДЕ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ	30
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	33
3.1 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ИЗОТОПОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОХРОМАТОГРАФИИ	33
3.2 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ИЗОТОПОВ ЛИТИЯ В ЭЛЕКТРОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОННЕ.....	36
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	40
4.1 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	40
4.2 SWOT-АНАЛИЗ.....	41
4.3 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	44
4.3.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ	46
4.3.2 РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	47
4.4 БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (НТИ).....	50
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	50
4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	52
4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	52
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	55
4.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки.....	55
4.4.6 Контрагентные расходы	55
4.4.7 Накладные расходы	55
4.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	56
4.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	57
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	64
5.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	64
5.1.1 ПРАВОВЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА.....	64
5.1.2 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА ИССЛЕДОВАТЕЛЯ	65
5.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	67
5.2.1 АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ	67
5.2.1.1 МИКРОКЛИМАТ	68
5.2.1.2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ	69
5.2.1.3 ОСВЕЩЕНИЕ	70
5.2.1.4 ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	70
5.2.1.5 ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ	71
5.2.2 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ	72
5.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	74
5.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС	75
Выводы по разделу	78

ВЫВОДЫ.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	82

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изотопная продукция применяется в всех областях науки и техники. Так, например, изотопы Li используются при решении вопросов обороноспособности страны. Актуальными являются проблемы разработки новых эффективных способов разделения изотопов. Существующие методы изотопного разделения требуют значительных энергозатрат, поэтому большой научный интерес представляет поиск новых энергосберегающих методов разделения изотопов и разработки технологий на их основе. Разработка эффективных, экологических безопасных способов разделения изотопов требуют значительных теоретических и экспериментальных исследований.

В данной работе рассмотрен метод разделения изотопов электромиграцией в условиях встречного движения ионов и системы «гранулированный ионит – раствор» с применением ионообменных материалов, а также представлены результаты исследований процесса разделения изотопов лития.

Процесс разделения осуществляется в ионообменной колонке в условиях противоточной электромиграции. При разделении ионных и изотопных смесей в этих условиях существенную роль играет процесс перемешивания в катодной части колонны, возникающие вследствие обратной диффузии. Этот процесс можно существенно уменьшить, если использовать электродиализатор с К мембранами. При этом существенно увеличатся числа переноса разделяемых ионов, т.к. электромиграция ионов OH^- тормозится одноимённо заряженными мембранами. Кроме того, э/диализатор в условиях противоточной э/миграции обеспечивает дополнительное разделение смеси.

Целью исследований является разработка математических моделей и проведение экспериментальных исследований процессов разделения изотопов в условиях совмещения электрохроматографии и изотопного обмена.

В связи с этим решаются следующие задачи:

1. Установление основных факторов электрохроматографического процесса разделения изотопов.

2. Получение уравнения регрессии изотопного разделения с применением методов планирования экстремальных экспериментов.
3. Разработка экспериментальной установки для разделения ионов и изотопов электрохроматографическим методом.
4. Проведение экспериментальных исследований по разделению изотопов в электрохроматографической колонне.

1. Обзор литературных данных

1.1 Классификация физико-химических методов разделения изотопов

Методы разделения изотопов связаны с незначительными изменениями химических или физических свойств веществ, содержащих изотопы в молекулах образующих их элементов [4].

На сегодняшний день широко распространены физико-химические методы разделения изотопов легких элементов, построенные на различиях свойств в нулевых энергиях колебаний атомов или молекул в жидких телах или кристаллических решетках. Различия нулевых энергий колебаний создаются различиями масс изотопных молекул. На этом основаны кинетические и термодинамические изотопные эффекты [4].

Обратимость однократного акта разделения является основным преимуществом данных методов. Они заключаются в том, что однократный изотопный эффект можно умножить путем создания противоточных разделительных колонн, что нельзя сделать в необратимых элементарных процессах. Также достоинством является то, что подвод энергии необходим только на концах колонны, для обращения фаз и создания продольных потоков в колонне. Достоинства этих методов, использующих термодинамические изотопные эффекты, являются экономичность и возможность создавать эффективные промышленные разделительные установки.

Термодинамические изотопные эффекты можно наблюдать как в системах из двух или более веществ, так и гетерогенной системе одного вещества, находящегося в двух агрегатных состояниях. В первой группе используются системы жидкость – пар. Например, один из основных методов разделения стабильных изотопов легких элементов является ректификация.

В системах, состоящих из двух веществ, между которыми не происходит химического взаимодействия друг с другом, может происходить реакция изотопного обмена с константой равновесия, которая отличается от

значения, соответствующего равновероятностному распределению изотопов между участвующими в реакции молекулами. На таких реакциях основано разделение изотопов *методом химического изотопного обмена* [1-3].

Ввиду простоты создания противотока в разделительных колоннах предпочитают гетерогенные системы, так как рабочие вещества находятся в различных агрегатных состояниях.

Выбирая систему рабочих веществ важными моментами являются кинетика реакции изотопного обмена и возможность осуществления процесса обращения потоков. В химобменном методе для эффективности разделения изотопов необходима достаточно высокая скорость изотопного обмена [7-8].

Различия в осуществлении обращения потоков на концах разделительной колонны, выделяют три группы разделения изотопов химическим изотопным обменом (рис. 1.1):

1. двухтемпературный способ;
2. химическое (или электрохимическое) обращение потоков;
3. термическое обращение потоков.

При разделении изотопов способами из первых двух групп, установка состоит помимо колонны из узлов обращения потоков, в которых осуществляются необходимые химические реакции при помощи реактивов, электроэнергии или за счет подвода (отвода) тепла. Двухтемпературный способ основан на температурной зависимости термодинамического изотопного эффекта, позволяющий другим путем решить задачу обращения потоков.

Разновидностью метода с термическим способом обращения потоков является *химобменная ректификация*. По сути, она является сочетанием химобменного метода с ректификацией, в которой обращение потоков на концах колонны связано с подводом или отводом тепла. В нижнем узле обращения потоков происходит испарение жидкости, которое сопровождается термической диссоциацией пара. Поэтому в колонне жидкая фаза помимо реакции изотопного обмена с газом участвует в

фазовом изотопном обмене [11].



Рисунок 1.1. Классификация физико-химических методов разделения изотопов, основанных на термодинамических изотопных эффектах

В химообменном методе при разделении изотопов амальгамным способом используются системы с двумя жидкими рабочими веществами. Существуют также системы газ – твердое тело и жидкость – твердое тело, в которых твердая фаза является ионообменным веществом, а обращение потоков осуществляется химическим способом. Помимо этого, на изотопном эффекте в системах газ – твердое тело основан адсорбционный метод разделения изотопов с термическим обращением потоков, использующим в качестве твердой фазы такие сорбенты, как цеолиты, силикагель, активированный уголь, а также металлы и их сплавы. К тому же, если проводить разделение двухтемпературным методом в системах с твердой фазой, то вследствие температурной зависимости количества адсорбированного газа будет наблюдаться дополнительный эффект увеличения степени разделения из-за частичного обращения потоков термическим способом [6].

В химообменном методе так же, как и при ректификации, используют

гетерогенные системы, состоящие из двух фаз, между которыми протекает реакция гетерогенного изотопного обмена (фазового или химического) [1-2].

Также наблюдаются значительные изотопные эффекты и в гомогенных системах, которые, ввиду трудностей создания противоточного движения веществ в колонне не применяют.

1.2 Особенности термодинамики и кинетики разделительных процессов в системе ионит-раствор

Ввиду значительного многообразия ионитов и возможности их синтеза с заранее заданными свойствами позволяют проводить направленный выбор систем с максимальными разделительными свойствами [10].

Основной принцип направленного поиска: коэффициент разделения (α), характеристика процесса изотопного разделения, которая может быть рассчитана в обменных процессах через значения β - факторов, участвующих в обмене соединений (β_1 и β_2):

$$\alpha = \frac{\beta_1}{\beta_2}. \quad (1.1)$$

Значение β - фактора показывает численную термодинамическую неравнозначность изотопов в соединении и находится через отношение статистических сумм изотопных форм соединений [10].

На кафедре получены формулы для расчета β - факторов в обменных системах, с применением гранулированных и жидких ионообменников, а также описаны методы для их расчетов [10].

Рассмотрим поподробней обменную систему с противотоком и применением ионитов. В начале процесса устанавливается ионообменное равновесие, после этого происходит перераспределение изотопических ионов при этом более легкий изотоп переходит в фазу ионита. В разделительной колонке фазы движутся противотоком. На рис. 1.2. схематично представлены движения потоков вещества в фазе ионита и раствора.

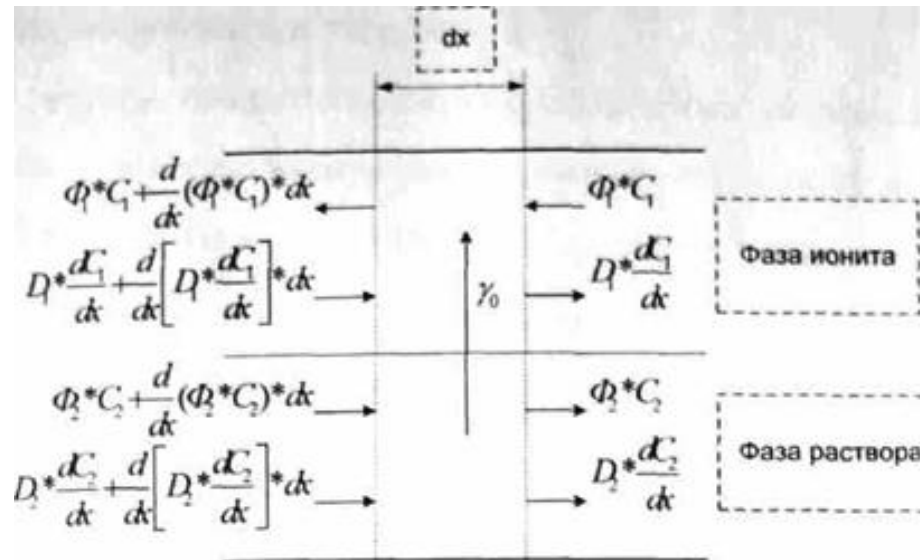


Рисунок 1.2. Потоки вещества в фазе ионита и раствора

Обозначения на рисунке следующие:

Φ_1 - поток вещества в ионите,

Φ_2 - поток вещества в растворе,

γ_0 - поток легкой компоненты из раствора в ионит,

C_1 - концентрация легкой компоненты в ионите,

C_2 - концентрация легкой компоненты в растворе,

D_1 и D_2 - коэффициенты диффузии, соответственно, в ионите и растворе.

Выделим элемент dx и составим баланс по легкой компоненте. Процесс рассматривается для $t \neq 0$. Растворением жидкого ионита в растворе ввиду его малости можно пренебречь.

Баланс по легкой компоненте:

$$\frac{d}{dx} (\Phi_1 C_1 - D_1 \frac{dC_1}{dx}) = \gamma, \quad (1.2)$$

$$\frac{d}{dx} (\Phi_2 C_2 - D_2 \frac{dC_2}{dx}) = \gamma. \quad (1.3)$$

В начальный момент времени, при накоплении по веществу, условие стационарности не выполняется. Изменение потоков Φ_1 и Φ_2 происходит вследствие общего переноса γ_0 смеси изотопов из раствора в ионит. Изотопное перераспределение носит конкурентный характер.

$$\frac{d\Phi_1}{dx} = -\gamma_0, \quad (1.4)$$

$$\frac{d\Phi_2}{dx} = -\gamma_0. \quad (1.5)$$

Вычтем уравнение (1.5) из уравнения (1.4):

$$\frac{d\Phi_1}{dx} - \frac{d\Phi_2}{dx} = 0, \quad (1.6)$$

$$\Phi_1 - \Phi_2 = q_k = \text{const}. \quad (1.7)$$

Если считать, что D_1 и D_2 малы (перемешивание по оси отсутствует), то уравнения (1.4) и (1.5) запишутся:

$$\frac{d(\Phi_1 C_1)}{dx} = \gamma \frac{d(\Phi_2 C_2)}{dx} = \gamma. \quad (1.8)$$

Подставив в одно из уравнений (1.8) уравнение (1.4), получим:

$$\Phi_1 \frac{dC_1}{dx} = \gamma + \gamma_0 C_1. \quad (1.9)$$

Для $C_1 \ll 1$ уравнение (1.9) преобразуется к виду:

$$\Phi_1 \frac{dC_1}{dx} = \gamma. \quad (1.10)$$

Можно показать, что:

$$\gamma_0 = \Phi_0 [\varepsilon C_1 (1 - C_1) - (C_1 - C_2)] \quad (1.11)$$

Далее, вычитая уравнение (1.8) одно из другого и интегрируя, имеем:

$$\Phi_1 C_1 - \Phi_2 C_2 - D_1 \frac{dC_1}{dx} - D_2 \frac{dC_2}{dx} = C_k q_k = \text{const}, \quad (1.12)$$

где q_k - поток отбора на "богатом" конце колонны, C_k - концентрация отбираемого изотопа.

Уравнение (1.12) запишем:

$$\Phi_1 = \Phi_2 + q_k. \quad (1.13)$$

Легко видеть, что при $q_k \ll 1$, из уравнения (1.13) получается следующее выражение:

$$\frac{dC_1}{dx} = \frac{dC_2}{dx}. \quad (1.14)$$

Тогда уравнение (1.12) упрощается:

$$\Phi_1 C_1 - \Phi_2 C_2 - D_3 \frac{dC_1}{dx} = C_k q_k, \quad (1.15)$$

$$D_3 = D_1 + D_2.$$

Отсюда находим выражение для $C_1 - C_2$ и подставляем его в уравнение

(1.15). После преобразования получим:

$$\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0} + \frac{D_2}{\Phi_2}\right) * \frac{dC_1}{dx} = \varepsilon C_1(1 - C_1) - \frac{q_k(C_k - C_1)}{\Phi_2}. \quad (1.16)$$

Выражение $\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0} + \frac{D_2}{\Phi_2}\right)$ есть обратная величина высоты эквивалентной теоретической тарелки.

1.3 Электромиграционный метод разделения

1.3.1 Понятие электромиграции

Электрофорез, ионофорез, ионография, электрохроматофорез, электрофореграфия – далеко не полный перечень синонимов электромиграционного метода разделения.

Электромиграция ионов основана на различиях в скоростях движения под действием электрического поля в зависимости от ионного радиуса и величины заряда. При допущении о том, что ион имеет форму сферы, то с помощью формулы Стокса можно найти их подвижность в растворе:

$$u = zeE / (6\pi\eta r), \quad (1.17)$$

где e — заряд электрона; z — число элементарных зарядов; E — градиент электрического потенциала; η — коэффициент вязкости среды; r — радиус частицы.

Тогда для данного метода коэффициент селективности можно найти как отношение подвижностей разделяемых ионов:

$$K_c = u_i / u_j = z_i r_j / (z_j r_i). \quad (1.18)$$

Учитывая сравнительно небольшой диапазон изменения z и, как правило, еще меньшие различия в радиусах ионов, то электромиграционный принцип разделения не обладает высокой селективностью. Для того чтобы добиться значительного разделения, нужны методические приемы для проявления минимальных различий в подвижностях или направленное изменение состава раствора с целью изменения значения или знака заряда разделяемых веществ.

Исходя из описанных общих подходов электромиграционный метод близок к хроматографии. Поэтому их можно рассматривать как смежные методы [11].

1.3.2 Обмен ионов электролизом и электромиграцией

Рассмотрим обмен ионов электролизом и электромиграцией на примере камеры заполненной водой и зернами смолы. Поставим два электрода на концах колонны, с помощью которых создадим электрическое поле. Предположим, что в смоле находится катион - A .

Подача напряжения на электроды приведет к следующему:

- а) Катионы A сквозь смолу станут перемещаться к катоду, уходя из анода;
- б) По реакции окисления в анодной зоне начнут рождаться катионы B и занимать места пустые места в смоле. На катоде по реакции восстановления будут потребляться катионы A . Так ион B со временем заменит ионы A в смоле.

Особенности:

1. Катионы переносятся исключительно по зернам, а также у них нет возможности покинуть смолу [5].
2. Ток I , пущенный в камере, пропорционален подвижности u катионов в смоле, концентрации c и градиенту потенциала E , тогда для любой точки колонки можно записать выражение:

$$I = F \sum (ucE). \quad (1.19)$$

Скорость обмена (поток катионов) характеризуется силой тока.

3. Поток ионов, создаваемый прикладываемой разностью потенциалов, аналогичен потоку создаваемым течением раствора. Создаваемый поток электрическим полем не учитывает обмен между раствором и смолой [5].

4. Прикладываемое напряжение складывается из двух частей:

- а) омическое падение, которое может достигать многих вольт на сантиметр длины камеры. Из-за которого производится много тепловой энергии, которую нужно отводить [5];

- б) электролизное напряжение.

5. В ходе процесса нужно изменять прилагаемое напряжение для

поддержания в колонке постоянной силы тока и соответственно движения катионов в камере. При постоянном напряжении изменяется скорость обмена ионов.

1.3.4 Механизм разделения веществ методом электромиграции

Рассмотрим электромиграционный метод разделения в камере, наполненной смолой и помещенными на концах электродами. Образец с ионами А и В поместим в конец камеры. Подача напряжения на электроды, заставит переноситься ионы А и В к другому электроду. Продукты электролиза выносятся из камеры током воды. Из-за разных подвижностей ионов А и В их скорости переноса будут отличаться, в результате чего будет происходить разделение [10-11].

Разделение электромиграцией можно описать двумя способами: проявление элюированием или вытеснением.

Эти способы можно наблюдать на данных примерах.

1. Смесь катионов калия и натрия поместим в один из концов камеры со смолой, находящейся в H^+ - форме между двумя платиновыми электродами. Подадим напряжение так, чтобы смесь был у анода. Образующиеся на аноде ионы водорода и введенные катионы калия и натрия станут переноситься в смоле к катоду. Если количество смеси относительно мало, тогда можно сказать, что все ионы сильно разбавлены относительно протонов и они переносится отдельно от остальных со скоростями, пропорциональными их подвижностям в смоле. Тогда весь участок катионов будет смещаться к катоду. При этом ионы калия будут обгонять натрия из-за их большей подвижности в смоле. Тогда вся камера разделится на два размытых участка: один участок калия, другой позади с ионами натрия (рис. 1.3) [19]. Чем меньше разница подвижностей разделяемых ионов, тем больший путь они должны пройти.

2. Заменяем на одном конце колонны электрод на цинковый, напряжение подадим так, чтобы перенос катионов происходил к электроду из платины.

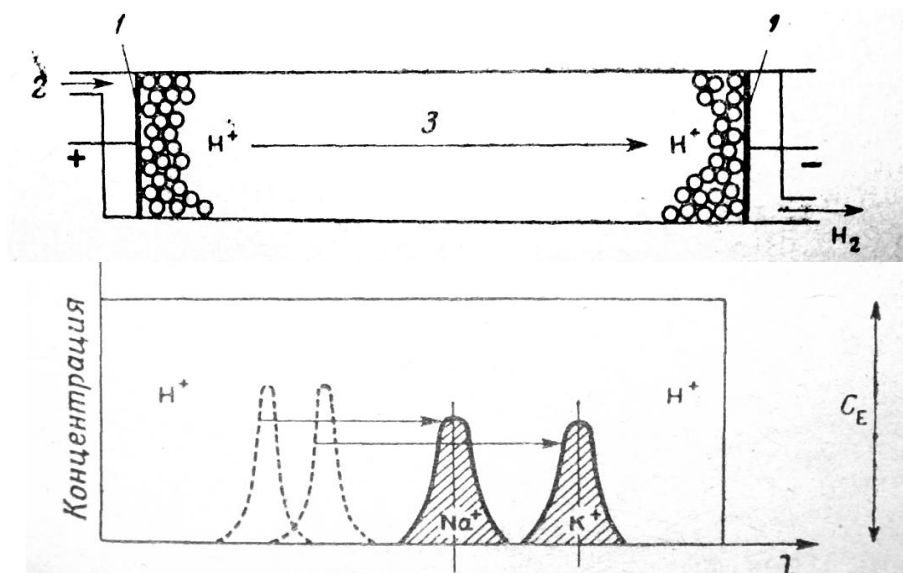


Рисунок 1.3. Разделение при помощи электромиграции в колонке с катионообменной смолой. 1-платина; 2-вода; 3-направление миграции катионов

На аноде производятся ионы цинка имеющие наименьшую подвижность из рассматриваемых ионов. Ионы калия и натрия расположатся между ионами водорода с наиболее высокой подвижностью и ионами цинка сзади. Тогда полоса смеси будет выглядеть как две четкие группы обмена, которая будет держать постоянную длину на всем пути к катоду (рис. 1.4). В этом случае ионы калия и натрия разделяются внутри полосы, в которой ионы водорода движутся быстрее ионов натрия [19].

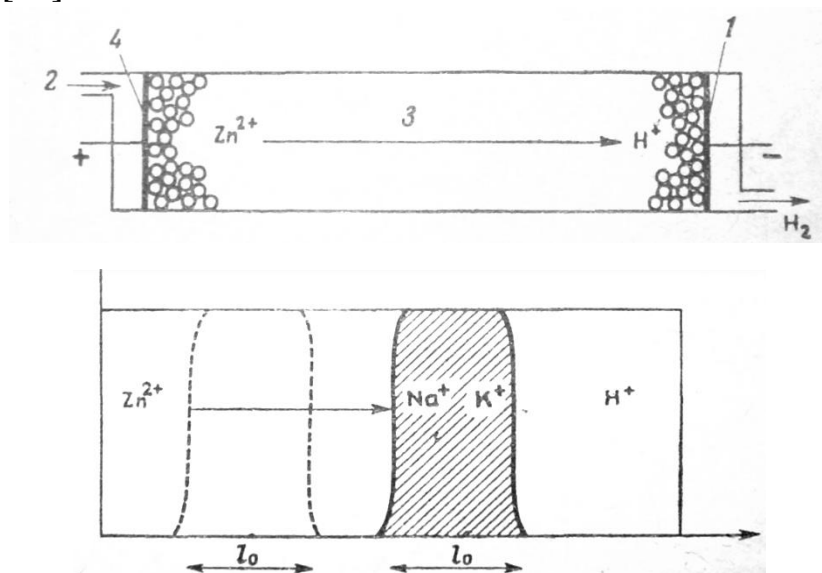


Рисунок 1.4. Разделение при помощи электромиграции в колонке с катионообменной смолой. 1-платина; 2-вода; 3-направление миграции катионов; 4-цинк

2. Расчетно-теоретическая часть

2.1 Математическая модель движения фронта разделения при электроионитном обращении потоков фаз

В некоторой точке камеры с абсциссой l и в некоторый момент t концентрации (в экв/л) первоначального иона А и порождаемого электролизом иона В будут соответственно C_A и C_B ; U_A и U_B -подвижности этих ионов, предполагаемые неизменяющимися с концентрациями; E - градиент приложенной разности потенциалов. Тогда в момент времени в точке с абсциссой $l+dl$ концентрации будут:

$$C_A + \left(\frac{\partial C_A}{\partial l}\right)_t dl, C_B + \left(\frac{\partial C_B}{\partial l}\right)_t dl.$$

А градиент потенциала -

$$E + \left(\frac{\partial E}{\partial l}\right)_t dl.$$

Если мысленно выделить внутри камеры элементарный объем сечением 1 см^2 и длиной dl , то разность между количествами вошедшего и вышедшего вещества за промежуток времени dt , начиная с момента t , вызовет изменение концентраций $\left(\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)_l dt$ и $\left(\frac{\partial C_B}{\partial t}\right)_l dt$. Балансы сохранения количеств А и В можно будет записать в виде

$$U_A E C_A dt - U_A \left(E C_A + \frac{\partial (E C_A)}{\partial l} dl \right) dt = \left(\frac{\partial C_A}{\partial t} \right)_l dt dl$$

или

$$U_A E \left(\frac{\partial C_A}{\partial l} \right)_l dt + U_A C_A \left(\frac{\partial E}{\partial l} \right)_l dt + \left(\frac{\partial C_A}{\partial t} \right)_l dt dl = 0. \quad (2.1)$$

И по аналогии

$$U_B E \left(\frac{\partial C_B}{\partial l} \right)_l dt + U_B C_B \left(\frac{\partial E}{\partial l} \right)_l dt + \left(\frac{\partial C_B}{\partial t} \right)_l dt dl = 0. \quad (2.2)$$

Принимая во внимание формулу полной обменной емкости смолы $C_A + C_B = C_E$ (на единицу объема смолы) и вычитая уравнение (2.1) из уравнения (2.2), получим

$$2E\left(\frac{\partial C_A}{\partial l}\right)_t + (2C_A - C_E)\left(\frac{\partial E}{\partial l}\right)_t + \left(\frac{1}{U_A} + \frac{1}{U_B}\right)\left(\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)_l = 0. \quad (2.3)$$

В сущности, так как градиент потенциала E связан с концентрациями C_A и C_B выражением для электрического тока

$$i = FE(U_A C_A + U_B C_B) = FE[(U_A - U_B)C_A + U_B C_E]$$

вышенаписанное уравнение (2.3) может выразиться единственно лишь как функция концентрации C_A (или C_B). Окончательно получается дифференциальное уравнение вида

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)_l + x^2 \left(\frac{\partial x}{\partial l}\right)_t = 0. \quad (2.4)$$

В предположении, что

$$x = \sqrt{\frac{i}{FC_E}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{U_A}{U_B}}}{1 + \frac{C_A}{C_E} \left(\frac{U_A}{U_B} - 1\right)}$$

является функцией только одной переменной C_A . Общее решение уравнения (4) дает эволюцию во времени фронта разделения между ионами А и В. Это решение типа

$$x = f(l - x^2 t).$$

Отсюда следует, что точка фронта, для которой C_A , а следовательно, и x имеют определенные значения, $(C_A)_0$ и x_0 , мигрирует, следуя формуле

$$l - x^2 t = \text{const}$$

или

$$l = l_0 + x_0^2 t, \quad (2.5)$$

где l_0 —абсцисса этой точки в момент $t=0$. Из формулы следует, что точка мигрирует с постоянной скоростью x_0^2

$$x_0^2 = \frac{i}{FC_E} \cdot \frac{\frac{U_A}{U_B}}{\left[1 + \frac{C_A}{C_E} \left(\frac{U_A}{U_B} - 1\right)\right]^2}. \quad (2.6)$$

Предположим, что ион А мигрирует впереди иона В, который занимает его

место в смоле. Из выражения для скорости x_0^2 вытекают следующие выводы:

- Если $U_A > U_B$ (случай ионов Na^+ , обменивающихся на ионы Zn^{2+} , 1-й пример: $\frac{U_{\text{Na}^+}}{U_{\text{Zn}^{2+}}} = 2$). Любая точка позади фронта ($C_A \rightarrow 0$) продвигается вперед

быстрее любой точки, находящейся впереди ($C_A \rightarrow C_E$). Следовательно, фронт проявляет тенденцию к *сжатию* и принимает устойчивую форму, в принципе до превращения в плоскость.

- Если $U_A < U_B$ (случай ионов Na^+ , обменивающихся на ионы H^+ , 2-й пример: $\frac{U_{\text{Na}^+}}{U_{\text{H}^+}} = 0,12$), наблюдается обратная картина, и фронт проявляет

тенденцию мало-помалу расширяться в колонке. Теоретическое распределение $C_A = f(l)$ в зоне перехода в любой момент получается комбинированием уравнений (2.5) и (2.6) при $t = t_0$.

Замечание: из-за приближений данный расчет допускает ошибки на практике связанные с: изменением подвижностей вместе с температурой и концентрациями; сильным влиянием диффузии ионов, удлиняющей фронт обмена. При этом значительно различается режим обмена, зависящий от условных значений подвижностей. При фронте обмена вытеснением воздействие диффузии превращает его в зону неизменной ширины, которая не равна нулю.

2.2 Математическая модель электроионитных процессов изотопного разделения при встречном движении ионов и системы ионит-раствор

В плане разработки улучшенных технологий разделения был предложен процесс электромиграции в противоточной системе «гранулированный ионит-раствор» в общем случае.

Создав противоток как по фазе раствора, так и по фазе ионита, можно описывать процесс разделения как при противоточной электромиграции в двухфазной системе. В такой системе ионит является насадкой, снижающей конвективное перемешивание, и средой, в которой протекает электромиграция

разделяемых ионов. Доля раствора в единичном сечении (γ) зависит от размера гранул и пористости ионита. Процесс можно описать уравнением:

$$I = \gamma \cdot I_1 + I'_1 \cdot (1 - \gamma),$$

где I_1 и I'_1 – поток легкой компоненты по фазам раствора и ионита, I – полный поток легкой компоненты по устройству.

Поток ионов в каждой фазе (рис.2.1) складывается из следующие величин:

- переноса движущей средой I_w ;
- потока вследствие концентрационной диффузии I_D ;
- потока под действием электрического поля I_E .

Значения указанных величин определяются соотношениями:

$$I_{E_1} = c_1 v_1; I'_{E_1} = m_1 v_1 + I_{w_1} = c_1 w_1; I'_{w_1} = m_1 w'_1;$$

$$I_{D_1} = D_1 \frac{dc_1}{dx}; I'_{D_1} = D'_1 \frac{dm_1}{dx},$$

где v_1 - скорость иона в электрическом поле, C_1 и m_1 - концентрация легкой компоненты в растворе и ионите, w_1 - скорость движения среды, D_1 - коэффициент диффузии, индекс 1 указывает на легкую компоненту, штрих – фазу ионита.

Согласно схеме потоков, приведенной на рис. 2.1, выражение для I запишется:

$$I = \gamma[(v_1 - w_1)c_1 - D_1 \frac{dc_1}{dx}] + (1 - \gamma)[v'_1 - w'_1)m_1 - D'_1 \frac{dm_1}{dx}]. \quad (2.7)$$

Допустим, что концентрация ионов в фазе ионита $m_0 = m_1 + m_2$ и в фазе раствора $c_0 = c_1 + c_2$ на всей длине устройства остается неизменной. Напряженность электрического поля в устройстве также неизменна. Из постоянства концентраций получим:

$$I_1 + I_2 = 0 \text{ и } I'_1 + I'_2 = 0.$$

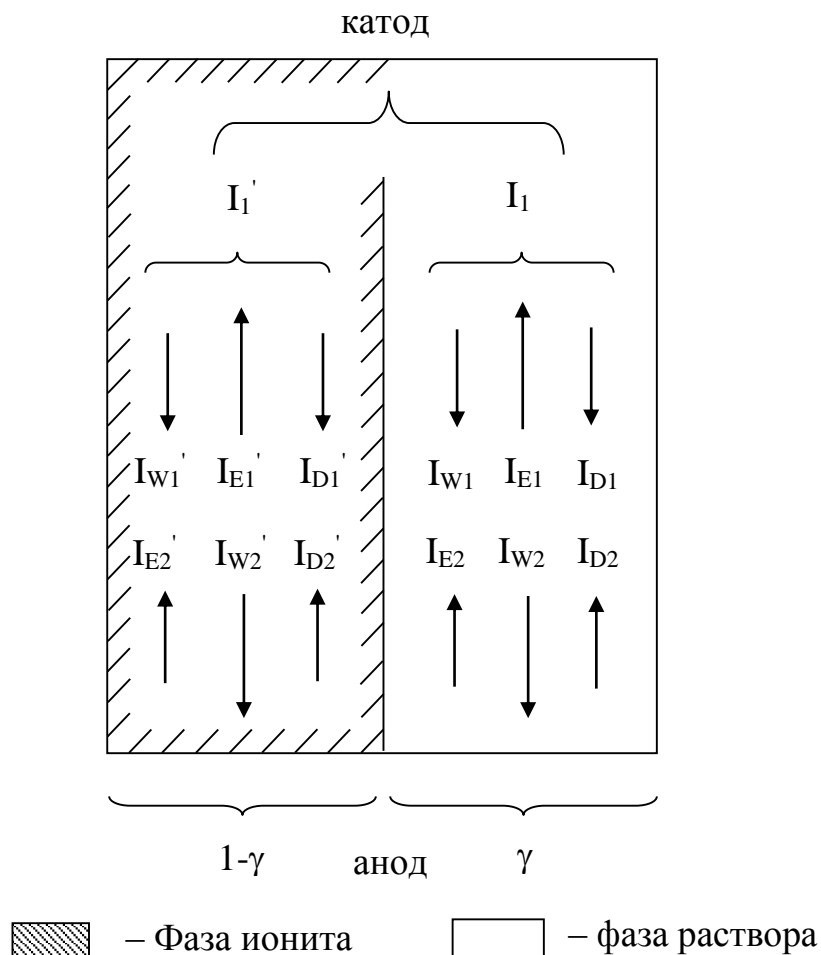


Рис. 2.1. Схема потоков при разделении ионов противоточной электромиграцией в системе ионит-раствор

Решив эти выражения относительно W и W'

$$w = \frac{1}{c_0} (c_1 v_1 + c_2 v_2) - \frac{1}{c_0} (D_1 \frac{dc_1}{dx} - D_2 \frac{dc_2}{dx}), \quad (2.8)$$

$$w' = \frac{1}{m_0} (m_1 v_1' + m_2 v_2') - \frac{1}{c_0} (D_1' \frac{dm_1}{dx} - D_2' \frac{dm_2}{dx}). \quad (2.9)$$

На основании предыдущих соотношений получим:

$$\begin{aligned} v_1 - v_2 &= \Delta v; v_1' - v_2' = \Delta v'; \frac{\Delta v'}{\Delta v} = p; \frac{m_1}{m_0} = \mu \\ \frac{c_2}{c_0} D_1 - \frac{c_1}{c_0} D_2 &= D \\ \frac{m_2}{m_0} D_1' - \frac{m_1}{m_0} D_2' &= D' \end{aligned} \quad (2.10)$$

Тогда:

$$I = \gamma \Delta v \frac{c_1(c_0 - c_1)}{c_0} - \gamma \frac{D}{c_0} \frac{dc_1}{dx} - (1 - \gamma) p \Delta v (\mu - \mu^2) - (1 - \gamma) D \frac{d\mu}{dx}. \quad (2.11)$$

Условие равновесия между ионитом и раствором в сечении колонки:

$$(1 + \varepsilon_2) \frac{c_1}{c_0 - c_1} = \frac{\mu}{1 - \mu}, \quad (2.12)$$

где ε_2 - коэффициент обогащения при ионном обмене.

Т.к. $\varepsilon_2 \ll 1$, разлагая в ряд последнее выражение и пренебрегая величинами второго порядка малости, получим:

$$c_1 = c_0 [(1 - \varepsilon + \varepsilon^2) \mu + (\varepsilon - 2\varepsilon^2) \mu^2].$$

Введя обозначения:

$$\gamma^* c_0 \Delta v (1 - \varepsilon_2) + (1 - \gamma) m_0 \Delta v^* p = A,$$

$$\gamma^* c_0 \Delta v (1 - 3\varepsilon_2) + (1 - \gamma) m_0 \Delta v^* p = B,$$

$$\gamma^* c_0 D + (1 - \gamma) m_0 D' = K.$$

Получим выражение для I в виде:

$$I = A\mu - B\mu^2 - K \frac{d\mu}{dx}. \quad (2.13)$$

Найдем решение данного уравнения для безотборного режима работы устройства. Условия на границах устройства:

$$\mu|_{x=0} = \mu_0, \quad I|_{x=L} = 0.$$

Для стационарного случая ($I=0$) при данных граничных условиях решение уравнения:

$$\mu = \mu_0 \frac{A}{B\mu_0 (A - B\mu_0) \exp(-\frac{Ax}{K})}. \quad (2.14)$$

Высота эквивалентной теоретической тарелки важная характеристика разделительного устройства, которая рассчитывается через разделение (Q) в стационарном состоянии:

$$Q = (1 + \varepsilon)^{\frac{L}{BЭТТ}},$$

где L- длина колонки;

$$Q = \frac{\frac{\mu}{1-\mu}}{\frac{\mu_0}{1-\mu_0}};$$

$$\varepsilon = \gamma\varepsilon_1 + (1-\gamma)\varepsilon_1'.$$

Отсюда

$$BЭТТ = L \frac{\ln[1 + \gamma\varepsilon_1 + (1-\gamma)\varepsilon_1']}{\frac{\frac{\mu}{1-\mu}}{\frac{\mu_0}{1-\mu_0}}}. \quad (2.15)$$

С помощью описанных уравнений можно оценить эффективность разделения изотопов и ионов при электромиграции с подвижными фазами раствора и ионита.

2.3 Описание процесса электрохроматографического разделения изотопов в виде уравнения регрессии

Методы планирования экстремальных экспериментов позволяют представить процессы разделения функцией в виде уравнения регрессии. Модель дает учесть основные факторы процесса и оценку их вклада в значение исследуемой функции. Использование методов планирования позволяет повысить эффективность экспериментальных исследований, так как это дает возможность получить максимум информации при значительно меньшем (по сравнению с классическими приемами) числе необходимых экспериментов. Последнее обстоятельство особенно важно с учетом большой длительности экспериментов по разделению изотопов. Достоинством метода планирования является также то, что, если значения варьируемых факторов определены достаточно точно, даже при отклонении значений зависимой функции все же правильно характеризуют влияние данных факторов на исследуемую функцию.

Модель процесса разделения рассматривает степень разделения – y в качестве функции отклика. Выбраны такие факторы как: концентрация рабочего

раствора в разделительной установке $Z_1, N/\text{см}^3$, скорости противотока раствора и ионита – Z_2 и $Z_3, \text{см}^3/\text{час}$, напряжение электрического поля $Z_4, \text{В}$. Значения основных уровней и интервалов варьирования для выбранных факторов представлены в табл. 2.1. Для получения уравнения регрессии процесса использовалось планирование типа 2^{4-1} , т.е. $\frac{1}{2}$ реплика от полного факторного эксперимента с определяющим контрастом $I=x_1, x_2, x_3, x_4$; (где x_1, \dots, x_4 – значения факторов в кодированных переменных)

$$x_i = \frac{Z_i - A}{\Delta};$$

Матрица планирования процесса разделения представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.1 – Интервалы варьирования переменных

Факторы Уровни варьирования	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
Основной уровень (А)	0,3	3	0,5	145
Интервал варьирования (Δ)	0,1	1	0,5	45
Верхний уровень	0,4	4	1	190
Нижний уровень	0,2	2	0	100

Таблица 2.2 – Матрица планирования экспериментов

	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_4	X_2X_4	X_3X_4	y_1
1	+	–	–	–	–	+	+	+	2
2	+	+	–	–	+	+	–	–	1,28
3	+	–	+	–	+	–	+	–	1,33
4	+	+	+	–	–	–	–	+	1,25
5	+	–	–	+	–	+	+	+	2,17
6	+	+	–	+	+	+	–	–	2,13
7	+	–	+	+	+	–	+	–	1,22
8	+	+	+	+	–	–	–	+	2,27

Уравнение регрессии для функции отклика:

$$y = 0,63 + 0,71x_1 + 0,08x_2 + 0,08x_3 - 0,10x_4 - 0,08x_1x_4 - 0,06x_2x_4 + 0,09x_3x_4.$$

Была проведена проверка на адекватность полученное уравнение регрессии с помощью критерия Фишера (F):

$$F_{\text{оп}} = \frac{s_{\text{ост}}^2}{s^2\{y\}} = \frac{0,5222}{0,2238} = 2,3333; \quad F_{0,05}(\text{табл}) = 4,12;$$

$$F_{\text{оп}} < F_{0,05}(\text{табл}).$$

Так как опытное значение критерия Фишера не превышает табличного значения, значит, уравнение адекватно описывает процесс.

Исходя из коэффициентов в уравнении регрессии, можно сказать, что значительное влияние на степень разделения изотопов оказывает величина напряжения на установке.

3. Экспериментальная часть

3.1 Описание экспериментальной установки по разделению изотопов в условиях электрохроматографии

Предложенный способ разделения изотопов лития отличается от известных методов разделения изотопов при электромиграции тем, что процесс идет в условиях встречного движения ионов и системы «ионит-раствор». Имеется ряд исследований, посвящённых экспериментальному изучению разделения изотопов при электромиграции в системе «ионит-раствор» [2-7], так в работе [6] приводится схема разделительного устройства для исследования электрохроматографического разделения изотопов лития (рис. 3.1). Установка представляет собой колонку, заполненную гранулированным катионитом и раствором. На концах её помещены платиновые электроды. Анод отделяется от разделительной колонны инертным фильтром. Питающий раствор подается в середину колонны. Процесс разделения протекает при неподвижном ионите в условиях противоточного движения ионов и раствора. В работе [2] предложен усовершенствованный вариант устройства для разделения изотопов при электромиграции (рис. 3.2). Его отличие заключается в том, что катодная камера установки выполнена в виде многокамерного электродиализатора, что позволяет повысить число переноса разделяемых ионов и концентрировать обогащенный продукт.

Существенным недостатком данных устройств является снижение выхода по току вследствие электропереноса ионов водорода, образующихся при разложении воды на аноде. Подача питающего раствора непосредственно в колонку приводит к гидродинамическим возмущениям, нарушающим условия разделения при противоточной электромиграции, что также снижает эффективность работы разделительной установки. При разработке установки для разделения изотопов предложенным методом мы стремились избежать недостатков присущих рассмотренным устройствам. В соответствии со спецификой исследуемого способа разделения в установке предусматривается организация движения навстречу мигрирующим под действием электрического

поля ионам как раствора, так и ионита. Схема устройства представлена на рис. 3.3.

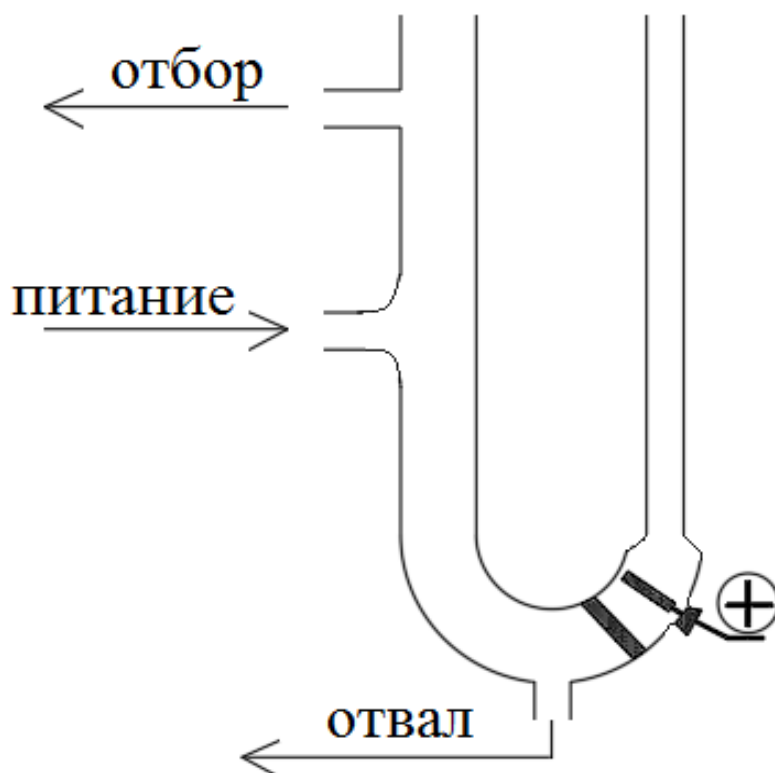


Рисунок 3.1. Схема электрохроматографической колонки

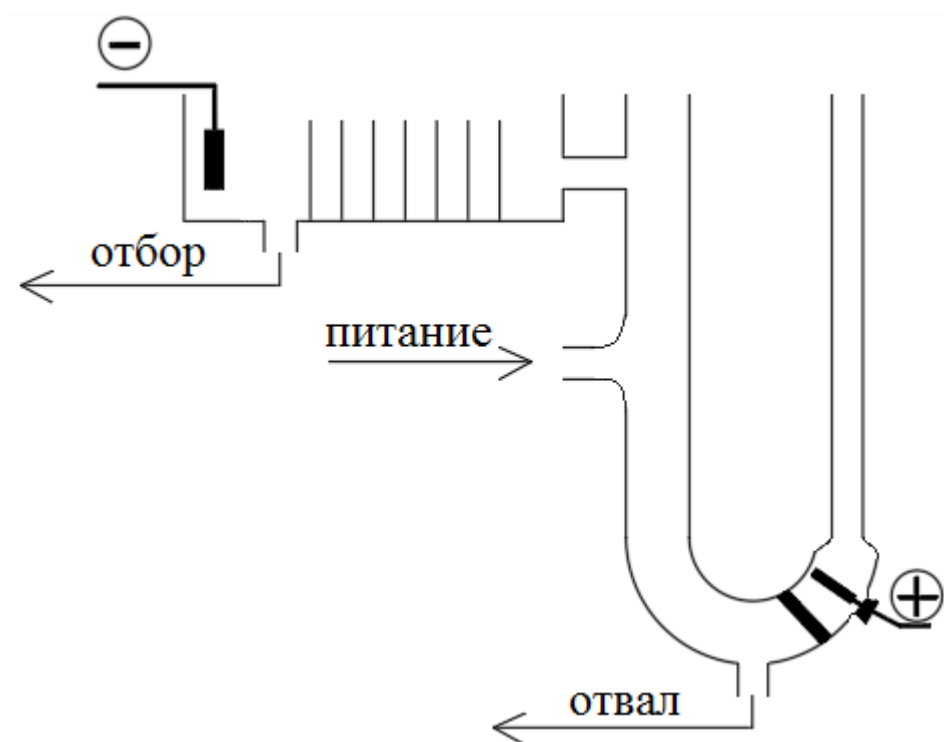


Рисунок 3.2. Схема установки типа «колонка – электродиализатор»

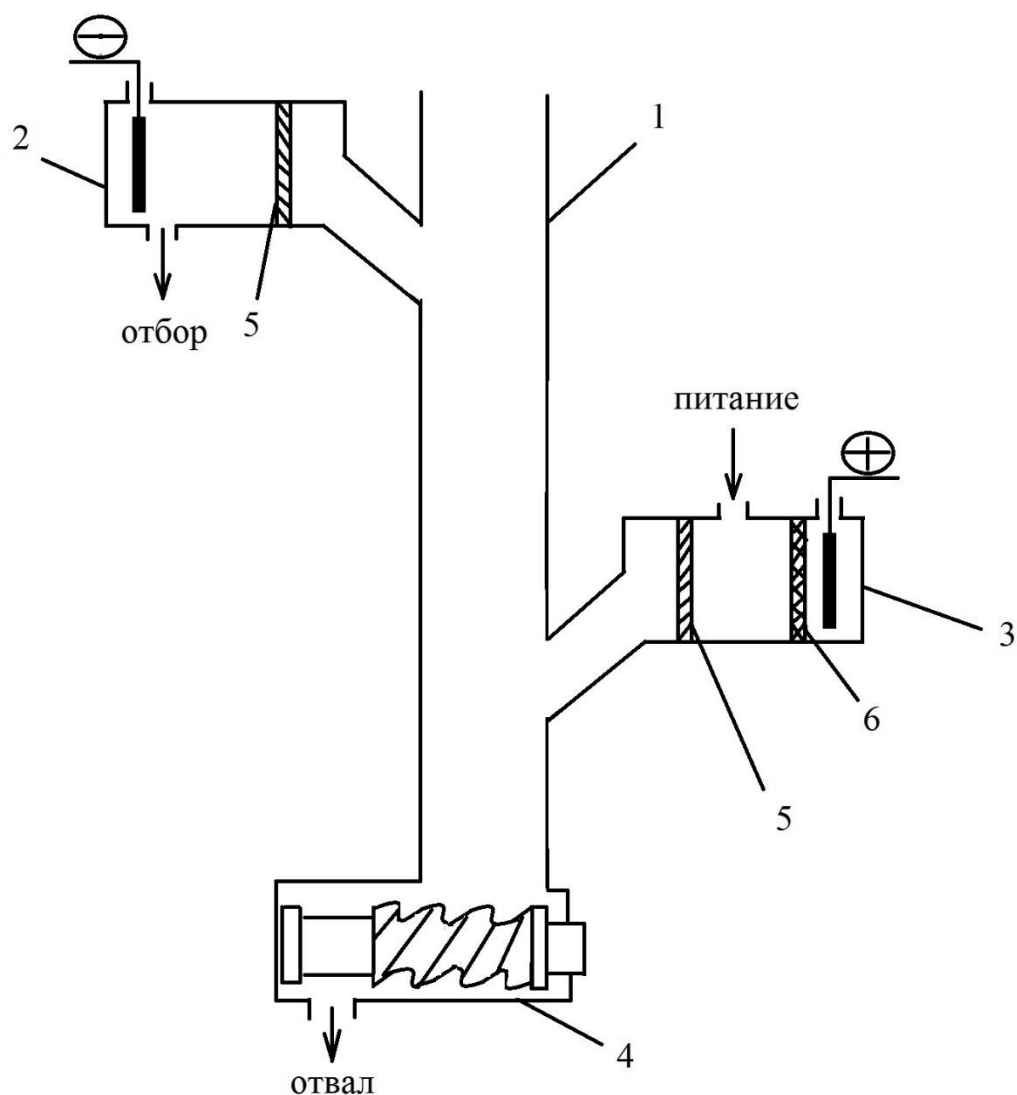


Рисунок 3.3. Схема экспериментальной разделительной установки

Оно представляет собой колонку 1, на концах которой расположены электродные камеры 2 и 3. Катод отделен от разделительной колонки 1 катионитовой мембраной 5, а анод – сначала катионитовой – 5, а затем анионитовой мембраной 6. Мембраны 5 и 6 в анодной камере образуют отсек, в который подается питающий раствор. Шнековый узел 4 позволяет организовать движение гранулированного ионита с заданной скоростью и обеспечить периодическое извлечение отработанного ионита не прерывая процесс разделения. Работа установки осуществляется следующим образом: сначала вся система заполняется рабочим раствором, затем в колонку 1 засыпают ионит в форме разделяемых ионов. После подачи напряжения на электроды разделяемые

изотопы под действием постоянного электрического поля мигрируют из среднего отсека анодной камеры в разделительную колонку 1. Скорости потоков раствора (W) и ионита (W') определяются следующими соотношениями:

$$U_2 E < W < U_1 E, \quad (3.1)$$

$$U'_2 E < W' < U'_1 E. \quad (3.2)$$

здесь U_1, U_2 и U'_1, U'_2 – соответственно подвижности лёгкого и тяжелого изотопов в растворе и ионите, E – напряженность электрического поля.

Поскольку подвижности изотопов в растворе не равны подвижностям в ионите, скорости движения раствора и ионита должны отличаться друг от друга. Если выполняются условия (3.1), (3.2), легкие изотопы мигрируют через катионитовую мембрану 5 и накапливаются в катодном отсеке, в то время как тяжелый изотоп преимущественно выводится из колонки с противоточным раствором и ионитом.

Применение ионитовых мембран, изолирующих электродные камеры от разделительной колонки, позволяет свести к минимуму образование продуктов электродных реакций за счет подачи в катодный отсек кислоты, а в анодный отсек щелочи. Поскольку поток питания подается в отсек, отделенной ионитовыми мембранами как от разделительной колонки, так и от анодного отсека, то вид аниона не имеет существенного значения. Так при разделении изотопов лития питание установки можно осуществлять растворами хлористого лития или гидроокиси лития.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет осуществлять независимое регулирование скоростей движения раствора и ионита. Кроме того, подача питания в отсек, отделенный мембраной от колонки, не вносит возмущений в процесс разделения. Устройство позволяет вести процесс разделения в непрерывном режиме.

3.2 Проведение экспериментов по разделению изотопов лития в электрохроматографической колонне

Для определения эффективности предложенного метода, были проведены

опыты по разделению изотопов лития на собранной экспериментальной установке. Опыты проводились с использованием источника постоянного тока «PC Power Supply HY5002».

Опыт 1. Колонка заполнялась катионитом КУ-2 и раствором $0,4N/cm^3$ LiCl. Концентрация питающего раствора $2N$. Напряжение, подаваемое на электроды, 100 В. Скорости противотока раствора – $4\text{ см}^3/\text{час}$, ионита – $1\text{ см}^3/\text{час}$. Высота колонки 45 см, диаметр 2,5 см. Опыт длился 72 часа.

Результаты представлены на графиках:

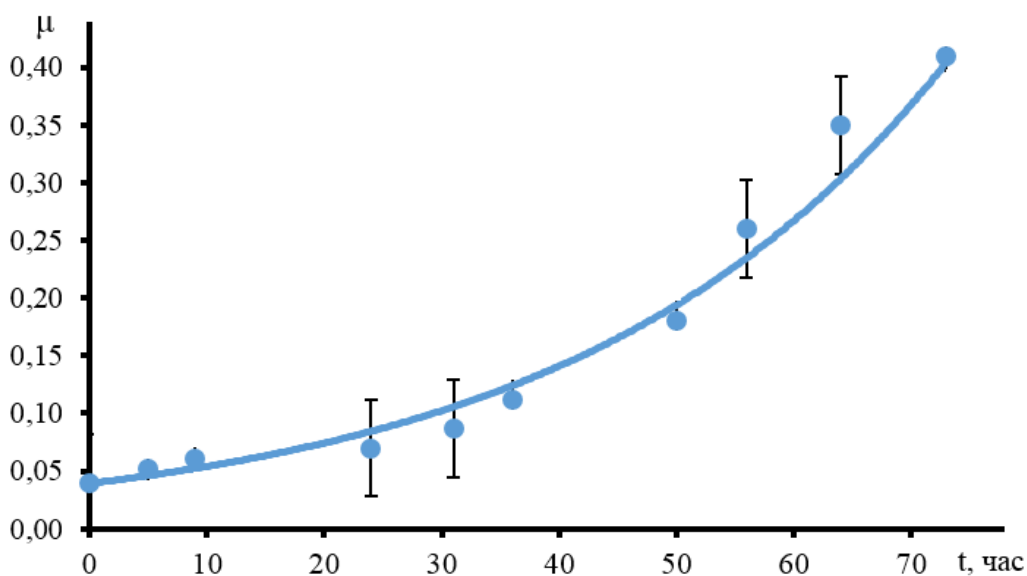


Рисунок 3.4. Изменение концентрации легкого изотопа лития ${}^6\text{Li}$ в катодной камере во времени

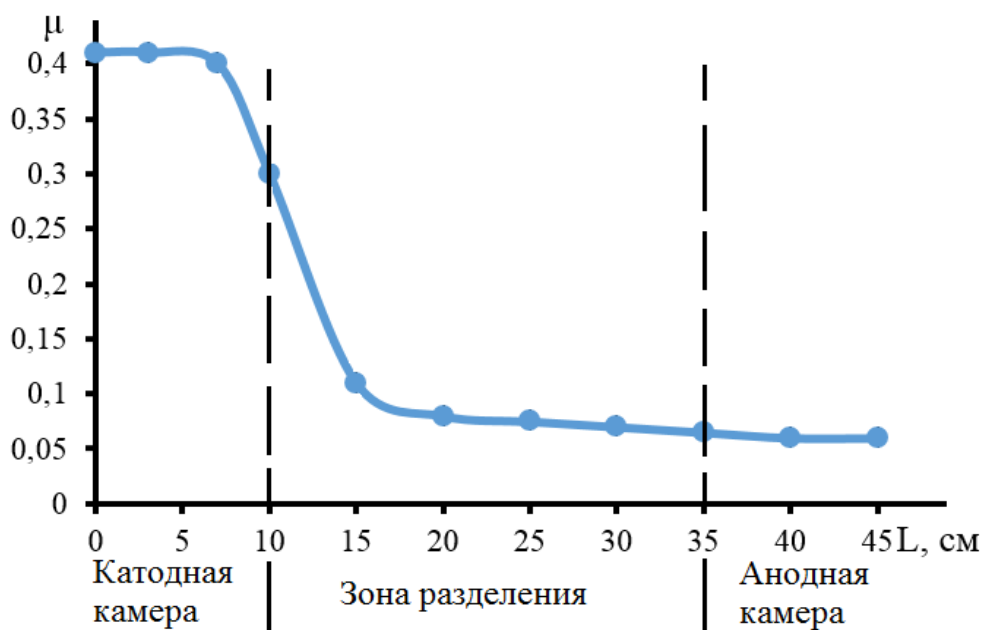


Рисунок 3.5. Распределение легкого изотопа ${}^6\text{Li}$ по длине раздельной установки

Выводы по опыту:

- За время проведения опыта в 72 часа было достигнуто изменение концентрации легкого изотопа ${}^6\text{Li}$ в катодной камере до $\sim 41\%$.
- Основная концентрация легкого изотопа сосредоточена в катодной камере. Падение концентрации легкого изотопа ${}^6\text{Li}$ между катодной камерой и основной колонной в ~ 3 раза. Далее идет незначительное уменьшение концентрации до конца установки.

Опыт 2. Колонка заполнялась катионитом КУ-2 и раствором $0,4N/\text{см}^3$ LiCl. Концентрация питающего раствора $2N$. Напряжение, подаваемое на электроды, 100 В. Скорость противотока раствора – $4 \text{ см}^3/\text{час}$. Высота колонки 45 см, диаметр 2,5 см. Опыт длился 36 часов.

Цель опыта: сравнение изменения концентрации легкого изотопа ${}^6\text{Li}$ при неподвижном и подвижном ионите.

Результат представлен на графике:

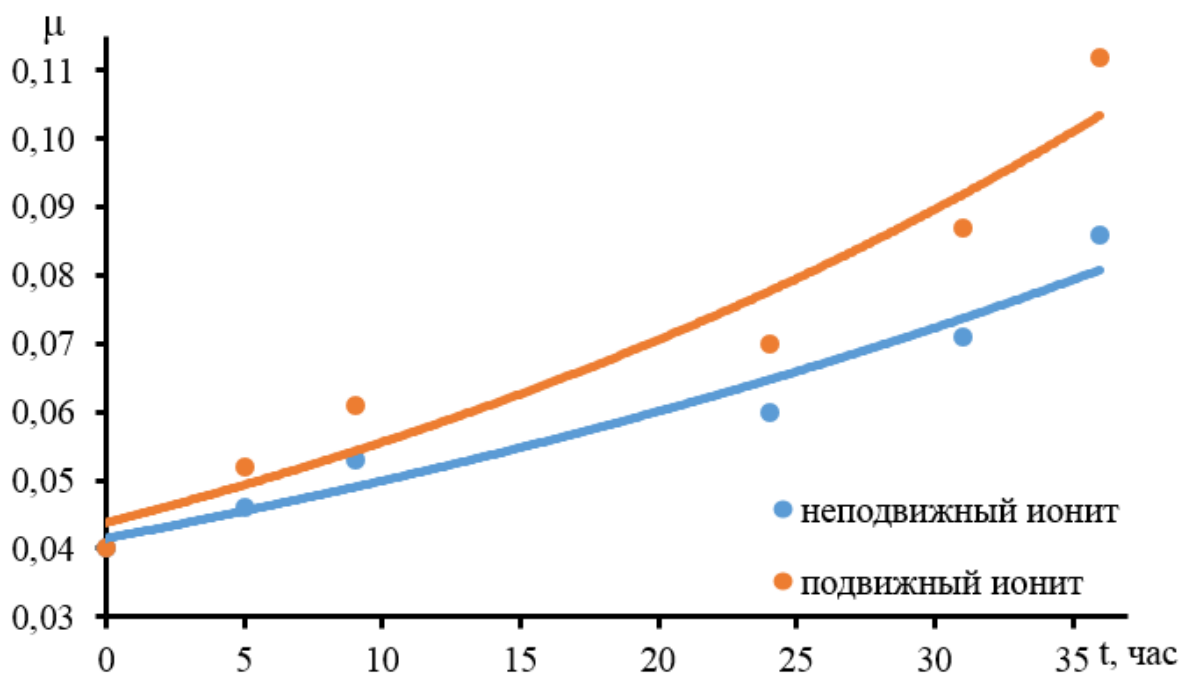


Рисунок 3.6. Изменение концентрации легкого изотопа ${}^6\text{Li}$ в катодной камере во времени

Вывод по опыту: за время проведения опыта в 36 часов концентрация легкого изотопа ${}^6\text{Li}$ в катодной камере при подвижном ионите оказалась выше в

1,3 раза, чем при неподвижном ионите (в конце опыта концентрация ${}^6\text{Li}$ при подвижном ионите составила 11,1%, при неподвижном 8,6%). Исходя из этого можно утверждать, что способ разделения изотопов с применением противотока как по фазе раствора, так и по фазе ионита является более эффективным и целесообразным.

4. Экономическая часть

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

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Цель данного раздела – расчёт экономических показателей разработки и исследования метода разделения изотопов в системе, совмещающей электрохроматографию и изотопный обмен.

Для достижения цели необходимо поставить и решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал проекта, а также его перспективность;
- спланировать график выполнения работ в рамках проекта;
- определить бюджет затрат;
- определить ресурсную эффективность.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе рассматривается способ разделения изотопных и ионных смесей, основанный на сочетании обменных и электрохроматографических процессов с применением ионообменных материалов.

Актуальность работы связана с тем, что существующий метод (амальгамный) для обогащения Li по лёгкому изотопу является экологически

небезопасным, т.к. использует такие соединения, как ртуть и амальгама. Для разработки более эффективных методов разделения изотопных и ионных смесей требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований, предлагаемые методы должны быть экологически безопасными.

4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он 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 представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С2. Экологичность технологии; С3. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии; С4. Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.	Сл1. Недостаток финансовых средств; Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки

Возможности: В1.Появление дополнительного спроса на новый продукт; В2.Повышение стоимости конкурентных разработок; В3.Использование научно- исследовательских достижений ТПУ.		
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2.Несвоевременное финансовое обеспечение.		

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

Второй этап состоит 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.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

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

Слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл.1	Сл.2
	B1	-	+
	B2	-	0
	B3	-	-

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	Y1	+	+	0	–
	Y2	+	0	+	–

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2
	Y1	+	+
	Y2	+	-

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1.Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С2.Экологичность технологии; С3.Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии; С4.Маленький срок	Сл1.Недостаток финансовых средств; Сл2.У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением

	получения результатов при проведении научного исследования.	
Возможности: В1.Появление дополнительного спроса на новый продукт; В2.Повышение стоимости конкурентных разработок; В3.Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.	Из данной комбинации видно, что существует возможность создания эффективного и экономически выгодного способа разделения изотопов при совмещении электрохроматографии и изотопного обмена.	В рамках данной работы не требуется высокотехнологичное и дорогостоящее оборудование, однако отсутствие прототипа научной разработки может существенно увеличить срок проведения научных работ.
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2.Несвоевременное финансовое обеспечение.	Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования.	Несвоевременное финансовое обеспечение и отсутствие спроса на новые технологии производства могут привести к недостатку финансовых средств. Чтобы снизить уровень этих угроз работа должна быть востребована в настоящее время. Также, отсутствие прототипа научной разработки может привести к снижению спроса на данную технологию.

По составленной итоговой матрице SWOT-анализа можно сказать, что проект в силу своих сильных сторон и возможностей эффективен и конкурентно способен для расчета и реализации.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В настоящее время наука в значительной степени определяет темпы технического прогресса и роста народного благосостояния. Только рациональное использование выделяемых для науки средств, концентрация их на приоритетных направлениях, совершенствование координации деятельности научно-исследовательских учреждений, быстрое внедрение научных и исследовательских разработок и проектов может ускорить научно-технический прогресс (НТП). Это обуславливает необходимость планирования и организации научно-исследовательских работ (НИР).

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр, руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Моделирование технологического процесса на ПК	Бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр, руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр
	9	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

4.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{oji} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой

работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

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

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполните ли	Длитель ность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительнос ть работ в календарн ых днях T_{ki}
	t_{min} , чел - дни	t_{max} , че л-дни	$t_{ож}$, чел - дн и			
Составление и утверждение технического задания	3	5	3,8	Б, Р	3,8	5
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Б	12	14
Анализ исходных данных	5	7	5,8	Б	5,8	7
Выбор направления исследований	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
Календарное планирование работ по теме	2	2,5	2,2	Б	2,2	3
Моделирование	10	15	12	Б	12	14

технологическог о процесса на ПК						
Эксперименталь ное исследование	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3
Оценка эффективности полученных результатов	5	7	5,8	Б	5,8	7
Анализ и обработка полученных результатов	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2
Оформление пояснительной записки к ВКР	6	10	7,6	Б	7,6	9
Подготовка к защите ВКР	4	7	5,2	Б	5,2	6
Итого:			66, 2		60,3 Р/Б 9,7/56,5	73 Р/Б 13/68

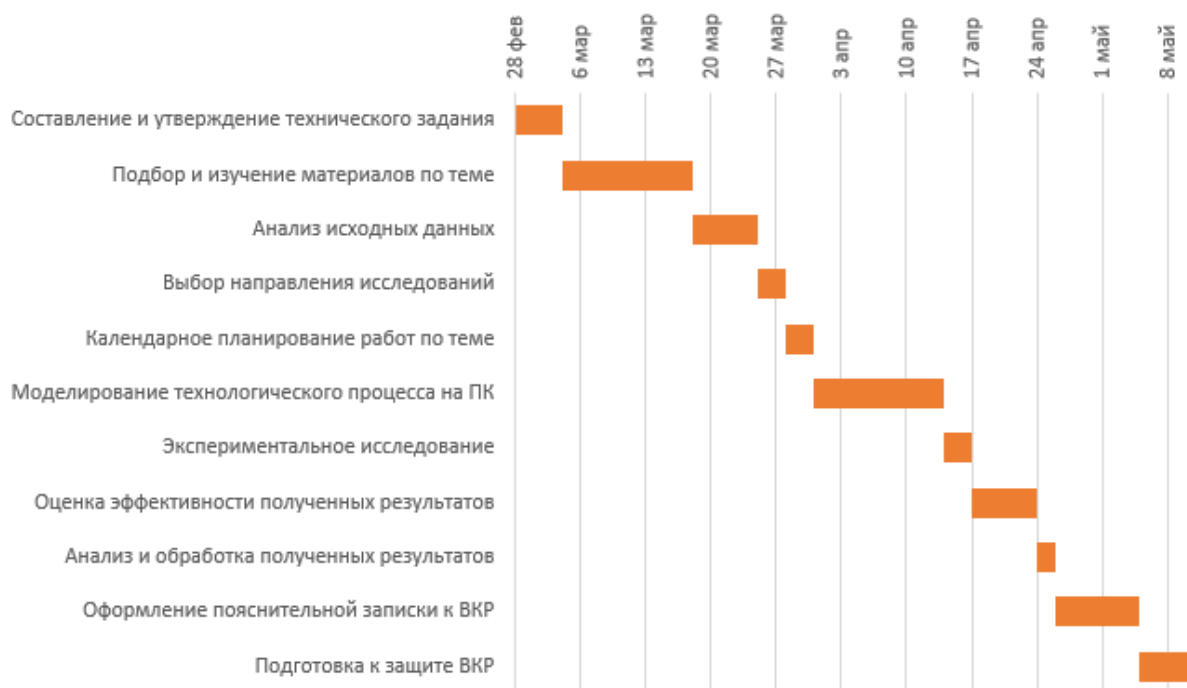


Рисунок 4.1 – Диаграмма Ганта

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.5)$$

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

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к

использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Все материалы, используемые для создания исследовательской установки, являются собственностью отделения ядерно-топливного цикла инженерной школы ядерных технологий, поэтому в расчет показателей затрат стоимость и вспомогательных, комплектующих материалов не берется.

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

При проведении научно-технических исследований, специальное оборудование, необходимое для проведения работ, не использовалось. Затраты на специальное оборудование для научных работ отсутствуют.

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от

предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 1988 руб. и 36800 руб. для профессора, доктора физико-математических наук);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-ти дневная неделя.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		

-отпуск	48	48
-невыходы по болезни	—	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.9)$$

$$З_{\text{м}} = 36800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 71760 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. ($З_{\text{тс}}$ составляет 46000 руб.);

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15 – 20 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	36800	0,3	0,2	1,3	71760	2973,3	9,7	28841,2
Бакалавр	1988	0,3	0,2	1,3	3876,6	160,6	56,5	9075,3
Итого								37916,5

Таким образом, основная заработная плата труда для исполнителей проекта по научно-техническому исследованию составила 37916,5 рублей.

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.10)$$

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 34609,44 = 10452 \text{ руб.},$$

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

4.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки

При проведении НТИ не было научных и производственных командировок, таким образом, в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

4.4.6 Контрагентные расходы

При проведении НТИ не было контрагентных расходов, таким образом, затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями, отсутствуют.

4.4.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы в ТПУ составляют 16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = k_{нр} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (4.11)$$

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

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 48368,5 = 7738,96 \text{ руб.}$$

Таким образом, накладные расходы, учитывающие прочие расходы организации, на данный проект составили 7738,96 рублей.

4.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	0	пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	37916,5	пункт 3.4.3 Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ»
4. Отчисления во внебюджетные фонды	10452	пункт 3.4.4 Размер страховых взносов 30,2%

5. Затраты на научные и производственные командировки	0	пункт 3.4.5
6. Контрагентские расходы	0	пункт 3.4.6
7. Накладные расходы	7738,96	пункт 3.4.7 Накладные расходы в ТПУ составляют 16 % от з/п
8. Бюджет затрат НТИ	56107,46	Сумма ст. 1-7

Таким образом, бюджет научно-технического исследования составил 56107,46 руб., который состоит из затрат на оплаты труда (37916,5 рублей), отчислений во внебюджетные фонды (10452 рубля) и накладных расходов (7738,96 рубля).

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

Результатом НИР является достижение научного, научно-технического, экономического и социального эффектов. Научный эффект характеризуется получением новых научных знаний и отражает прирост информации, предназначенной для "внутринаучного" потребления. Научно-технический эффект характеризует возможность использования результатов выполняемых исследований в других НИР и ОКР и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой продукции. Экономический эффект характеризует коммерческий эффект, полученный при использовании результатов прикладных НИР. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда, повышении экономических характеристик, развитии культуры, здравоохранения, науки, образования.

Научная деятельность носит многоаспектный характер, ее результаты, как правило, могут использоваться во многих сферах экономики в течение

длительного времени.

Оценка научной и научно-технической результативности НИР производится с помощью системы взвешенных балльных оценок. Для фундаментальных НИР рассчитывается только коэффициент научной результативности (табл. 4.9), а для поисковых работ и коэффициент научно-технической результативности (табл. 4.10). Оценки коэффициентов могут быть установлены только на основе опыта и знаний научных работников, которые используются как эксперты. Оценка научно-технической результативности прикладных НИР производится на основе сопоставления достигнутых в результате выполнения НИР технических параметров с базовыми (которые можно было реализовать до выполнения НИР).

Количественная оценка научного или научно-технического уровня может быть произведена путем расчета результативности участников разработки по формуле:

$$K_{\text{ну}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{дyi}} \cdot d_i), \quad (4.12)$$

где $K_{\text{ну}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{\text{дyi}}$ – коэффициент достигнутого уровня i – го фактора;

d_i – значимость i – го фактора;

n – количество факторов.

При оценке научной и научно-технической результативности используются различные факторы, влияющие на их количественную оценку. По каждому из факторов экспертным путем устанавливается числовое значение коэффициента значимости d_i . При этом сумма коэффициентов значимости по всем факторам должна быть равна 1,0. Коэффициент достигнутого уровня фактора также устанавливается экспертным путем, а его числовое значение в пределах от 0 до 1 определяется с учетом качества признака фактора и его характеристики.

Таблица 4.9. Характеристики факторов и признаков научной результативности НИР

Фактор научной результативности	Коэф. значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутого уровня
Новизна полученных результатов	0,5	Высокая	Принципиально новые результаты, новая теория, открытие новой закономерности	1,0
		Средняя	Некоторые общие закономерности, методы, способы, позволяющие создать принципиально новую продукцию	0,7
		Недостаточная	Положительное решение на основе простых обобщений, анализа связей факторов, распространение известных принципов на новые объекты	0,3
		Тривиальная	Описание отдельных факторов, распространение ранее полученных результатов, реферативные обзоры	0,1
Глубина научной проработки	0,35	Высокая	Выполнение сложных теоретических расчетов, проверка на большом объеме экспериментальных данных	1,0
		Средняя	Невысокая сложность расчетов, проверка на небольшом объеме экспериментальных данных	0,6
		Недостаточная	Теоретические расчеты просты, эксперимент не проводился	0,1
Степень вероятности	0,15	Большая		1,0

успеха				
		Умеренная		0,6
		Малая		0,1

Таблица 4.10. Характеристики факторов и признаков научно-технической результативности НИР

Фактор научно-технической результативности	Коэф. значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутого уровня
Перспективность использования результатов	0,5	Первостепенная	Результаты могут найти применение во многих научных направлениях	1,0
		Важная	Результаты будут использованы при разработке новых технических решений	0,8
		Полезная	Результаты будут использованы при последующих НИР и разработках	0,5
Масштаб реализации результатов	0,3	Национальная экономика	Время реализации: до 3 лет, до 5 лет, до 10 лет,	1,0 0,8 0,6
		Отрасль	Время реализации: до 3 лет, до 5 лет, до 10 лет,	0,8 0,7 0,5
		Отдельные фирмы и предприятия	Время реализации: до 3 лет, до 5 лет, до 10 лет,	0,4 0,3 0,2
Завершенность результатов	0,2	Высокая	Техническое задание на ОКР	1

		Средняя	Рекомендации, развернутый анализ, предложения	0,6
		Недостаточная	Обзор, информация	0,4

В данной работе были достигнуты следующие показатели:

Фактор научной результативности	Качество фактора	Характеристика фактора
Новизна полученных результатов	Средняя	Некоторые общие закономерности, методы, способы, позволяющие создать принципиально новую продукцию
Глубина научной проработки	Средняя	Невысокая сложность расчетов, проверка на небольшом объеме экспериментальных данных
Степень вероятности успеха	Умеренная	
Перспективность использования результатов	Важная	Результаты будут использованы при разработке новых технических решений
Масштаб реализации результатов	Национальная экономика	Время реализации: до 5 лет,
Завершенность результатов	Средняя	Рекомендации, развернутый анализ, предложения

На основании этих результатов, были рассчитаны коэффициенты научного и научно-технического уровня. Результаты расчетов - в таблицах 4.11 и 4.12.

Таблица 4.11. Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i – го фактора
	d_i	$K_{дy_i}$	$K_{дy_i} \cdot d_i$
1. Новизна полученных результатов	0,5	0,7	0,35
2. Глубина научной проработки	0,35	0,6	0,21
3. Степень вероятности успеха	0,15	0,6	0,09

Результативность	$K_{ну} = 0,65$	$\sum 0,65$
------------------	-----------------	-------------

Таблица 4.12. Оценка научно-технического уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i – го фактора
	d_i	$K_{дy_i}$	$K_{дy_i} \cdot d_i$
1. Перспективность использования результатов	0,5	0,8	0,4
2. Масштаб реализации результатов	0,3	0,8	0,24
3. Завершенность результатов	0,2	0,6	0,12
Результативность	$K_{нту} = 0,76$		$\Sigma 0,76$

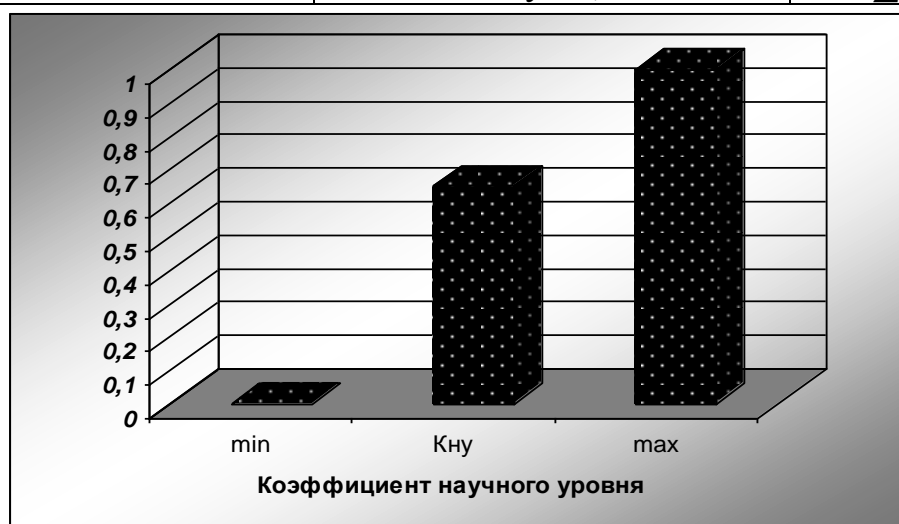


Рисунок 4.2. Коэффициент научного уровня дипломной работы

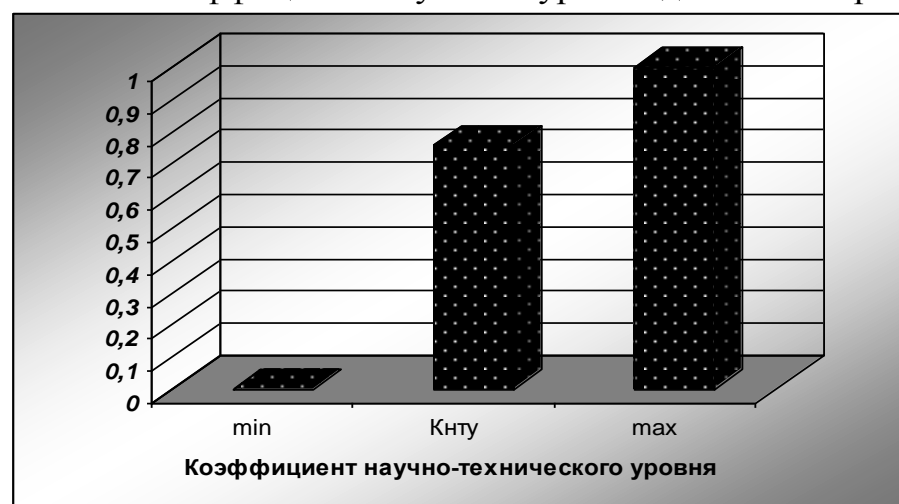


Рисунок 4.3. Коэффициент научно-технического уровня дипломной работы.

Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников исследовательского проекта составила 99 дней (88 дня – занятость студента, 11 дня – длительность работы руководителя).

2. Бюджет научно-технического исследования составил 56107,46 руб. Бюджет НТИ состоит затрат на оплаты труда (37916,5 рублей), отчислений во внебюджетные фонды (10452 рубля) и накладных расходов (7738,96 рубля).

4. Произвели оценку научного уровня НИР, который оказался равен 0,65 и научно-технического уровня НИР, который оказался равен 0,76. При сравнении с максимальным коэффициентом $K_{ny} = 1$, пришли к выводу, что работа выполнена на хорошем уровне.

5. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ предложенного метода разделения, в котором было установлено, что данный способ разделения является эффективным и конкурентно способным. Длительность работ исполнителей проекта составляет 99 дней. После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 56107,46 рублей. Проект экономически целесообразен, что определено при помощи показателя ресурсоэффективности проекта.

6. Капиталовложения в размере 56107,46 рублей позволили реализовать моделирование разделительных процессов в системе, совмещающей электрохроматографию и изотопный обмен. Предложенная методика позволит разделять изотопы лития и других элементов экологически безопасным методом, что является актуальной задачей в наше время.

5. Социальная ответственность

Введение

В данной работе рассматривается способ разделения изотопных и ионных смесей, основанный на сочетании обменных и электрохроматографических процессов с применением ионообменных материалов.

Эксперименты проводились в 10 корпусе Томского политехнического университета, при этом использовался источник постоянного тока «РС Power Supply HY5002».

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

По трудовому кодексу Российской Федерации продолжительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю. Работодатель обязан вести учет времени, фактически отработанного каждым работником. Продолжительность рабочего времени для конкретного работника устанавливается трудовым договором с учетом специальной оценки условий труда [45].

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Обработка персональных данных может осуществляться только в целях обеспечения соблюдения законов и иных правовых актов, соблюдения личной безопасности работников, обеспечение сохранности имущества [45].

5.1.2 Организация рабочего места исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как изображено на рисунке 5.1.

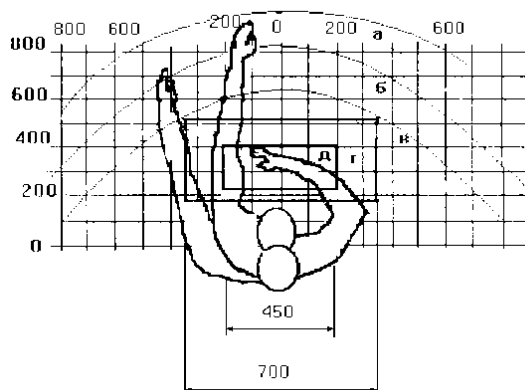


Рисунок 5.1. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - для тонкой ручной работы

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);
- литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева);
- в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

При выборе рабочего места, а именно письменного стола должны быть учтены следующие требования, которые представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Требования к оснащению рабочего места, предусматривающего длительную работу за ПК

Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Высота рабочего стола	75 см
Глубина рабочего стола	От 60 до 80 см
Расстояние от глаз до монитора	От 50 до 60 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Пространство для ног	Ширина от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

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 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [44].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора [44]:

- по высоте +3 см;
- наклон относительно вертикали 10 - 20 градусов;
- в левом и правом направлениях.

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов (таблица 5.2), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Таблица 5.2 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
4. Превышение уровня шума	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
5. Психофизиологические факторы	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

5.2.1.1 Микроклимат

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений по ГОСТ 12.1.005-88 должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 5.3.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей [33].

Таблица 5.3 – Требования к микроклимату

Период года				Холодный	Теплый
Оптимальная				22-24	23-25
Температура, °С	воздух а	Допустимая	Диапазон ниже оптимальных величин	20-21,9	21-22,9

			Диапазон выше оптимальных величин	24,1-25	25,1-28
	поверх ностей	Оптимальная		21-25	22-26
		Допустимая		19-26	20-29
Относительная влажность воздуха, %	Оптимальная			60-40	
	Допустимая			15-75	
Скорость движения воздуха, м/с	Оптимальная			0,1	
	Допустимая	Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более		0,1	
		Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более		0,1	0,2

5.2.1.2 Производственный шум

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является системный блок ПЭВМ. Уровень шума, которого менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [36].

В табл. 5.4 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 5.4. Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
Научная работа, расчеты, конструирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

По характеру спектра в помещении отсутствуют широкополосные шумы. Применение СКЗ и СИЗ не является необходимым [36].

5.2.1.3 Освещение

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

Согласно СП 52.13330 нормированное значение освещённости для системы общего освещения рабочей поверхности для данной группы помещений составляет 300лк [38].

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

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:

- комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
- местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

5.2.1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля.

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля.

Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 5.5.

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

Таблица 5.5. Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

5.2.1.5 Психофизиологические факторы

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

Трудовая деятельность работников непроизводственной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональных на

активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

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

5.2.2 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [39].

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

В таблице 5.6 представлены значения предельно допустимых уровней напряжения и тока в зависимости от продолжительности воздействия на организм человека.

Таблица 5.6 – Предельно допустимые уровни напряжения и тока (ГОСТ 12.1.038-82)

Ряд тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни, не более, при продолжительности воздействия тока, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный 50 Гц	Напряжение, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	Ток, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	Напряжение, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	Ток, мА												8
Постоянный	Напряжение, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	Ток, мА												15

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %),

высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования [40].

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

Для освобождения пострадавшего от действия тока напряжением до 1000 В можно оттащить пострадавшего от токоведущих частей, пользуясь электроизолирующими защитными средствами. Также для отделения пострадавшего от токоведущих частей можно воспользоваться любыми непроводящими ток предметами: сухой одеждой, канатом, палкой, доской и т.п. Оттянуть пострадавшего можно даже голой рукой за его сухую одежду, отстающую от тела (за ворот, хлястик, полу пиджака), но не рекомендуется оттаскивать пострадавшего за брюки или обувь, так как они могут оказаться сырыми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

5.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства [43].

Влияние эксплуатации оборудования на окружающую среду минимально.

Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ не производит выбросов вредных веществ, не создает излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако его производство и утилизация составляют серьезную проблему. Так, при его производстве и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет.

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность:

- Правильная утилизация ПЭВМ и других систем, а также их комплектующих;
- Использование светодиодных ламп.

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

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

5.4 Безопасность в ЧС

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей

или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [44].

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

Причиной возникновения пожара неэлектрического характера является халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня).

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т. п.

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории А_н, Б_н, В_н, Г_н и Д_н.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Д [42] - негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- в) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- г) курение в строго отведенном месте;
- д) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения (к ним относятся все виды переносных и передвижных огнетушителей, оборудование пожарных кранов, ящики с порошковыми составами (песок, перлит и т. п.), а также огнестойкие

ткани (асбестовое полотно, кошма, войлок и т. п.). Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды [41].

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с инструкцией.

Выводы по разделу

В данном разделе проведен анализ условий труда, оборудования, используемого во время исследований, вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, приведены мероприятия по снижению воздействия факторов на исследователя. Также рассмотрены правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя и приведены меры предосторожности, а также правила безопасности при проведении исследований в лаборатории. Анализ показал, что условия труда, в которых находится персонал, соответствуют нормам. Оборудование и предметы защиты регулярно проверяются на исправность. Рассмотрена наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, и меры по предупреждению возникновения ЧС.

Выводы

1. Разработаны математические модели и компьютерные программы электрохроматографического процесса разделения изотопов лития при встречном движении ионов и обеих фаз системы ионит-раствор.

2. Разработана экспериментальная установка, позволяющая осуществлять процессы электрохроматографического разделения изотопов лития в условиях встречного движения ионов и системы ионит-раствор.

3. Проведены экспериментальные исследования по разделению изотопов лития при электрохроматографии. В сопоставимых условиях при работе установки 36 часов, концентрации раствора $0,4 \text{ N/cm}^3$ и напряжении 100 В, относительная концентрация легкого изотопа лития ^6Li при встречном движении ионов и системы ионит-раствор в 1,3 раза выше, чем для способа разделения с неподвижным ионитом.

4. Проведены экспериментальные исследования разделения изотопов лития в колонне электрохроматографии. Полученные результаты позволяют сделать вывод об адекватности модели полученной в форме уравнений регрессии на основе анализа критерия Фишера.

Заключение

Разработанные математические модели, экспериментальные исследования являются элементами научных и практических основ перспективного экологически безопасного метода разделения изотопов лития и других элементов, тонкой очистке веществ. Предлагаемая система является гибкой позволяющей без существенного аппаратного изменения переходить к различным разделительным процессам. Предлагаемый способ разделения будет совершенствоваться по мере разработки новых высокоселективных ионитов и мембран, а также в условиях применения методов физической активации среды (лазерное облучение, магнитные и высокочастотные поля, резонансные процессы).

Список публикаций

1. Балашков В. С., Вергун А. П., Беляков Д. М. Направленный поиск, моделирование электрохроматографических и обменных процессов изотопного разделения // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов V Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (19 Ноября - 23 Ноября 2018 г.), Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Графика, 2018. – 108 с.

2. Балашков В. С., Вергун А. П., Беляков Д. М. Разработка, оптимизация процессов разделения изотопов в противоточных колоннах с движущейся фазой ионита // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов IV Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (30 Октября - 3 Ноября 2017 г.), Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Графика, 2017. – 69 с.

Список литературы

1. Баранов В.Ю. Изотопы; свойства, получение, применение. В 2 т. Т. 1 - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
2. Баранов В.Ю. Изотопы: свойства, получение, применение. В 2 т. Т. 2 - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
3. Андреев Б.М., Зельвенский Я.Д., Кательников С.Г. Разделение стабильных изотопов физико-химическими методами. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 208 с.
4. Сачков, В.И. Селекция легких изотопов в условиях формирования границы раздела фаз / В.И. Сачков [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2007.
5. Тремийон Б. Разделение на ионнообменных смолах: пер. с франц.— М.: Мир, 1967.
6. Дорофеева, Л. И. Моделирование двухфазных процессов разделения изотопов щелочных металлов / Л. И. Дорофеева, А. В. Шаповалов, А. М. Хорохорин // Т. 2, 2006.
7. Андреев Б.М., Полевой А.С. Методы исследования процессов изотопного обмена. - М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1957. - 79 с.
8. Моделирование и оптимизация электроионитных и обменных процессов разделения изотопов и очистки веществ / А. П. Вергун [и др.] // Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности (производство, наука, образование): Международная научно-практическая конференция, Томск, 7-9 июня 2004 г.: Сборник тезисов докладов / Федеральное агентство по атомной энергии; Госатомнадзор РФ и др. — Томск, 2004.
9. Вергун А.П., Тихомиров И.А., Дорофеева Л.И. Неорганические ионообменники и их применение. — Томск: ТПУ, Учебно—методическое пособие, № 29% 2001-42 с
10. Власов В.А., Вергун А. П., Орлов А.А., Тихонов Г.С. Разделительные процессы с применением ионообменных материалов. Учебное пособие. Томск. ТПУ-2002. С.121

11. Вергун А.П., Пуговкин М.М., Шаров Р.В. Разделение изотопов и тонкая очистка веществ электроионитными и обменными методами. Учебное пособие. Томск. ТПУ, 2000.С.68
12. М. Мулдер. Введение в мембранную технологию. М: «МИР»,1999. С.515.
13. Власов, А. В. Распределение изотопов и ионов с близкими свойствами в условиях совмещения изотопного обмена и электрохроматографии / А. В. Власов, А. П. Вергун, В. В. Смирнова // Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности: сборник тезисов докладов IV Международной научно-практической конференции; г. Томск, 7-8 июня 2007 г. / (ТПУ); Сибирский химический комбинат. — Томск, 2007.
14. Guo G.Z, Zaijun L., Jie Y. Advance in Lithium Isotope Separation. Progress in Chemistry,2011.
15. Гельферих И.Ф. Иониты. Основы ионного обмена. пер с нем.М: издательство иностранной литературы, 1962.С.490.
16. Власов А. В. Применение мембранных процессов / А. В. Власов, А. П. Вергун // Т. 3. —, 2007.
17. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии/Л.Н. Москвин, Л.Г. Царицына. - Л: Химия, 1991.
18. Ульянов, А. Г. Особенности процесса электроионитного обращения потоков фаз при разделении изотопов и очистке веществ / А. Г. Ульянов, А. П. Вергун // Т. 2. —, 2006.
19. Фам Тхи, Л.Н. Разделение катионов натрия и кальция электродиализом с ионообменными мембранами / Л.Н. Фам Тхи, В.А. Шапошник, М.А. Макарова // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010.
20. Исупов, В. П. Коэффициенты разделения изотопов лития при химическом изотопном обмене /В.П. Исупов [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001.
21. Raizen M., Klappauf B. Magnetically activated and guided isotope separation. New Journal of Physics, 2012.

22. Martoyan, G.A. Prospects of lithium enrichment on 7Li isotope by method of controlled ions electromigration/G.A.Martoyan [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016.
23. Hoshino T. et al., Basic Technology for 6Li Enrichment using an Ionic-Liquid Impregnated Organic Membrane, Journal of Nuclear Materials, vol.417, issues 1–3, 2011,
24. Brozek, K. Lithium Isotope Enrichment: Feasible Domestic Enrichment Alternatives/K. Brozek. – Department of Nuclear Engineering University of California, Berkeley. – 2012-Report UCBTH-12-005.
25. Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений «Методы менеджмента качества» №1 2003 г.
26. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006.
27. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: пер. с англ. М.: Дело, 1998, 312 с.
28. Никулина И.Е., «Денежное обращение и финансы», /Учебное пособие/, - Томск: Изд. ТПУ, 1999г., с. 80 - 91.
29. Комментарий части первой Гражданского кодекса Российской Федерации для предпринимателей. — М.: Фонд «Правовая культура», 1999г., с.21-22.
30. «Бизнес-план», Методические материалы /Под ред. проф. Р.Г. Маниловского/, -М.: Финансы и статистика, 1995г. – 156
31. Методическое пособие по чтению научно-популярной литературы для студентов I-II курсов ИГНД, МСФ, ФТФ, ТЭФ, АЭМФ, АВТФ.-Томск: изд-во ТПУ, 2003.-104с.
32. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
33. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
34. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

35. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.

36. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

37. Кнорринг Г. М. Осветительные установки - Ленинград: Энергоиздат, 1981.- 288 с.

38. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

39. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

40. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

41. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

42. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

43. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

44. Трудовой кодекс Российской Федерации. Официальный текст. От 01.04.2019 г., Гл. 14, 15.