

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

---

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология  
Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н.М.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Получение коллективного концентрата редкоземельных металлов из монацита</b>

УДК 669.85/.86:549.752.143

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ02	Перминова Ирина Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Потехина Н. В.	старший преподаватель		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Казьмина О.В.	д.т.н, профессор		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(-ых) языке(-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранных языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	Способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	Готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	Готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	Готовность к поиску, обработке, анализу, систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик, средств решения задачи
ПК(У)-3	Способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ПК(У)-4	Готовность к решению профессиональных производственных задач - контролю технологического процесса, разработке норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, к выбору оборудования и технологической оснастки
ПК(У)-5	Готовность к совершенствованию технологического процесса - разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
	предложений по его устранению
ПК(У)-6	Способность к оценке экономической эффективности технологических процессов, оценке инновационно-технологических рисков при внедрении новых технологий
ПК(У)-7	Способность оценивать эффективность новых технологий и внедрять их в производство
<b>Профессиональные компетенции университета</b>	
ДПК(У)-1	Готовность к разработке учебно-методической документации для реализации образовательных программ

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

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки (специальность) 18.04.01 «Химическая технология»  
НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Казьмина О.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ02	Перминова Ирина Алексеевна

Тема работы:

Получение коллективного концентрата редкоземельных металлов из монацита

Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.01.2022, № 18-60/с
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<p>Проектирование производства по переработке монацитового концентрата количеством более 82 тыс. т, находящегося в городе Красноуфимск Свердловской области.</p> <p>Состав и свойства монацитового концентрата принять согласно справочникам и открытым данным. В ходе работе учитывать опыт осуществленных на данный момент попыток переработки данного техногенного образования и существующие методы переработки.</p> <p>Особенность монацита – радиоактивность в связи с содержанием тория и урана.</p>

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат; Введение; 1. Обзор литературы; 2. Выбор технологии переработки монацита с получением концентрата РЗМ; 3. Технологический расчет; 4. Подбор оборудования; 5. Результаты разработки; 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7. Социальная ответственность; Выводы; Список использованных источников.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (А2); Лист 2 – Реактор. Вид общий (А3); Лист 3 – Экономические показатели (А1);</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Потехина Нина Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич Ольга Алексеевна</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>30.01.2022</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Тихонов В.В.</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>4ГМ02</p>	<p>Перминова И.А.</p>		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 9 рис., 37 табл., 59 источников, 4 прил.

Ключевые слова: монацит, редкоземельные металлы (РЗМ, РЗЭ), тринатрийфосфат (ТНФ), щелочное выщелачивание, переработка вторичного сырья.

Объектом исследования является технология получения коллективного концентрата редкоземельных металлов из монацита.

Цель работы – разработка технологии переработки монацита на основе анализа существующих методов и выбора оптимальной схемы по критериям экономичности, экологичности, чистоты и линейки получаемых продуктов.

В процессе исследования проводились:

- 1) обзор литературных источников по соответствующей тематике;
- 2) анализ существующих методов переработки монацита и выбор метода переработки;
- 3) проектирование технологии переработки монацита с получением концентрата редкоземельных металлов;
- 4) подбор оборудования для реализации процессов.

В результате исследования разработана технология переработки монацита с получением концентрата редкоземельных металлов, надежность технологии подтверждена расчетами, также доказаны экономическая целесообразность разработки.

Согласно расчету материального баланса из каждой тонны Красноуфимского монацитового концентрата получается 553 кг гидроксидов редкоземельных металлов, 40 кг гидроксида тория и 591 кг тринатрифосфата.

Степень внедрения: стадия П.

Область применения: промышленная химическая технология.

Экономическая эффективность работы определяется снижением стоимости транспортировки, уменьшением количества единиц оборудования в технологической схеме, снижением рабочих параметров процесса, возможностью регенерации непрореагировавших реагентов.

В будущем планируется промышленная реализация проекта при поддержке и финансировании ГК «Росатом» с целью переработки техногенного месторождения «УралМонацит».

## Оглавление

Определения .....	9
Обозначения и сокращения .....	10
Введение .....	11
1 Обзор литературы .....	13
2 Анализ способов переработки монацита.....	17
3 Расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность проектируемой технологии .....	25
3.1 Описание разрабатываемой технологии.....	25
3.2 Термодинамический расчет .....	27
3.3 Расчет материального баланса .....	29
4 Подбор аппаратов .....	41
4.1 Реактор выщелачивания.....	41
4.2 Выпарной кристаллизатор .....	45
4.3 Осадитель РЗМ в форме гидроксидов .....	46
4.4 Выбор типа насосов.....	47
5 Результаты разработки .....	48
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	50
6.1 Предпроектный анализ.....	50
6.1.1 Потенциальные потребители .....	50
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	50
6.1.3 SWOT-анализ .....	52
6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	54
6.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	55
6.2 Инициация проекта.....	56
6.2.1 Цели и результат проекта.....	56
6.2.2 Организационная структура проекта .....	57
6.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	58
6.3.1 План проекта .....	58
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	59
6.3.3 Разработка графика проведения исследования.....	60
6.4 Бюджет научного исследования.....	63

6.4.1	Расчет материальных затрат исследования .....	63
6.4.2	Основная заработная плата исполнителей проекта .....	63
6.4.3	Дополнительная заработная плата исполнителей проекта .....	65
6.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	65
6.4.5	Затраты на специальное оборудование .....	65
6.4.6	Накладные расходы .....	66
6.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	66
6.4.8	Реестр рисков проекта .....	66
6.5	Определение социальной и экономической эффективности исследования .....	67
7	Социальная ответственность .....	2
7.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	2
7.2	Производственная безопасность .....	70
7.3	Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	71
7.3.1	Повышенный уровень шума .....	71
7.3.2	Недостаток естественного освещения .....	72
7.3.3	Отклонения показателей микроклимата .....	75
7.3.4	Наличие электромагнитных полей промышленных частот .....	76
7.3.5	Вещества, непосредственно действующие на организм работающего .....	77
7.3.6	Радиоактивное загрязнение (выше природного фона) .....	78
7.3.7	Высокие температуры материальных объектов производственной среды .....	78
7.3.8	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий .....	79
7.4	Экологическая безопасность .....	79
7.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	81
	Заключение .....	81
	Заключение .....	83
	Список публикаций .....	84
	Название .....	84
	Список используемых источников .....	85
	Приложение II .....	91



## Определения

В данной работе приведены следующие термины с соответствующими определениями:

**монацит:** минерал, представляющий собой безводную смесь фосфатов редкоземельных металлов и тория, отвечающий формуле  $(Ce, La, Nd, Th)PO_4$ . Радиоактивен.

**редкоземельные металлы:** (лантаноиды), представлены группой из 15 весьма близких по свойствам элементов (№ 57–71 в системе Д. И. Менделеева).

**радиоактивность:** способность нестабильных ядер превращаться в другие ядра с испусканием различных частиц (- альфа-, бета-, гамма - лучи).

**естественная радиоактивность:** самопроизвольный распад нестабильных ядер

**выщелачивание:** избирательное извлечение одного или нескольких составляющих твердого материала (руд, концентратов, техногенного сырья и др.) с помощью жидкого, часто водного, реагента.

**обогащение:** физическая и/или химическая обработка рудного сырья с целью снижения содержания в нем примесей и увеличения содержания основного компонента.

**мембранная эмульсионная экстракция:** метод разделения растворенных веществ в системах с двойной эмульсией. Эмульсионные жидкие мембраны имеют более высокую транспортную эффективность за счет устранения равновесного ограничения обычной жидкостно-жидкостной экстракции.

## Обозначения и сокращения

$C_p$  – мольная теплоемкость;

$G_T$  – значение энергии Гиббса данного вещества при температуре  $T$ ;

$H_T$  – значение энтальпии данного вещества при температуре  $T$ ;

$\sum H_{\phi}$  – энтальпия фазовых переходов;

$T$  – температура;

$S_T$  – значение энтропии данного вещества при температуре  $T$ ;

$s_i$  – стехиометрические коэффициенты;

$\rho_i$  – плотность  $i$ -того компонента;

РЗМ (РЗЭ) – редкоземельные металлы (редкоземельные элементы);

ТНФ – ортофосфат натрия, тринатрийфосфат,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ;

др. – другое;

т. д. – так далее;

т. е. – то есть.

## Введение

Монацит является основным промышленным источником редкоземельных металлов и тория и наиболее распространенным его минералом. Это фосфат редкоземельных элементов цериевой группы, часть из которых замещена торием:  $(Ce, La, Nd, Th)PO_4$ . Содержит чаще всего от 2,5 до 12 %  $ThO_2$  и 0,1–0,4 (до 1) %  $UO_2$ . Содержание РЗЭ $_2O_3$  в среднем составляет 55-68 % и иногда достигает 74 %, а  $P_2O_5$  – 18-31,5 %, U и его подгруппы – 3-5 (иногда до 8) %. В монаците в незначительных количествах присутствуют  $SiO_2$ , CaO,  $SO_4^{2-}$ , Fe, Zr, Al, Mg, Mn, Be, Sn и другие элементы, в т. ч. радиогенный свинец [1].

Твердость монацита составляет 5-5,5 по шкале Мооса, плотность – 4,9-5,5 г/см<sup>3</sup>. Цвет от светло-желтого до красно-бурого, блеск жирный (смолистый). Минерал умеренно парамагнитен, не проводит электрический ток. Эти его свойства используются при обогащении монацитовых руд. Промышленная добыча монацита осуществляется главным образом из россыпей. Минимальное промышленное содержание монацита в россыпях составляет около 1 % [2].

В настоящее время монацит в России не перерабатывают.

Проблема монацитового концентрата стоит давно, более 20 лет. Этим отходам, но по сути своей концентрату редкоземельных металлов (РЗМ), присущи не только общие проблемы отходов – занимаемые площади, физическое/химическое загрязнение окружающей среды, – они радиоактивны.

На сегодня запасы концентрата составляют более 82 тыс. т и находятся в 12 км от города Красноуфимск Свердловской области вблизи железнодорожной станции Зюрья (пос. Зюрья). Концентрат также интересен по происхождению – монацит закупался по всему миру: из России, Северной Кореи, Индии, ЮАР, Мадагаскара и др. Из него извлекался уран, остальное складировалось с 1956 года, сначала в крафт-мешках и деревянных ящиках, потом в металлических коробах, на сегодняшний день заполнены 23 склада [3].

В красноуфимском концентрате содержится до 54 процентов редких земель (рисунок 1). Гранулометрический состав исходного монацита 90-1000 мкм [3].

Концентрат получают в результате механического (гравитационные методы) обогащения, магнитной сепарации и, иногда флотационного метода. При этом отделяется пустая слабомагнитная порода: цирконовый, рутиловый и кварцевый концентраты плотностью 4700, 4200 и 2700 кг/м<sup>3</sup> соответственно, а также магнитные ильменитовый и монацитовый концентраты [4].

Таблица 1 – Приблизительный химический состав красноуфимского монацитового концентрата

Компонент	Содержание, мас. %
Сумма редкоземельных оксидов $\text{Ln}_2\text{O}_3$	54,0
Оксид фосфора $\text{P}_2\text{O}_5$	22,2
Оксид тория $\text{ThO}_2$	5,4
Оксид железа $\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,6
Оксид алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3$	2,8
Оксид кремния $\text{SiO}_2$	4,0
Оксид титана $\text{TiO}_2$	2,2
Оксид кальция $\text{CaO}$	1,4
Оксид магния $\text{MgO}$	1,2
Оксид циркония $\text{ZrO}_2$	3,0
Оксид урана $\text{U}_3\text{O}_8$	0,2

Потребность в РЗМ высока и постоянно растет, а их добыча и обогащение – сложный затратный процесс. Как правило, редкие металлы используются в высокотехнологичном производстве. Без них невозможно существование ряда важных отраслей техники (производства электроники, легированных сталей, твердых и жаропрочных сплавов, изготовления электронных приборов, атомной энергетики и многих других).

Монацитовый концентрат – отход, настолько дешевый, что продать его стоит столько же, сколько перетарить. В то время как РЗМ достаточно дорогие, некоторые по стоимости сопоставимы с драгоценными металлами. Очевидно, что разработка технологии разделения концентрата принесет немалую выгоду.

Разрабатываемая технология должна снизить затраты на перевозку сырья, уменьшить количество аппаратов для осуществления процесса, снизить рабочие параметры используемых сред. Также предлагается эффективный способ выделения отдельных элементов из получаемого концентрата РЗМ – мембранная эмульсионная экстракция.

# 1 Обзор литературы

Монацит – сложная многокомпонентная система, состоящая из смеси редкоземельных металлов и тория, что накладывает определенные требования на все этапы обращения монацита. Кроме того, красноуфимский монацитовый концентрат содержит различные примеси, связанные со степенью обогащения, отличающейся от идеальной, а также обусловленные различными источниками поступления исходного монацита: рабдофанит-(Ce), анатаз, рутил, ильменит, ильменорутит, ферроколумбит, ксенотим, циркон, фергусонит-(Y), самарскит-(Y), хаттонит, торит, торогуммит, «фосфоторит», «фосфоторогуммит», брабантит, микролит, алланит-(Ce), альмандин, гроссуляр, титанит, магнетит, гематит (мартит), лимонит, хромит, шерл, фторапатит, кварц, полевой шпат, биотит, мусковит, топаз, флюорит, пироксен, ставролит, кордиерит, тремолит, эпидот, клинохлор, иллит, барит. Минералогический состав монацитового концентрата представлен в работе С.А. Репиной «Минералогия монацитовых концентратов ОГУ «Уралмонацит» [5].

Монацит добывается из россыпей, в концентрате он присутствует в виде отдельных зерен, т.е. концентрат не нуждается дополнительно во вскрытии породы для извлечения монацита из общего объема кусков. Соответственно, в данном случае, стадия измельчения монацита не является обязательной и будет влиять только на увеличение удельной поверхности материала и скорости протекания процесса. В связи с этим встает вопрос о технико-экономической целесообразности проведения подобной предварительной подготовки материала.

Редкоземельные элементы схожи по свойствам, это связано со строением электронных оболочек. У лантаноидов, начиная с церия происходит заполнение электронами не высших оболочек, а внутреннего 4f-уровня. Электроны двух внешних оболочек экранируют их, таким образом ослабляя различие химических свойств. Что касается химических свойств, РЗМ – сильные окислители и окисляются кислородом воздуха при обычной температуре, а значит, в получаемом концентрате РЗМ будут присутствовать в виде соединений, например, в виде оксидов. Благодаря высокой основности РЗМ выпадают в осадок в виде гидроксидов при  $pH = 6,18-8,70$ , что можно использовать для выделения их в виде коллективного концентрата из раствора после выщелачивания. Карбонаты, фториды, фосфаты и оксалаты РЗЭ – труднорастворимые соединения. Многочarged ионы РЗМ оказывают поляризующее действие и могут образовывать комплексы с органическими и неорганическими адендами, что удобно

Подп. и дата									
Взам. инв. №									
Инв. № дубл.									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
						ФЮРА. 211139.001 ПЗ			
	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
	Студент		Перминова И.А.				Лит	Лист	Листов
	Руковод.		Тихонов В.В.				Д	13	105
	Конс.					Обоснование технических решений НИ ТПУ ИШНПТ группа 4ГМ02			
	Н. контр.								
	Рук. ООП.		Казьмина О.В..						



«Уралмонацит», ОАО «Уралредмет» и ОАО «ЧМЗ», СФ НИКИЭТ, входящих в состав ГК «Росатом». Однако, предприятие не было реализовано в связи со следующими трудностями, излагаемыми в официальном отчете [13]:

- отсутствие необходимого оборудования;
- неодинаковый гранулометрический состав исходного монацита (90-1000 мкм);
- сложность установления необходимого режима работы оборудования;
- превышение мощности дозы гамма-излучения на рабочих местах в 1,2-9,2 раза по сравнению с допускаемыми в НРБ-99;
- некорректный экономический расчет: некорректная стоимость реагентов, не учитывалась стоимость побочных продуктов (ТНФ).

Немало также было проведено научных работ, документированных как патенты. Большинство из них основано на уже существующих схемах с внесением в них некоторых усовершенствований, снижающих недостатки названных технологий.

Наиболее близок к проектируемой технологии способ, изложенный А.В. Вальковым, С.И. Степановым, В.В. Сергиевским и А.М. Чекмаревым в патенте RU 2 323 989 С2 [14]. Способ отличается от классического использованием не натриевой щелочи, а калиевой с получением в качестве побочного продукта трикалийфосфата, концентрат РЗЭ получают в виде карбонатов. Авторы утверждают, что такие изменения значительно упростят процесс, хотя количество стадий в целом не меняется.

В патенте RU 2 620 229 С1 авторов В.В. Шагалова, Н.Б. Егорова и В.И. Соболева приводится метод вскрытия монацитового концентрата с рециклингом вскрывающего агента, в качестве которого в данном случае используется фосфорная кислота. Метод требует высоких температур ~300 до 550 °С, а также, судя по представленным в примерах использования технологии навескам, процесс проводился только в лабораторных условиях [15].

На наш взгляд, наиболее перспективный и интересный способ предлагают авторы А.В. Чуб, Д.В. Дробот, С.Л. Криворучко, Е.Г. Мельникова в патенте RU 2 092 602 С1 предложили способ вскрытия монацита с применением спекания в режиме высокотемпературного самораспространяющегося синтеза (СВС) с углем (коксом) и нитратом щелочного металла по реакции [16]:



Преимуществами такого способа являются недорогие реагенты и практически отсутствие энергетических затрат, так как представленная реакция протекает с большим тепловыделением: >135 кДж/моль при 900 °С, тепло необходимо только для «поджигания» смеси (инициирования реакции). Газообразные продукты удаляются из объема материала, а фосфат щелочного металла удаляется водой.

Инд. № подл.	
Подп. и дата	
Инд. № дидл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						15

Существуют некоторые сложности в контролировании и автоматизации данной технологии в условиях производства. Кроме того, для очистки РЗМ от других примесей несколько увеличивается количество последующих операций, в том числе встает необходимость измельчения полученного спека.

Таким образом, несмотря на разнообразие способов выделения РЗМ из монацита, ни один в России не получил промышленного применения. Это объясняется экономическими затратами на изготовление и эксплуатацию производства, а также сложностью масштабирования – показатели, полученные в лабораторных условиях, часто не совпадают с полученными на масштабном действующем производстве и даже полупромышленных установках.

Целью работы в данном случае является выбор схемы переработки монацита и разработка технологии, позволяющей снизить строительные и эксплуатационные затраты. Разработка технологии должна проводиться изначально под масштабы производства с использованием общих закономерностей и существующих средств моделирования процессов.

Инв. № подл	Подп. и дата				Лист 16
	Взам. инв. №				
	Инв. № дидл.				
	Подп. и дата				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ



## 2 Анализ способов переработки монацита

Способов переработки монацитового концентрата на данный момент существует множество, все они имеют определенные достоинства и недостатки. К общим недостаткам существующих методов можно отнести высокую стоимость проведения процесса, приобретаемого оборудования и транспортировки, а также негативное воздействие на экологию, выражающееся в возможных выбросах, количестве и характере получаемых отходов. Были исследованы характеристики основных способов переработки монацитового концентрата с получением коллективного концентрата РЗМ и других продуктов [1]. Подробно сравнение и выбор схемы переработки монацитового концентрата рассматривался автором диссертации в работе «Переработка монацитового концентрата» [17].

Таблица 2 – Характеристики способов переработки монацита

Параметр процесса	Способ переработки монацитового концентрата		
	Серноокислотный	Щелочной	Хлорирование
Температура, °C	180-210	140-150	700-800
Размер частиц монацита, мм	0,1	0,043	брикеты
Концентрация реагента, %	93	45-50	газ
Расход реагента, т/т концентрата	1,5-2,5	1,5	избыток газа 30 %
Время вскрытия	2-4 ч	3-4 ч	-

*Серноокислотный способ* основан на вскрытии монацита концентрированной (93 %) серной кислотой, в результате чего торий и РЗЭ переходят в раствор в виде сульфатов. В качестве продуктов при этом получают концентрат РЗМ, а также ториевый и урановый концентрат (до 50 % ториевого концентрата составляют РЗМ). Также выделяются побочные продукты: пары SO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrSiO<sub>4</sub> и радиоактивный газ торон, <sup>228</sup>Ra, который необходимо улавливать. При этом на каждой стадии процесса продукты попадают в другие фракции, теряются, а фракции требуют дополнительной очистки. На последней стадии сульфаты переводят в гидроксиды для дальнейшей переработки РЗМ. Некоторые схемы извлечения РЗМ из монацита серноокислотным способом представлены на рисунке 1 [18].

*Щелочной способ* позволяет получать гидроксиды, используя меньше стадий, при этом продукты получаются более чистыми. Монацит вскрывается гидроксидом натрия, затем РЗМ переводятся в водорастворимую форму взаимодействием с соляной кислотой, хлориды из раствора поэтапно осаждаются щелочью в виде гидроксидов РЗМ и тория. Основные продукты – концентрат редкоземельных металлов и ториевый концентрат, в качестве побочного

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дидл. Взам. инв. №. Подп. и дата. Инв. № подл.

продукта образуется товарный тринатрийфосфат (ТНФ) и силикат натрия. Щелочь регенерируется при отделении ТНФ и возвращается в цикл.

*Хлорирование* проводится нагретым до 700-800 °С газообразным хлором, при этом необходимо проведение подготовительных операций, при которых исходное сырье смешивается с древесным углем, брикетуется, коксуется и др. Как и в прошлом случае, продукты выделяются в виде хлоридов, но хлориды находятся в твердой фазе. Процесс протекает при высоких температурах в агрессивной среде хлора, что предъявляет высокие требования к оборудованию. При высоком расходе хлора возможна его регенерация, например, конденсацией.

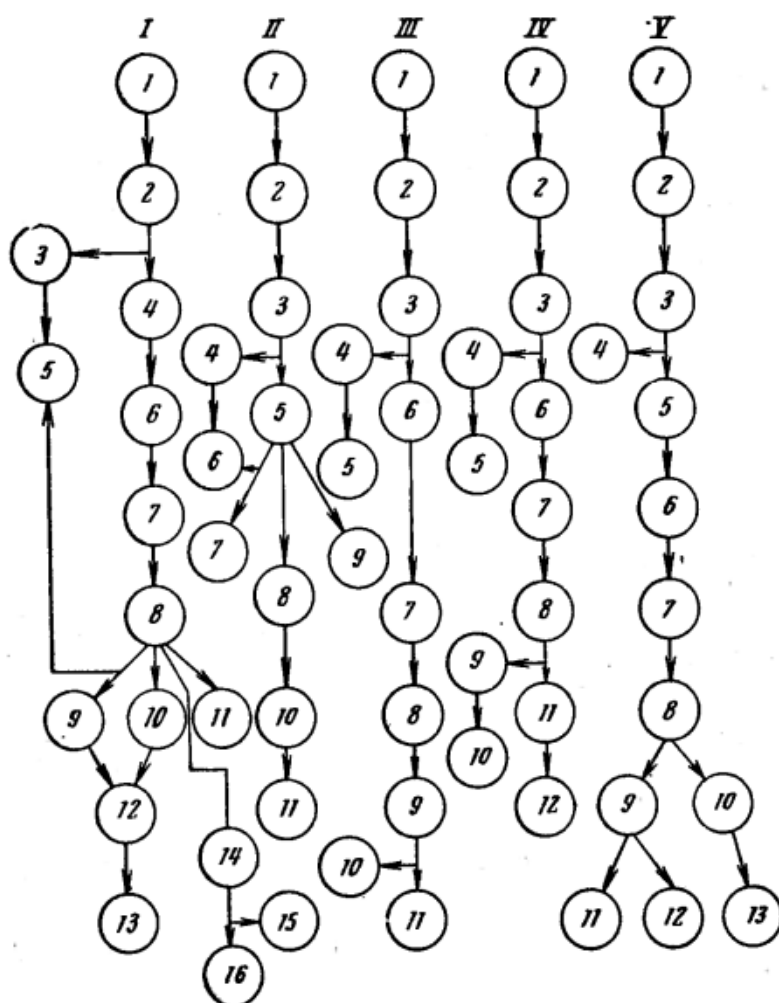


Рисунок 1 – Различные схемы извлечения РЗЭ и ториевого концентрата из монацита при сернокислотном вскрытии:

I – схема I:

1 – сернокислотное вскрытие монацита; 2 – ограниченное разбавление и фильтрация; 3 – извлечение тория, урана и РЗЭ; 4 – кристаллы сульфатов РЗЭ; 5 – извлечение РЗЭ; 6 – раствор сульфатов РЗЭ; 7 – отделение тория по основности; 8 – раствор сульфатов РЗЭ; 9 – двойные сульфаты РЗЭ; 10 – фториды РЗЭ; 11 – гидроокиси РЗЭ; 12 – обработка щелочью; 13 – гидроокиси РЗЭ; 14 – кипячение; 15 – извлечение РЗЭ; 16 – сульфаты РЗЭ.

II – схема II:

1 – сернокислотное вскрытие монацита; 2 – разбавление и фильтрация; 3 – осаждение торцевого пирофосфата или основных солей; 4 – извлечение тория и РЗЭ; 5 – раствор сульфатов РЗЭ; 6 – извлечение

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

РЗЭ; 7 – двойные сульфаты натрия и РЗЭ; 8 – фториды РЗЭ; 9 – гидроокиси РЗЭ; 10 – обработка щелочью; 11 – гидроокиси РЗЭ.

III – схема III:

1 – сернокислотное вскрытие монацита; 2 – разбавление и фильтрация; 3 – осаждение двойных натриевых сульфатов; 4 – извлечение тория, урана и РЗЭ; 5 – извлечение РЗЭ; 6 – двойные сульфаты натрия и РЗЭ; 7 – обработка щелочью; 8 – гидроокиси РЗЭ; 9 – растворение и отделение тория и РЗЭ; 10 – извлечение тория; 11 – соли РЗЭ.

IV – схема IV:

1 – сернокислотное вскрытие монацита; 2 – разбавление и фильтрация; 3 – разбавление и нейтрализация до pH = 1; 4 – основные соли тория; 5 – извлечение РЗЭ; 6 – растворы сульфатов РЗЭ; 7 – разделение по основности (pH ≈ 2-3); 8 – основные соли РЗЭ; 9 – извлечение урана; 10 – извлечение РЗЭ; 11 – обработка щелочью; 12 – гидроокиси РЗЭ.

V – схема V:

1 – сернокислотное вскрытие монацита; 2 – разбавление и фильтрация; 3 – разбавление и нейтрализация, осаждение оксалатов; 4 – извлечение урана; 5 – оксалаты тория и РЗЭ; 6 – обработка щелочью; 7 – обжиг и растворение в HNO<sub>3</sub>; 9 – жидкостная экстракция с ТБФ; 9 – экстракт торий + церий; 10 – рафинат РЗЭ; 11 – соли тория; 12 – соли церия.; 13 – соли РЗЭ.

Щелочной способ также имеет несколько вариантов реализации и позволяет осуществить процесс при несколько меньшем количестве стадий. На рисунке 2 представлена соответствующая схема [18].

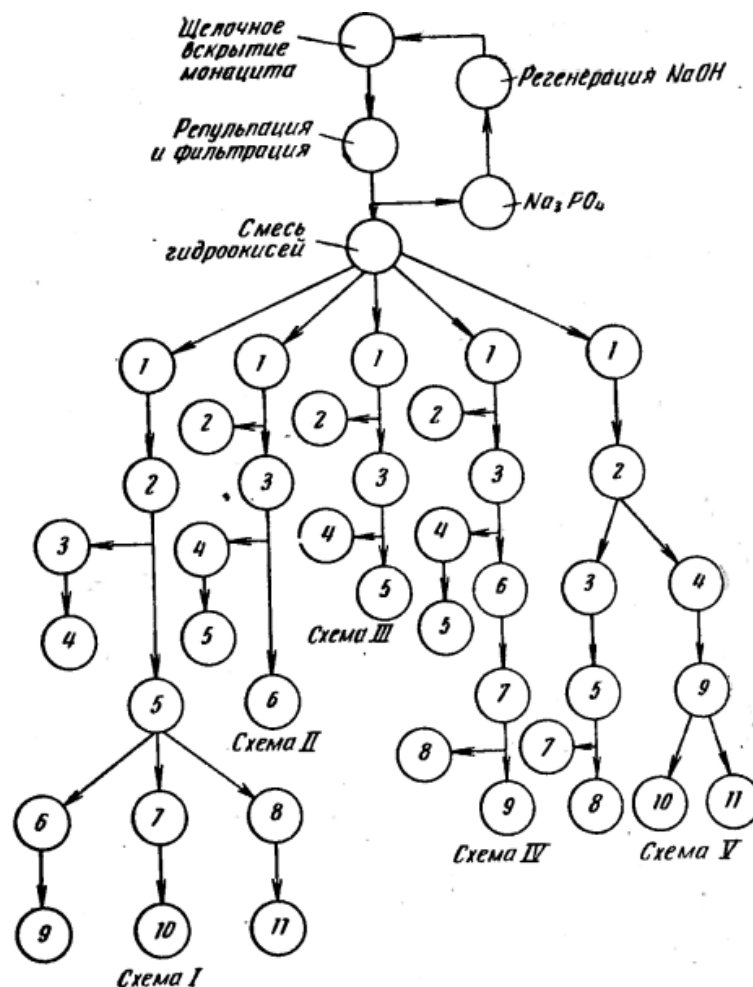


Рисунок 2 – Схемы извлечения РЗЭ и ториевого концентрата из монацита при щелочном вскрытии:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

I – схема I:

1 – выщелачивание в соляной кислоте; 2 – нейтрализация и фильтрация; 3 – извлечение тория, урана и РЗЭ; 4 – извлечение РЗЭ; 5 – раствор хлоридов РЗЭ; 6 – выпаривание; 7 – обработка щелочью; 8 – карбонатное осаждение; 9 – плав хлоридов РЗЭ; 10 – гидроокиси РЗЭ; 11 – карбонаты РЗЭ.

II – схема II:

1 – растворение в соляной кислоте и фильтрация; 2 – твердый остаток; 3 – нейтрализация и фильтрация; 4 – извлечение тория, урана и РЗЭ; 5 – извлечение РЗЭ; 6 – раствор хлоридов РЗЭ.

III – схема III:

1 – растворение в азотной кислоте и фильтрация; 2 – твердый остаток; 3 – экстракционное извлечение тория и урана; 4 – извлечение тория и урана; 5 – раствор нитратов РЗЭ.

IV – схема IV:

1 – растворение в серной кислоте и фильтрация; 2 – твердый остаток; 3 – нейтрализация и фильтрация; 4 – извлечение тория, урана и РЗЭ; 5 – извлечение РЗЭ; 6 – раствор сульфатов РЗЭ; 7 – осаждение двойных сульфатов РЗЭ и натрия; 8 – извлечение РЗЭ; 9 – двойные сульфаты РЗЭ и натрия.

V – схема V:

1 – окисление церия; 2 – выщелачивание  $\text{HCl}$ ; 3 – неочищенные церий и торий; 4 – хлориды РЗЭ без церия и тория; 5 – восстановление при растворении; 6 – отделение тория по основности; 7 – неочищенный торий; 8 – неочищенный церий; 9 – фракционирование по основности; 10 – основные соли РЗЭ; 11 – неочищенный лантан.

Наиболее часто используемая схема, которая была взята за основу при разработке технологии переработки монацита в ходе настоящей работы, приведена на рисунке 3 [1]. Данный способ, на наш взгляд, является наиболее оптимальным из возможных вариантов щелочного вскрытия, так как требует сравнительно немного стадий и позволяет получить продукт высокой чистоты.

Представленные методы отличаются используемыми реагентами, что определяет характер получаемых соединений РЗМ. Это важно для осуществления последующих стадий разделения РЗМ на отдельные товарные продукты: экстракция трибутилфосфатом наиболее эффективна в азотнокислой среде, для транспортировки к месту выделения чистых компонентов удобнее использовать сухие оксиды и т.д. Некоторые методы позволяют выделить отдельные компоненты ещё на стадии осаждения, например, ториевый концентрат, неочищенные лантан, церий и др. Также на выбор метода переработки влияет состав исходного сырья, так как монацитовый концентрат разных месторождений значительно отличается по составу сопутствующих минералов, которые могут влиять на селективность извлечения, увеличивать расход дорогостоящих реагентов, снижать их эффективность.

Для извлечения редкоземельных концентратов (отделение от редкоземельной составляющей руды) в основном применяются следующие технологические приемы: разделение по основности, осаждение в виде сульфидов, сульфатов, двойных сульфатов, оксалатов, карбонатов или гидроксидов. Выделение отдельных элементов проводится экстракцией, процессами ионного обмена (после удаления церия и лантана другими методами), также используются методы, основанные на кристаллизации, осаждении и изменении валентности [18]. Самой большой проблемой в настоящее время является экономическая сторона проводимых процессов.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						20

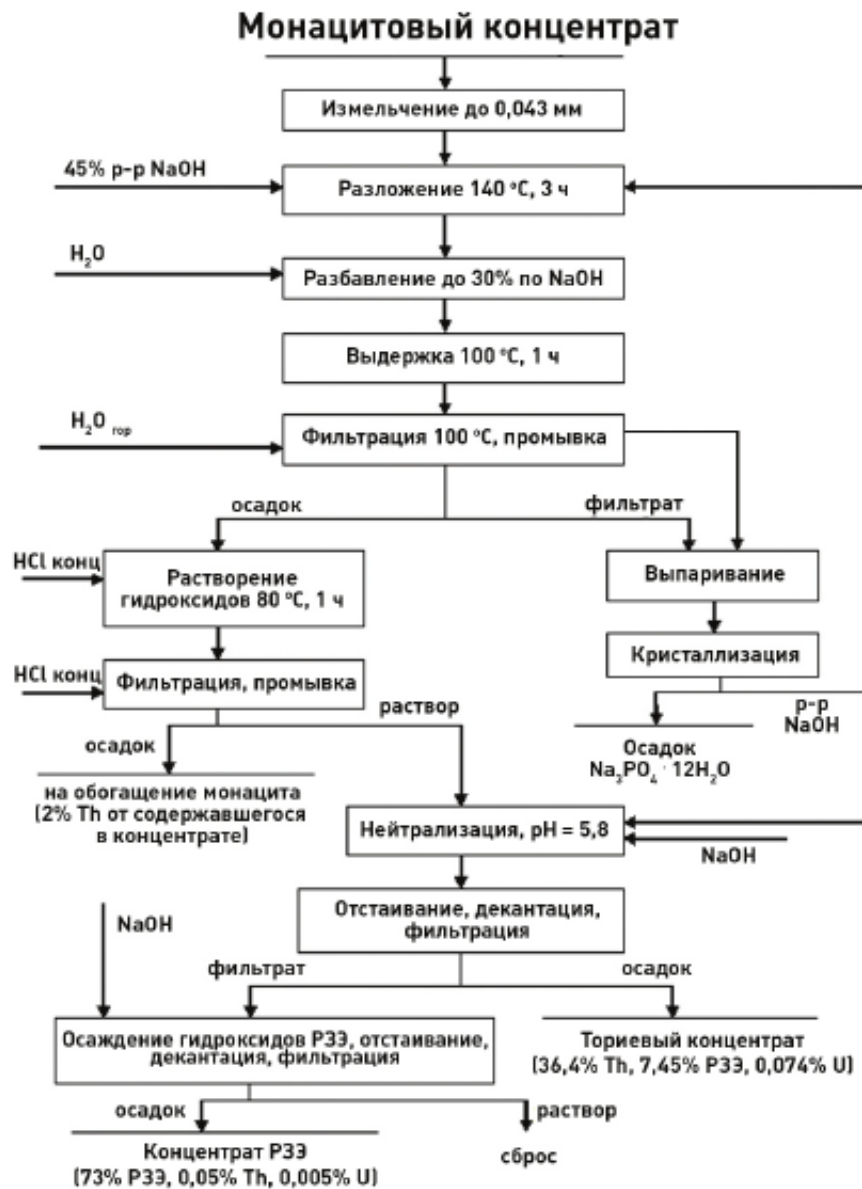


Рисунок 3 – Схема извлечения P3Э и ториевого концентрата из монацита щелочным способом

Попытка создания комплекса по переработке монацитового концентрата была предпринята группой предприятий, выбравших щелочной метод. На основании отчета по результатам опытно-промышленного вскрытия [13] можно сделать следующие выводы:

- щелочной метод по сравнению с содовым спеканием позволяет проводить вскрытие монацита более полно (не менее 99 %);
- исследователи указывают на необходимость измельчения сырья с 90-1000 мкм (начальная крупность) до 2-4 мкм для интенсификации процесса;
- щелочной метод схож с гидрохимическим способом Байера, что позволяет перерабатывать монацит, немного модернизировав линию, либо, наоборот, после решения монацитовой проблемы переоборудовать линию под производство глинозема;

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

– комплексная переработка монацита с получением побочных товарных продуктов значительно повышает экономическую привлекательность процесса.

Хлорирование предъявляет высокие требования к оборудованию, его коррозионной и теплостойкости, а также предполагает несколько этапов подготовки сырья, что, несомненно, отражается на экономике процесса. Серноокислотный способ более распространен, т.к. много лет применяется в различных отраслях и стоимость серной кислоты ниже по сравнению с альтернативными реагентами. Способ универсальный и позволяет перерабатывать даже бедные концентраты, но стадий по сравнению с щелочным требуется значительно больше, а продукты получаются менее чистыми. При обработке щелочью образуется меньше отходов, снижается нагрузка на экологию, как уже говорилось, продукты разделяются наиболее полно и стадий для этого требуется меньше; к недостаткам можно отнести высокую стоимость щелочи, что, впрочем, решается её регенерацией и возвращением в цикл.

При циркуляции раствора на стадии выщелачивания можно добиться интенсификации и снижения температуры процесса, чему способствует разрушение гидратных оболочек на поверхности частиц монацита.

Щелочное спекание. Существует способы вскрытия монацита, использующий его спекание с гидроксидом натрия. Спекание проводится при высоких температурах, порядка 400-500 °С, что негативно сказывается в последующем на стадии растворения гидроксидов. После проведения плав обрабатывают водой для перевода фосфора в раствор, оставшееся растворяют в минеральных кислотах и поэтапно осаждают РЗМ и торий. В этом случае также можно выделить товарный ТНФ кристаллизацией из водного раствора. При использовании для спекания менее реакционной кальцинированной соды требуется температура 900 °С. Использование высоких температур и работа с твердофазными реакциями требует использования специфического оборудования, коррозионностойкого, прочного и теплостойкого и, возможно, использования внутренних перемешивающих устройств типа определенной конструкции шнеков или вращающихся барабанных реакторов. Также необходимо обеспечить равномерный нагрев по объему аппарата и устройства для отведения образующихся в ходе процесса газов, в том числе радиоактивного торона [19].

Вскрытие монацита в промышленных масштабах осуществляется практически всегда серноокислотным или щелочным способом. Дальнейшие стадии растворения РЗМ имеют множество вариаций, отличающихся реагентами, получаемыми соединениями и условиями проведения процесса. Рассмотрим некоторые возможные варианты.

Иногда растворение проводят серной кислотой, как сравнительно недорогим и недефицитным реагентом, однако расход ее превышает стехиометрический в 2-3 раза вследствие малой растворимости в ней этих соединений [20].

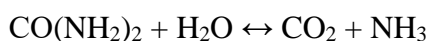
Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.211139.001 ПЗ

Азотная кислота, хотя и является наилучшей средой для разделения РЗМ экстракцией с использованием трибутилфосфата (ТБФ), не подходит для достаточно полного растворения гидроксидов.

Для ступенчатого осаждения РЗМ и тория из сернокислых растворов используют нейтрализацию аммиаком, торий при этом выделяется в виде гидратированного дифосфата  $\text{ThP}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а РЗМ – в виде гидрофосфатов и двойных сульфатов с аммонием  $\text{Ln}_2(\text{HPO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  и двойных сульфатов с аммонием  $\text{NH}_4\text{Ln}(\text{SO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . При этом, для равномерного насыщения раствора и жесткого контроля рН есть возможность использовать метод «гомогенного» осаждения, идеального для этих целей – аммиак образуется при реакции гидролиза мочевины, реакция протекает при температуре 100 °С [12]:



Далее полученные соединения обрабатываются щелочью и, затем, растворяются в азотной кислоте для проведения экстракции. К плюсам можно отнести возможность равномерного насыщения раствора при нейтрализации, к недостаткам – получение промежуточных соединений, которые потом все равно нужно приводить к форме нитратов с использованием достаточно недешевого реагента – гидроксида натрия.

Известен вариант, где гидроксиды растворяются в автоклавах смесью карбоната и бикарбоната аммония. После этого через раствор пропускается пар под давлением с температурой выше 120 °С. В результате в осадок выпадают карбонат тория и диуранат аммония, растворимые затем в азотной кислоте и поступающие на разделительную экстракцию. Выделяющийся аммиак регенерируется в башне карбонизации. Метод хорош для выделения урана и тория, используются сравнительно недорогие реагенты, однако не решается вопрос получения концентрата РЗМ [20].

Соляная кислота хорошо растворяет гидроксиды при сравнительно невысокой температуре (при 80°С полное растворение гидроксидов РЗМ и тория происходит за один час). При этом кварц, рутил, ильменит, циркон и другие примеси не растворяются в соляной кислоте, позволяя получить достаточно чистый раствор. Растворяются в ней железо, титан и фосфор, поэтому важно избавиться от них на предыдущей стадии. Нейтрализацией солянокислого раствора можно выделить РЗМ в виде осадка гидроксидов и привести к виду, удобному для транспортировки. Растворение в соляной кислоте проводят поэтапно, выделяя сначала РЗМ при рН = 3,5, затем торий при рН = 4,2-4,7, получая продуктовые концентраты. Данный способ чаще всего используют в промышленности.

При выборе метода разделения монацитового концентрата по фракциям также стоит обратить внимание на содержание РЗЭ и тория в концентрате. При высоком содержании РЗЭ и

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

						ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата			23

низком тория ряд методов неэффективен, так как требует многократной очистки для получения продукта необходимого качества [11].

На основании проведенного анализа, наиболее перспективным видится щелочной способ извлечения редкоземельных элементов с обработкой вскрытого щелочью монацита соляной кислотой и последующим осаждением в виде гидроксидов коллективного концентрата редкоземельных металлов и тория. С экономической точки зрения при проведении процесса извлечения концентрата редкоземельных металлов из монацита предпочтительнее сернокислотный метод. Однако, на этапе разделения РЗМ на отдельные, а также с учетом потерь при использовании сернокислотного метода, щелочной метод предпочтительнее и затраты на него полностью окупаются [18].

Затраты на использование щелочного метода значительно снижаются при переходе от периодического процесса в автоклавах, используемых в настоящее время, к непрерывному процессу, предлагаемому в рамках данной магистерской диссертации. Организация процесса подобным образом позволит избавиться от необходимости многократного избытка дорогостоящей щелочи, снизит накопление отходов и количество рециркулируемого раствора, позволит интенсифицировать процесс без использования мощных мешалок и высоких температур за счет циркуляции раствора, снизит возможность контакта оператора с вредными и опасными реагентами, так как автоматизировать непрерывный процесс проще.

Растворение гидроксидов РЗМ, образованных после вскрытия монацита щелочью удобно проводить соляной кислотой, так как появляется уже на ранней стадии возможность отделения РЗМ от тория и продолжение дальнейшей работы по разделению РЗМ на отдельные компоненты без радиоактивной составляющей и обусловленных ей дополнительных мер производственной безопасности.

Таким образом, сравнив достоинства и недостатки основных способов переработки монацита с получением концентрата РЗМ, для переработки красноуфимского монацита, содержащего около 50 % РЗМ, при разработке технологии было принято решение в качестве прототипа использовать щелочной способ с растворением образовавшихся гидроксидов в соляной кислоте.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дидл.	Взам. инв. №
Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Подп. и дата

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						24





Температура влияет на скорость реакции, чем в данном случае можно пренебречь, так как это не оказывает положительного влияния на экономику процесса. Нагрев до 80-100 °С необходим для предотвращения преждевременной кристаллизации фосфата натрия.

3) Плюсом щелочного метода является попутное получение товарного ТНФ на стадии регенерации щелочи. Процесс планируется проводить в выпарном кристаллизаторе (2) при 135-140 °С.

4) Образовавшийся после вскрытия осадок промывается, добавляется 10 %-ная соляная кислота для перевода гидроксидов РЗЭ в водорастворимую форму. При pH = 3,5 редкоземельные элементы переходят в раствор, в то время как весь торий остается в осадке.

5) Из осадка при его нейтрализации до pH = 4,2–4,7 выделяют ториевый концентрат, в котором соотношение  $\text{ThO}_2 : (\text{TR})_2\text{O}_3 = 10 : 1$ .

6) Для очистки и разделения концентрата РЗЭ рекомендуется использовать такой селективный метод как мембранная эмульсионная экстракция.

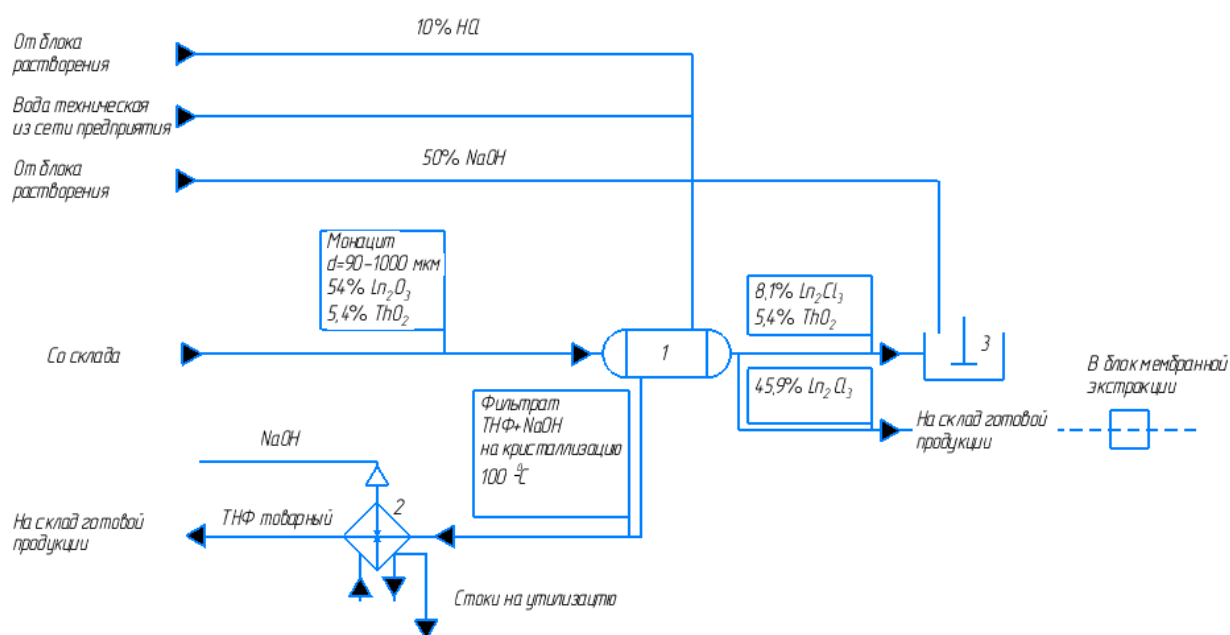


Рисунок 4 – Технологическая схема переработки монацитового концентрата:

1 – реактор выщелачивания/транспортная емкость; 2 – кристаллизатор выпарной; 3 – аппарат с мешалкой (осадитель)

Таким образом, на основании анализа литературных источников, текущей ситуации относительно монацитового концентрата, в том числе анализа попыток утилизации Красноуфимского монацитового концентрата различными предприятиями, была предложена технология переработки монацитового концентрата с получением коллективного концентрата

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

редкоземельных металлов, требующая минимальных строительных и эксплуатационных затрат, а также высокой чистоты получаемых продуктов.

### 3.2 Термодинамический расчет

В данном разделе приводится термодинамическое обоснование возможности протекания целевых реакций при предлагаемых параметрах, а также анализируется возможность протекания побочных реакций в ходе технологического процесса. В данном случае в литературных источниках доказано, что при растворении фосфатов РЗМ в щелочи образуются гидроксиды и тринатрийфосфат.

Произведен расчет термодинамических параметров реакций выщелачивания при взаимодействии монацита с гидроксидом натрия в программе HSC Chemistry 9. В результате анализа подтвердилась возможность протекания реакций при сниженных температурах (таблицы 3-5).

Расчет проводился по формулам (1-7):

1) Энтальпия:

$$H_T = H_{298} + \int_{298}^T C_p \cdot dT + \sum H_{\phi}, \quad (1)$$

где  $T$  – температура,  $H_{298}$  – значение энтальпии данного вещества в стандартных условиях;  $C_p$  – мольная теплоемкость;  $\sum H_{\phi}$  – энтальпия фазовых переходов.

Изменение энтальпии:

$$\Delta H_T = \sum s_i H_{i(\text{продуктов})} - \sum s_i H_{i(\text{исходных})}, \quad (2)$$

где  $s_i$  – стехиометрические коэффициенты.

2) Энтропия:

$$S_T = S_{298} + \int_{298}^T \frac{C_p}{T} \cdot dT + \frac{\sum H_{\phi}}{T}, \quad (3)$$

где  $S_{298}$  – значение энтропии данного вещества в стандартных условиях;  $\frac{\sum H_{\phi}}{T}$  – энтропия фазовых переходов.

Изменение энтропии:

$$\Delta S_T = \sum s_i S_{i(\text{продуктов})} - \sum s_i S_{i(\text{исходных})} \quad (4)$$

3) Энергия Гиббса:

$$G_T = H_T - T \cdot S_T \quad (5)$$

Изменение энергии Гиббса:

$$\Delta G_T = \sum s_i G_{i(\text{продуктов})} - \sum s_i G_{i(\text{исходных})} \quad (6)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
ФЮРА.211139.001 ПЗ					

Таблица 3 – Термодинамические параметры реакции выщелачивания  $\text{CePO}_4$  гидроксидом натрия

$\text{CePO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Ce}(\text{OH})_3 + \text{Na}_3\text{PO}_4$			
T, °C	$\Delta H$ , кДж	$\Delta S$ , Дж/К	$\Delta G$ , кДж
0	-123,126	1,116	-123,431
10	-124,378	-3,384	-123,419
20	-125,663	-7,846	-123,363
30	-126,974	-12,244	-123,263
40	-128,301	-16,549	-123,119
50	-129,653	-20,798	-122,932
60	-131,031	-24,998	-122,703
70	-132,437	-29,156	-122,432
80	-133,872	-33,279	-122,120
90	-135,338	-37,372	-121,767
100	-136,836	-41,439	-121,373

Таблица 4 – Термодинамические параметры реакции выщелачивания  $\text{LaPO}_4$  гидроксидом натрия

$\text{LaPO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{La}(\text{OH})_3 + \text{Na}_3\text{PO}_4$			
T, °C	$\Delta H$ , кДж	$\Delta S$ , Дж/К	$\Delta G$ , кДж
0	-81,828	-9,309	-79,285
10	-81,883	-9,507	-79,191
20	-81,957	-9,762	-79,095
30	-82,045	-10,058	-78,996
40	-82,139	-10,364	-78,894
50	-82,241	-10,685	-78,788
60	-82,353	-11,026	-78,680
70	-82,477	-11,394	-78,568
80	-82,615	-11,789	-78,452
90	-82,768	-12,216	-78,332
100	-82,938	-12,677	-78,207

Таблица 5 – Термодинамические параметры реакции выщелачивания  $\text{NdPO}_4$  гидроксидом натрия

$\text{NdPO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Nd}(\text{OH})_3 + \text{Na}_3\text{PO}_4$			
T, °C	$\Delta H$ , кДж	$\Delta S$ , Дж/К	$\Delta G$ , кДж
0	-86,977	-14,375	-83,051
10	-87,048	-14,627	-82,906
20	-87,143	-14,959	-82,758
30	-87,259	-15,346	-82,607
40	-87,382	-15,746	-82,451

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.211139.001 ПЗ

Продолжение таблицы 5

T, °C	$\Delta H$ , кДж	$\Delta S$ , Дж/К	$\Delta G$ , кДж
50	-87,515	-16,165	-82,292
60	-87,660	-16,606	-82,128
70	-87,818	-17,074	-81,959
80	-87,991	-17,571	-81,786
90	-88,180	-18,098	-81,608
100	-88,386	-18,657	-81,424

Приведенные данные подтверждают возможность проведения реакций при 20 °С без автоклавирования. Отрицательная энергия Гиббса указывает на то, что получаемые гидроксиды термодинамически устойчивы.

### 3.3 Расчет материального баланса

Определим потребность производства в сырье и материалах и выходы целевых продуктов. Материальный баланс процесса выщелачивания проводился в соответствии с методикой [21].

Исходные данные – оксидный и минералогический состав красноуфимского монацитового концентрата (таблицы 6-7) [7, 8].

Таблица 6 – Усредненный оксидный состав монацитового концентрата ОГУ «УралМонацит»

Компонент	Молекулярная масса	Содержание, мас. %
Сумма редкоземельных оксидов Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		54,0
Оксид фосфора P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	142	22,2
Оксид тория ThO <sub>2</sub>	264	5,4
Оксид железа Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	160	3,6
Оксид алюминия Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102	2,8
Оксид кремния SiO <sub>2</sub>	60	4,0
Оксид титана TiO <sub>2</sub>	80	2,2
Оксид кальция CaO	56	1,4
Оксид магния MgO	40	1,2
Оксид циркония ZrO <sub>2</sub>	123	3,0
Оксид урана U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	842	0,2

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.211139.001 ПЗ

Продолжение таблицы 6

Компонент	Молекулярная масса	Содержание, мас. %
Оксид лантана $\text{La}_2\text{O}_3$	326	12,71
Оксид церия $\text{Ce}_2\text{O}_3$	328	24,86
Оксид празеодима $\text{Pr}_2\text{O}_3$	330	2,80
Оксид неодима $\text{Nd}_2\text{O}_3$	336	10,97
Оксид самария $\text{Sm}_2\text{O}_3$	349	1,03
Оксид европия $\text{Eu}_2\text{O}_3$	352	0,03
Оксид гадолиния $\text{Gd}_2\text{O}_3$	362	0,42
Оксид тербия $\text{Tb}_2\text{O}_3$	366	0,19
Оксид диспрозия $\text{Dy}_2\text{O}_3$	373	0,10
Оксид гольмия $\text{Ho}_2\text{O}_3$	378	0,04
Оксид эрбия $\text{Er}_2\text{O}_3$	383	0,09
Оксид тулия $\text{Tm}_2\text{O}_3$	386	0,04
Оксид иттербия $\text{Yb}_2\text{O}_3$	394	0,04
Оксид лютеция $\text{Lu}_2\text{O}_3$	398	0,04
Оксид иттрия $\text{Y}_2\text{O}_3$	226	0,64

Таблица 7 – Усредненный минералогический состав монацитового концентрата ОГУ «УралМонацит»

Минерал	Формула	Содержание, об. % (v)
Монацит	$\text{CePO}_4$	81,2
Анаказ	$\text{TiO}_2$	1,4
Рутил	$\text{TiO}_2$	1,9
Ильменит	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$	0,9
Магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	0,5
Гематит (мартит)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	ед.
Хромит	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	ед.
Лимонит	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1,0
Шерл	$\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_3 \cdot (\text{Si}_6\text{O}_{18})_6(\text{BO}_3)(\text{OH})$	1,5
Циркон	$\text{ZrSiO}_4$	0,2
Алланит-(Ce)	$\text{CaCeAl}_2\text{Fe}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	0,5
Ферроколумбит	$\text{FeO} \cdot \text{Nb}_2\text{O}_5$	0,5
Ильменорутил	$(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Fe}^{3+})_3\text{O}_6$	ед.
Торит	$\text{Th}(\text{SiO}_4)$	ед.

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Инв. № инв. №. Подп. и дата. Подп. и дата.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.211139.001 ПЗ

Продолжение таблицы 7

Минерал	Формула	Содержание, об. % (v)
Микролит	$(Ca,Na,U)_{2-m}(Ta,Nb,Ti)_2O_6(O,F)$	ед.
Фергусонит-(Y)	$Y_2O_3 \cdot Nb_2O_5$	ед.
Самарскит-(Y)	$(Y,Fe^{3+},Fe^{2+},U,Th,Ca)_2O_3(Nb,Ta)_2O_5$	ед.
Ксенотим	$YPO_4$	0,2
Альмандин	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	1,4
Гроссулярь	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	ед.
Фторапатит	$Ca_5(PO_4)_3F$	0,3
Топаз	$Al_2SiO_4(F, OH)$	ед.
Титанит	$CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$	0,5
Ставролит	$Fe(OH)_2(Al_2SiO_5)_2$	0,9
Эпидот	$Ca_2(Al, Fe)_3(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$	ед.
Тремолит	$Ca_2Mg_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$	ед.
Кварц	$SiO_2$	3,5
Альбит	$NaAlSi_3O_8$	1,9
Биотит	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$	1,5
Мусковит	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	0,5
Клинохлор	$Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	ед.
Флюорит	$CaF_2$	ед.
Барит	$BaSO_4$	ед.
Сумма		100

Далее пересчитаем объемный состав (v) в массовый по формуле (7):

$$w = \frac{\rho_i \cdot v_i}{\sum \rho_i \cdot v_i}, \quad (7)$$

где  $\rho_i$  – плотность i-того компонента [22].

Результаты расчета представлены в таблице 8 и 9. В таблице 9 также представлены расчетные массы минералов в 1 т исходного монацитового концентрата без учета их вскрываемости.

Данные по минералогическому и оксидному составу красноуфимского монацита были получены институтом минералогии УрО РАН в результате исследования 42-х партий концентратов массой около 5 г каждая. В разных партиях состав может сильно отличаться, расчет проводился по усредненным показателям. Также для извлечения РЗМ из монацита щелочным методом при непрерывном процессе не имеет значения подобное колебание состава исходного сырья.

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № инв. № взаим. инв. № Подп. и дата. Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Таблица 8 – Расчет массового минералогического состава монацитового концентрата  
ОГУ «УралМонацит»

Минерал	Формула	Содержание, об. % (v)	Плотность, кг/м <sup>3</sup> (ρ)	ρ <sub>i</sub> ·v <sub>i</sub>	Содержание, мас. %
Монацит	CePO <sub>4</sub>	81,2	5260	427135	86,48
Анаказ	TiO <sub>2</sub>	1,4	3890	5324	1,08
Рутил	TiO <sub>2</sub>	1,9	4232	8109	1,64
Ильменит	FeO·TiO <sub>2</sub>	0,9	4720	4307	0,87
Магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,5	5175	2361	0,48
Гематит (мартит)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ед.	5100	-	-
Хромит	FeO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ед.	4650	-	-
Лимонит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O	1,0	3500	3513	0,71
Шерл	Na(Mg,Fe) <sub>3</sub> ·(Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ) <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> )(OH)	1,5	3185	4650	0,94
Циркон	ZrSiO <sub>4</sub>	0,2	4300	785	0,16
Алланит-(Ce)	CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)	0,5	4110	1875	0,38
Ферроколумбит	FeO·Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5	6475	2954	0,60
Ильменорутил	(Ti,Nb,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> O <sub>6</sub>	ед.	4630	-	-
Торит	Th(SiO <sub>4</sub> )	ед.	5400	-	-
Торогуммит	Th(SiO <sub>4</sub> )*n(OH)	ед.	5400	-	-
Хаттонит	ThSiO <sub>4</sub>	ед.	7100	-	-
Микролит	(Ca,Na,U) <sub>2-m</sub> (Ta,Nb,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O,F)	ед.	6330	-	-
Фергусонит-(Y)	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ед.	5105	-	-
Самарскит-(Y)	(Y,Fe <sup>3+</sup> ,Fe <sup>2+</sup> ,U,Th,Ca) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ед.	5345	-	-
Ксенотим	YPO <sub>4</sub>	0,2	4750	867	0,18
Альмандин	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1,4	4318	5910	1,20
Гроссуляр	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	ед.	3530	-	-
Фторапатит	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F	0,3	3300	903	0,18
Топаз	Al <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (F, OH)	ед.	3500	-	-
Титанит	CaO·TiO <sub>2</sub> ·SiO <sub>2</sub>	0,5	3540	1615	0,33
Ставролит	Fe(OH) <sub>2</sub> (Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	0,9	3785	3453	0,70
Эпидот	Ca <sub>2</sub> (Al, Fe) <sub>3</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(SiO <sub>4</sub> )O(OH)	ед.	3315	-	-
Тремолит	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	ед.	2950	-	-
Кварц	SiO <sub>2</sub>	3,5	2650	9188	1,86
Альбит	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1,9	2615	5010	1,01
Биотит	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH,F) <sub>2</sub>	1,5	3000	4380	0,89
Мусковит	K <sub>2</sub> O·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,5	2830	1549	0,31
Клинохлор	Mg <sub>5</sub> Al(AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub>	ед.	2810	-	-
Флюорит	CaF <sub>2</sub>	ед.	3150	-	-
Барит	BaSO <sub>4</sub>	ед.	4500	-	-
Сумма		100		493887	100

Инв. № подл. Подп. и дата  
 Инв. № дидл. Инв. № инв. № Взам. инв. № Подп. и дата

ФЮРА.211139.001 ПЗ



Таблица 9 – Усредненный массовый минералогический состав монацитового концентрата ОГУ «УралМонацит»

Минерал	Формула	Содержание, мас. %	Молекулярная масса	Масса на 1 т сырья, кг
Монацит	$CePO_4$	86,48	240	865
Анализ	$TiO_2$	1,08	80	11
Рутил	$TiO_2$	1,64	80	16
Ильменит	$FeO \cdot TiO_2$	0,87	152	9
Магнетит	$Fe_3O_4$	0,48	232	5
Лимонит	$Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	0,71	214	7
Шерл	$Na(Mg,Fe)_3 \cdot (Si_6O_{18})_6(BO_3)(OH)$	0,94	1053	9
Циркон	$ZrSiO_4$	0,16	183	2
Алланит-(Ce)	$CaCeAl_2Fe(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$	0,38	615	4
Ферроколумбит	$FeO \cdot Nb_2O_5$	0,60	338	6
Ксенотим	$YPO_4$	0,18	184	2
Альмандин	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	1,20	498	12
Фторапатит	$Ca_5(PO_4)_3F$	0,18	504	2
Титанит	$CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$	0,33	198	3
Ставролит	$Fe(OH)_2(Al_2SiO_5)_2$	0,70	812	7
Кварц	$SiO_2$	1,86	60	19
Альбит	$NaAlSi_3O_8$	1,01	263	10
Биотит	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$	0,89	520	9
Мусковит	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	0,31	399	3
Сумма		100,00		1000

Внешний вид красноуфимского монацитового концентрата представлен на рисунке 5 [8].

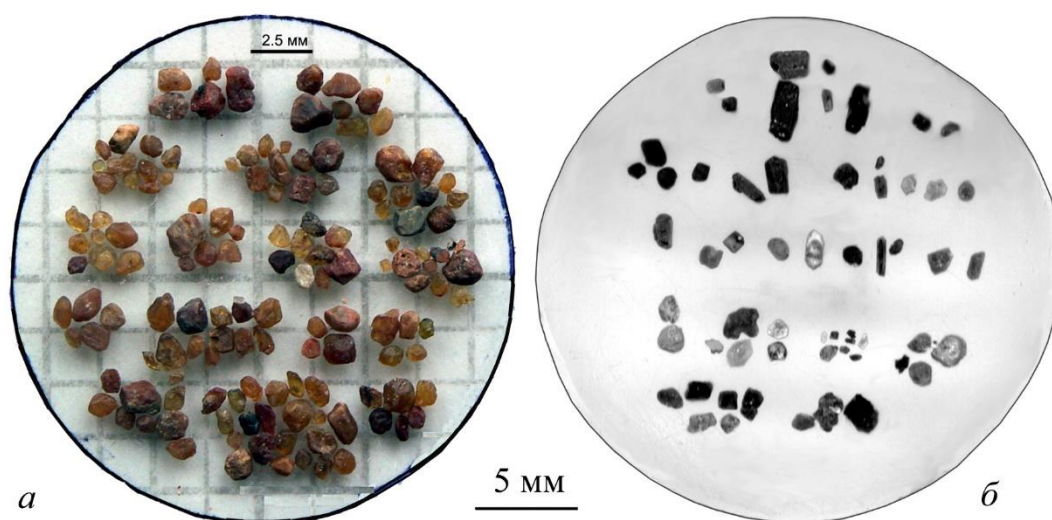


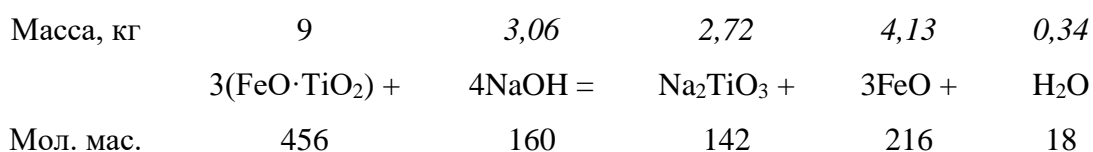
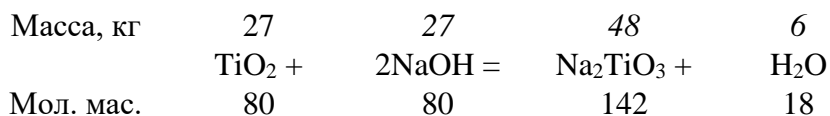
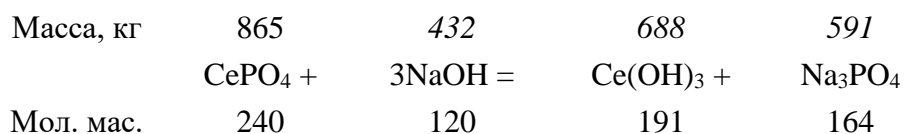
Рисунок 5 – Внешний вид красноуфимского монацита: а – монацит; б – преобладающая форма зерен

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дилл. Инв. № инв. №. Подп. и дата.

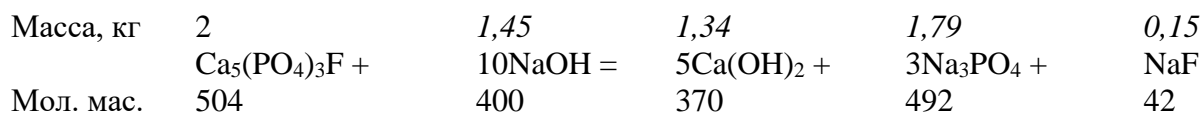
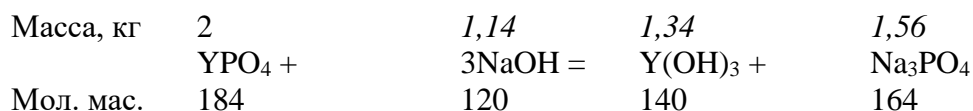
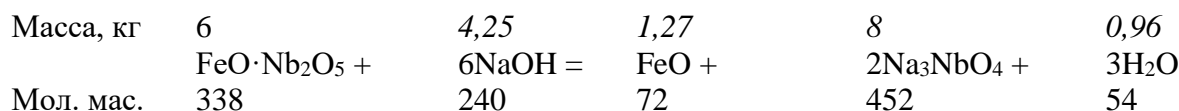
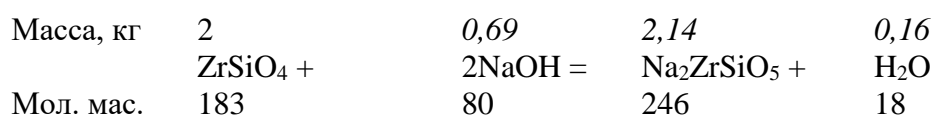
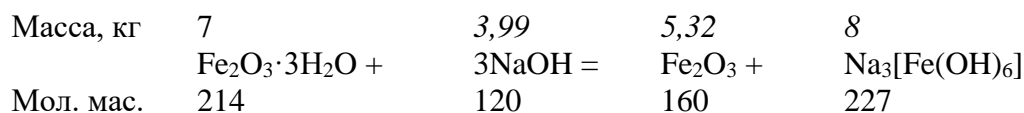
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.211139.001 ПЗ

По этим данным рассчитаем расход реагентов на реакции вскрытия минералов концентрата. Расчет проводится с помощью пропорции, курсивом выделены рассчитанные значения.



Магнетит при 20 °С не взаимодействует с NaOH, альбит также не взаимодействует с щелочью, кроме того, есть вероятность его образования в результате побочных реакций. Состав продуктов взаимодействия шерла, алланита, альмандина, титанита, ставролита, биотита с щелочью установить не удалось в связи с отсутствием литературных данных.



Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дидл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
ФЮРА.211139.001 ПЗ					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	

Масса, кг	19	25	38	6
	SiO <sub>2</sub> +	2NaOH =	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> +	H <sub>2</sub> O
Мол. мас.	60	80	122	18

Масса, кг	3	1,26	1,24	1,92	0,80	0,42
	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> +	4NaOH =	KAlSiO <sub>4</sub> +	2Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> +	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +	3H <sub>2</sub> O
Мол. мас.	399	160	158	244	102	54

Внесем итоги расчетов в таблицу 10.

Таблица 10 – Материальный баланс выщелачивания монацитового концентрата

Расход			Приход		
Название	Формула	Масса, кг	Название	Формула	Масса, кг
Гидроксид натрия	50 % р-р NaOH	996	Растворимые		
	NaOH	498	Вода	H <sub>2</sub> O	14
	H <sub>2</sub> O	498	Тринатрийфосфат	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	591
Монацит-(Ce)	CePO <sub>4</sub>	818	Силикат натрия	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	40
Монацит-(Th)	Th <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	47	Титанат натрия	Na <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>	51
Анатаз	TiO <sub>2</sub>	11	Ниобат натрия	Na <sub>3</sub> NbO <sub>4</sub>	8
Рутил	TiO <sub>2</sub>	16	Фторид натрия	NaF	0,15
Ильменит	FeO·TiO <sub>2</sub>	9	Нерастворимые		
Магнетит	FeO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	Гидроксиды РЗЭ	Ce(OH) <sub>3</sub>	651
Лимонит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	7		Y(OH) <sub>3</sub>	1,34
Шерл	Na(Mg,Fe) <sub>3</sub> ·(Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ) <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> )(OH)	9	Гидроксид тория	Th(OH) <sub>4</sub>	39
Циркон	ZrSiO <sub>4</sub>	2	Гексагидроксоферрат натрия	Na <sub>3</sub> [Fe(OH) <sub>6</sub> ]	8
Алланит-(Ce)	CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)	4	Цирконосиликат натрия	Na <sub>2</sub> ZrSiO <sub>5</sub>	2,14
Ферроколумбит	FeO·Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6	Кальсилит	KAlSiO <sub>4</sub>	1,24
Ксенотим	YPO <sub>4</sub>	2	Оксид алюминия	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80
Альмандин	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	12	Гидроксид кальция	Ca(OH) <sub>2</sub>	1,34
Фторапатит	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F	2	Оксид железа	FeO	5
Титанит	CaO·TiO <sub>2</sub> ·SiO <sub>2</sub>	3		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5
Ставролит	Fe(OH) <sub>2</sub> (Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	7			
Кварц	SiO <sub>2</sub>	19			
Альбит	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	10			
Биотит	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH,F) <sub>2</sub>	9			
Мусковит	K <sub>2</sub> O·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	3			

ФЮРА.211139.001 ПЗ

Инв. № подл. Подп. и дата  
 Инв. № дубл. Инв. № инв. №  
 Подп. и дата

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

По итогам расчетов первой стадии процесса (щелочного вскрытия монацитового концентрата) можно сделать выводы, что дальнейшие расчеты будут иметь некоторую погрешность вследствие сложности системы, отсутствия данных по взаимодействию некоторых компонентов и значительному количеству предполагаемых побочных реакций. Также данный тезис подтверждают литературные данные, полученные, очевидно, опытным путем [1]. Согласно этим данным, для обеспечения оптимального выхода продуктов необходим избыток NaOH – 1,5 кг на 1 кг концентрата, что в 2 раза превышает расчетное значение. Что, однако, не имеет значения при непрерывном технологическом процессе.

Для такой многокомпонентной системы как монацитовый концентрат, при составлении материального баланса необходимо проведение серии опытов (планирование экстремальных экспериментов) по исследованию процесса, направленных на установление параметров процесса, обеспечивающих максимальный целесообразный выход продуктов. При этом на каждой стадии нужно проводить анализ химического и фазового состава с использованием таких методов, как, например, РФА, масс-спектрометрия и др.

Приведенные данные подтверждают возможность проведения процесса выщелачивания монацитового концентрата раствором NaOH при 80 °С. Приведенная на рисунке 4 схема, согласно литературным данным [10] обеспечивает получение 73 % концентрата РЗМ, 36,4 % ториевого концентрата и тринатрийфосфата (ТНФ) в виде товарного продукта.

На следующей стадии происходит растворение образовавшихся гидроксидов РЗМ и тория в соляной кислоте с выведением их из реактора выщелачивания в осадитель.

Масса, кг	651	373	840	184
	$\text{Ce}(\text{OH})_3 +$	$3\text{HCl} =$	$\text{CeCl}_3 +$	$3\text{H}_2\text{O}$
Мол. мас.	191	109,5	246,5	54
Масса, кг	1,335	0,795	1,419	0,392
	$\text{Y}(\text{OH})_3 +$	$3\text{HCl} =$	$\text{YCl}_3 +$	$3\text{H}_2\text{O}$
Мол. мас.	184	109,5	195,5	54
Масса, кг	39	6,337	16	3,125
	$\text{Th}(\text{OH})_4 +$	$4\text{HCl} =$	$\text{ThCl}_4 +$	$4\text{H}_2\text{O}$
Мол. мас.	900	146	374	72

Также протекают побочные реакции, требующие повышения расхода щелочи.

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
ФЮРА.211139.001 ПЗ					Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	

Масса, кг	5,40	5,48	9,53	1,351
	FeO +	2HCl =	FeCl <sub>2</sub> +	H <sub>2</sub> O
Мол. мас.	72	73	127	18

Масса, кг	5	7	11	1,795
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +	6HCl =	2FeCl <sub>3</sub> +	3H <sub>2</sub> O
Мол. мас.	160	219	325	54

Масса, кг	2	1,268	1,545	1,016	0,677	0,469
	Na <sub>2</sub> ZrSiO <sub>5</sub> +	4HCl =	ZrOCl <sub>2</sub> +	2NaCl +	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> +	H <sub>2</sub> O
Мол. мас.	246	146	178	117	78	54

Данные о протекании реакции гексагидроксоферрата натрия, шерла, биотита и алланита с соляной кислотой установить не удалось в связи с отсутствием литературных данных. Алмадин не растворяется в кислотах, рутил, циркон, кварц не взаимодействуют с соляной кислотой, массы остальных компонентов составляют менее 2 кг, что допустимо учесть без расчета при выборе коэффициента избытка щелочи.

Тогда материальный баланс стадии растворения гидроксидов примет вид, представленный в таблице 11.

Таблица 11 – Материальный баланс стадии растворения гидроксидов

Расход			Приход		
Название	Формула	Масса, кг	Название	Формула	Масса, кг
Гидроксиды РЗЭ	Ce(OH) <sub>3</sub>	651	Хлориды РЗЭ	CeCl <sub>3</sub>	840
	Y(OH) <sub>3</sub>	1,34		YCl <sub>3</sub>	1,419
Гидроксид тория	Th(OH) <sub>4</sub>	39	Хлорид тория	ThCl <sub>4</sub>	16
Соляная кислота	10 % р-р HCl	3944	Вода	H <sub>2</sub> O	191
	HCl	394			
	H <sub>2</sub> O	3550			

Приведем расчет для поэтапного осаждения: на первой стадии для перевода РЗМ в форму гидроксидов нужно использовать 10 %-ную соляную кислоту. При pH = 3,5 около 85 % редкоземельных элементов переходит в раствор, в то время как весь торий остается в осадке.

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дидл. Инв. № инв. №. Взам. инв. №. Подп. и дата.

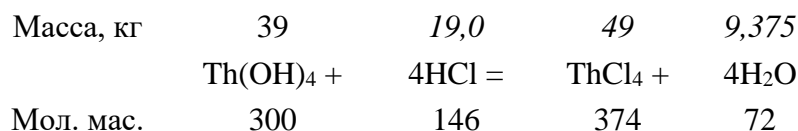
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.211139.001 ПЗ

Таблица 12 – Материальный баланс стадии растворения гидроксидов РЗЭ

Расход			Приход		
Название	Формула	Масса, кг	Название	Формула	Масса, кг
Гидроксиды РЗЭ	$\text{Ce}(\text{OH})_3$	553	Хлориды РЗЭ	$\text{CeCl}_3$	714
	$\text{Y}(\text{OH})_3$	1,14		$\text{YCl}_3$	1,206
Гидроксид тория	$\text{Th}(\text{OH})_4$	39	Хлорид тория	$\text{ThCl}_4$	0
Соляная кислота	10 % р-р HCl	2656	Вода	$\text{H}_2\text{O}$	160
	HCl	266			
	$\text{H}_2\text{O}$	2390			

Из осадка при его нейтрализации до pH = 4,2–4,7 выделяют ториевый концентрат, в котором соотношение  $\text{ThO}_2 : (\text{TR})_2\text{O}_3 = 10 : 1$ . Для установления данного pH и растворения 40 кг гидроксида тория необходимо 19 кг соляной кислоты:



Концентрация кислоты, соответствующая pH = 4,5:

$$\text{pH} = -\lg C(\text{HCl})$$

$$C(\text{HCl}) = 10^{-\text{pH}} = 10^{-4,5} = 3,16 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Пересчитаем полученную молярную концентрацию с массовую долю:

$$w(\text{HCl}) = \frac{C \cdot M}{10 \cdot \rho} = \frac{3,16 \cdot 10^{-5} \cdot 36,5}{10 \cdot 1,030} = 1 \%$$

Материальный баланс растворения гидроксида тория приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Материальный баланс стадии растворения гидроксида тория

Расход			Приход		
Название	Формула	Масса, кг	Название	Формула	Масса, кг
Гидроксиды РЗЭ	$\text{Ce}(\text{OH})_3$	98	Хлориды РЗЭ	$\text{CeCl}_3$	5
	$\text{Y}(\text{OH})_3$	0,20		$\text{YCl}_3$	0
Гидроксид тория	$\text{Th}(\text{OH})_4$	39	Хлорид тория	$\text{ThCl}_4$	49
Соляная кислота	1 % р-р HCl	1901	Вода	$\text{H}_2\text{O}$	37
	HCl	19			
	$\text{H}_2\text{O}$	1882			

В общем виде материальный баланс процесса извлечения коллективного концентрата редкоземельных металлов из одной тонны монацита представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Материальный баланс переработки красноуфимского монацитового концентрата, приходящийся на 1 т концентрата

Расход			Приход		
Название	Формула	Масса, кг	Название	Формула	Масса, кг
Фосфаты РЗЭ	$Ce(PO)_4$	818	Хлориды РЗЭ	$CeCl_3$	721
Фосфат тория	$Th(PO)_4$	47	Хлорид тория	$ThCl_4$	49
Гидрокид натрия	$NaOH$	498	ТНФ	$Na_3PO_4$	591
Соляная кислота	$HCl$	407			
Вода на приготовление раствора гидроксида натрия	$H_2O$	498			
Вода на приготовление раствора соляной кислоты		3664			
Воды всего		4162			

Из 1000 кг монацитового концентрата, согласно расчетам, получается 721 кг хлоридов РЗЭ, 49 кг тория и 591 кг тринатрийфосфата. Для осуществления процессов переработки необходимо затратить 407 кг кислоты и 498 кг щелочи.

Рассчитаем количество щелочи для осаждения РЗМ и тория в форме гидроксидов. Материальный баланс данной стадии приведен в таблице 15

Масса, кг	714	348	553	509
	$CeCl_3 +$	$3NaOH =$	$Ce(OH)_3 +$	$3NaCl$
Мол. мас.	246,5	120	191	175,5
Масса, кг	1,206	0,740	1,135	1,083
	$YCl_3 +$	$3NaOH =$	$Y(OH)_3 +$	$3NaCl$
Мол. мас.	195,5	120	184	175,5
Масса, кг	49	16	39	23
	$ThCl_4 +$	$3NaOH =$	$Th(OH)_4 +$	$3NaCl$
Мол. мас.	374	120	300	175,5

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.211139.001 ПЗ

Таблица 15 – Материальный баланс осаждения РЗМ и тория в виде гидроксидов

Расход			Приход		
Название	Формула	Масса, кг	Название	Формула	Масса, кг
Хлориды РЗЭ	$\text{CeCl}_3$	714	Гидроксиды РЗЭ	$\text{Ce}(\text{OH})_3$	553
	$\text{YCl}_3$	1,21		$\text{Y}(\text{OH})_3$	1
Хлорид тория	$\text{ThCl}_4$	49	Гидроксид тория	$\text{Th}(\text{OH})_4$	39
Гидроксид натрия	40 % р-р NaOH	910	Хлорид натрия	NaCl	532
	NaOH	364			
	$\text{H}_2\text{O}$	546			

Для перевода 715 кг хлоридов РЗМ в осадок гидроксидов необходимо 348,5 кг гидроксида натрия; для осаждения 49 кг тория – 16 кг гидроксида натрия. В результате получается 554 кг гидроксидов РЗМ и 39 кг гидроксида тория. Кроме того, образуется значительное количество хлорида натрия.

Инв. № подл	Подп. и дата					
	Взам. инв. №					
	Инв. № дубл.					
	Подп. и дата					
	Инв. № подл					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						40



## 4 Подбор аппаратов

Аппараты подбираются исходя из выбранной (разработанной) технологической схемы, проводится технологический расчет для определения их основных параметров. По возможности следует выбирать стандартное оборудование, однако, аппарат должен обеспечивать наилучший режим работы в заданных условиях. При отсутствии стандартного оборудования, отвечающего целям проектирования, создается опросный лист на изготовление нестандартного оборудования и составляется задание конструкторскому отделу или сторонней организации, выполняющей разработку и изготовление нестандартного оборудования.

### 4.1 Реактор выщелачивания

В нашем случае реактор выщелачивания также будет использоваться как транспортная емкость. Транспортировку монацита осложняет радиоактивность материала, так как согласно приказу №388 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2016 года об утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов», при этом для перевозки необходимо использовать специализированные возвратные транспортные контейнеры [23]. Процесс становится менее затратен при использовании невозвратных контейнеров. Причем, для нужд проекта такой контейнер должен отвечать следующим требованиям:

- выступать реактором после прибытия на место назначения, а значит, быть устойчивым к натриевой щелочи, соляной кислоте и температурам до 80-100 °С;
- быть устойчивым к радиации;
- после использования обеспечивать возможность захоронения пустой породы вместе с реактором без риска утечки радиации, отвечать требованиям приказа №388 от 15 сентября 2016 года;
- внутреннее устройство должно обеспечивать равномерное распределение жидкости по объему материала при орошении без образования каналов и застойных зон.

Предлагается использование полимерного материала полипропилен, обладающего низкой проникающей способностью, стойкого к радиации и преимущественно сшивающегося. Сшивка происходит под действием ионизирующего излучения, при этом макромолекулы полимеров распадаются на свободные радикалы и рекомбинируют в новые пространственные структуры. В результате чего изменяются свойства полимера – в материале происходят положительные изменения: увеличивается предел прочности на разрыв и повышается температура

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ

плавления. Наряду с этими процессами, хотя и не так интенсивно протекает деструкция полимера. Для снижения негативного влияния в полимер вводят специальные добавки, поглощающие энергию излучения - антирады или сцинтилляторы. Полипропилен допускает температуры эксплуатации до 120-140 °С, вполне стойкий в слабых и сильных основаниях и слабых кислотах и стойкий сильных (по четырехбалльной шкале стойкости) [24, 25, 26].

Таким образом, используя различные материалы и добавки можно подобрать материал, отвечающий заданным свойствам и изготовить полимерный реактор, отвечающий требованиям технологического процесса и требованиям, предъявляемым к перевозке опасных и радиоактивных грузов.

Так как материал в реакторе должен обеспечивать хорошее просачивание и по предварительным расчетам выявлено, что экономически и технологически более целесообразно несколько замедлить процесс вместо затрат на создание давления и высоких температур в реакторе, принято решение не подвергать материал измельчению, оставив изначальную крупность – 90-1000 мкм. Кроме того, что это сохранит технологические свойства материала, связанные с транспортировкой, хранением, процессами циркуляции растворов сквозь слой материала, ограничением возможности проникновения мелкой радиоактивной пыли в воздухе рабочей зоны, данное решение исключит затраты на приобретение мельницы и ее обслуживание.

Количество реакторов выбирается так, чтобы обеспечивался непрерывный режим работы предприятия, объем реактора – исходя из производительности, в рамках данной работы – 1 т/мес.

Исходя из данных о проведении выщелачивания глинозема способом Байера [27], который схож с проектируемой технологией, а также температур и характера протекания выщелачивания монацита щелочью, можно сделать вывод, что процесс протекает в кинетической области и его скорость ограничена скоростью протекания химической реакции образования гидроксидов. Вследствие этого перемешивание материала и создание особенного гидродинамического режима в реакторе не влияет значительно на скорость процесса. Однако, в любом случае, нежелательно образование застойных зон и каналов. Подробно диффузор для этих целей описывается в работе [28], где перемешивание происходит за счет столкновения восходящего и нисходящего потока выщелачивающего раствора. Такой вариант оказался достаточно эффективным в лабораторных условиях, но возникает вопрос, будет ли он эффективен в промышленном аппарате со значительным слоем тяжелого материала и большим диаметром аппаратов. Возможно его совершенствование для более равномерного распределения потоков по диаметру аппарата.

Инв. № подл	
Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № инв.	
Подп. и дата	

						ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата			42

Также возможно выполнение сегментов по длине аппарата, подобных сегментам, устанавливаемым в межтрубном пространстве теплообменника. Такие вставки должны направлять поток и обеспечивать более равномерное его распределение по объему материала.

Одна тонна монацита при средней плотности  $5260 \text{ кг/м}^3$  составляет  $0,190 \text{ м}^3$ .

Согласно федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии "Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов", утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2016 года N 388 предел активности не ограничен, для груза, его содержащего настоящие Правила не распространяются при активности  $1 \cdot 10^3 \text{ Бк/груз}$ . Удельная активность для природного тория составляет  $10 \text{ Бк/г}$  [23].

В красноуфимском монацитовом концентрате содержится до 7 % тория, а значит, на 1 т монацита приходится 70 кг тория, т.е.  $7 \cdot 10^4 \text{ Бк}$ . В этом случае необходимо выполнение требований вышеуказанного стандарта при транспортировке груза.

Наиболее опасным является  $\gamma$ -излучение,  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучение имеют не большой пробег и поглощаются толщиной стенки полиэтиленового аппарата (для защиты достаточно толщины полиэтилена 3 мм), обеспечивающей механическую его механическую надежность. Также полиэтилен вследствие высокого содержания водорода замедляет быстрые нейтроны и после поглощает их в виде тепловых нейтронов [29]. Расчет толщины материала для защиты от  $\gamma$ -излучения – задача трудоемкая, существует несколько методов моделирования излучения и расчета его взаимодействия с материалом, поэтому подтверждение поглощающей способности полиэтилена выбранной толщины должно выполняться соответствующими специалистами. Предполагается возможность выполнения данной части работы аутсорсингом.

Промышленностью выпускаются стандартные полиэтиленовые емкости для агрессивных сред объемом до  $50 \text{ м}^3$ , пример такой емкости представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Полиэтиленовый аппарат для химической промышленности

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дидл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Наиболее удобным вариантом будет объем 0,1 м<sup>3</sup> для обеспечения равномерного распределения жидкости по диаметру аппарата. Соответственно, для размещения 1 т монацита понадобится 3 емкости по 0,1 м<sup>3</sup> каждая с учетом необходимости обеспечения осветляющего пространства для осаждения взвешенных твердых частиц.

В аппарат помещается монацитовый концентрат, который в ходе технологического процесса не будет покидать аппарат, а впоследствии пустая отработанная порода будет захоронена вместе с аппаратом. Щелочь для вскрытия монацита последовательно подается в батарею реакторов, начиная с аппарата с наименьшим содержанием фосфатов, и заканчивая наибольшим. После каждого реактора устанавливается индикатор содержания фосфат-ионов, при снижении концентрации, которых реактор отключается от батареи, взамен него в хвост батареи помещается новый реактор с монацитом из склада. Отключенный реактор переходит в режим промывки и растворения гидроксидов соляной кислотой.



Рисунок 7 – Картриджный фильтр

Реактор выщелачивания, выполняющий функцию транспортной емкости, представляет собой цилиндрический аппарат, с сегментными внутренними устройствами для распределения потока жидкости и исключения застойных зон. Необходимо предусмотреть опоры для подсоединения подводящих патрубков снизу; патрубки для ввода щелочи и кислоты и промывки водой снизу, и для отвода – сверху, уловитель твердых частиц на выходе из аппарата – картриджный фильтр, устанавливаемый на трубопроводе (представлен на рисунке 7); устройство равномерного ввода реагентов в объем материалов.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

## 4.2 Выпарной кристаллизатор

Выпарной кристаллизатор установлен после батареи реакторов и предназначен для упаривания щелочного раствора, содержащего тринатрийфосфат. При этом щелочь испаряется при температуре кипения раствора и возвращается в цикл, концентрация тринатрийфосфата в оставшемся растворе возрастает, его растворимость уменьшается, и он выделяется в виде осадка. Полученный осадок обезвоживается центрифугированием (или на фильтрах), и направляется на склад. Отфильтрованная и испарившаяся щелочь возвращаются в цикл. На выделение тринатрийфосфата согласно приведенному в предыдущем разделе материальному балансу направляется 1700 кг раствора, содержащего 591 кг тринатрифосфата, а также 40 кг силиката натрия, 50 кг титаната натрия и непрореагировавшую щелочь.

Примем плотность раствора при 80 °С равной 1000 кг/м<sup>3</sup>, тогда объем раствора можно рассчитать по формуле 8:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (8)$$

где  $m$  – масса материала, кг;

$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

$$V_{\text{р-ра ТНФ}} = 1700/1000 = 1,7 \text{ м}^3$$

Таким образом, на каждую тонну концентрата образуется 1,7 м<sup>3</sup> раствора, направляющегося на кристаллизацию ТНФ. На 100 т образуется 170 м<sup>3</sup> раствора (в месяц), часовая производительность составляет 0,236 м<sup>3</sup>/ч. При заказе выпарного кристаллизатора этот параметр (расход) будет являться основным.

Предлагается использование выпарного кристаллизатора с выносной греющей камерой и солесборником. При такой конструкции возрастает риск кристаллизации ТНФ на стенках аппарата, за счет уменьшения количества твердых частиц в объеме раствора, но суспензия при этом получается более концентрированной. Увеличение скорости циркуляции раствора – обеспечение принудительной циркуляции – снижает вероятность инкрустации, однако значительно увеличивает стоимость установки и её эксплуатации [30]. Так как тринатрийфосфат в данном процессе – побочный продукт, значительное возрастание расходов на эту стадию нецелесообразно. Рекомендуется использовать выпарной кристаллизатор с естественной циркуляцией раствора.

Практически непрерывную выгрузку осадка обеспечивает гидравлический пульсирующий клапан (рисунок 8), который может разгружать до 10 т/ч 35-40 % суспензии. Также пульсация помогает предотвратить забивку отверстия и слеживание материала [31].

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ

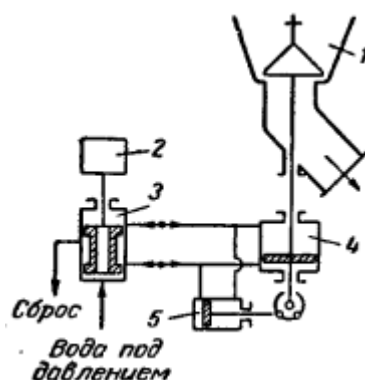


Рисунок 8 – Гидравлический пульсационный клапан регулирующий клапан для удаления суспензии: 1 – саморазгружающийся клапан; 2 – соленоид; 3 – регулирующий вентиль; 4 – поднимающий серво-мотор; 5 – поворачивающий серво-мотор

Однако, было принято решение отказаться от этого варианта в пользу солесборника, позволяющего не усложнять конструкцию и получать более концентрированную суспензию. При сравнительно невысокой производительности по тринатрийфосфату возможно периодическое удаление осадка.

### 4.3 Осадитель РЗМ в форме гидроксидов

Разделение РЗМ или их концентрация, а также концентрация тория, будет производиться на предприятиях Росатома или Ростеха, специализирующихся в данной области, например, на предприятии ГК Росатома «Гиредмет». Следовательно, нужно обеспечить удобную для транспортировки форму концентратов. При переводе РЗМ и тория в форму гидроксидов удаляется лишняя жидкость, материал становится ещё концентрированным и компактным, менее опасным в случае аварий.

Равномерное перемешивание для стабильной рН среды обеспечивается аппаратом с мешалкой. В данный аппарат поступает раствор хлоридов РЗМ/тория, где при слиянии с гидроксидом натрия переходит в форму гидроксидов. Жидкость из образовавшихся гидроксидов отделяется на центрифуге, смешивается со свежим гидроксидом натрия до установления  $pH = 6,2-6,8$  для гидроксидов и  $pH = 5,8$  для тория и возвращается в реактор для полного использования содержащегося в ней гидроксида натрия.

В осадители поступают 715 кг раствора хлоридов РЗМ и 49 кг хлорида тория, для их осаждения требуется 348,5 и 16 кг щелочи соответственно. На осаждение щелочь поступает в виде 40 % раствора, также можно использовать рекуперационную щелочь. Для растворения приведенного количества щелочи необходимо 523 и 23 кг воды соответственно, в итоге получается 871 и 40 кг 40 % раствора. Итого при пересчете на объем в аппарат для осаждения

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						46

РЗМ поступает 1586 кг или 1,281 м<sup>3</sup> раствора, в аппарат для осаждения тория 89 кг 0,072 м<sup>3</sup> раствора. Необходимый объем аппаратов для осаждения РЗМ – 1 м<sup>3</sup>, тория – 0,025 м<sup>3</sup>.

Осадок можно удалять, используя приведенный в предыдущем подразделе пульсационный клапан.

#### 4.4 Выбор типа насосов

В перекачиваемых средах содержатся кислота, щелочь, немного твердых частиц, т.е. исполнение должно быть коррозионно стойким для соответствующих сред

Предлагается использование наиболее распространённого типа насосов – центробежных. Такая популярность данного типа насосов обусловлена удобством использования, хорошими характеристиками, плавной работой, длительным сроком службы, удобством для оборудования контрольно-измерительными приборами, низкими эксплуатационными расходами и надежностью работы на загрязненных жидкостях. К недостаткам относятся низкий КПД при выходе за рамки оптимальных условий и ограниченный диапазон подач и напоров. Однако, все же при выборе насоса рекомендуется за наиболее важный параметр принимать не КПД, а характеристики работы в заданных условиях для обеспечения целей проводимого процесса, также необходимо принимать во внимание удобство ремонта и обслуживания [32].

Инв. № подл	Подп. и дата				Лист	
	Взам. инв. №					ФЮРА.211139.001 ПЗ
	Инв. № дубл.					
	Подп. и дата					
	Лит					
Инв. № подл				№ докум.	Дата	
Подп. и дата				Подп.	Дата	
Взам. инв. №				Изм.	47	
Инв. № дубл.						
Подп. и дата						
Лит						

## 5 Результаты разработки

В результате работы проанализированы используемые и возможные схемы переработки монацита с применением различных реагентов и условий процесса. Разработана технологическая схема переработки монацита с получением коллективного концентрата РЗМ, концентрата тория и получением товарного тринатрийфосфата. Данная схема отличается выгодными экономическими показателями достигаемых различными приемами:

– За счет уменьшения количества единиц оборудования. При этом снижаются затраты на транспортировку с применением невозвратных пластиковых контейнеров. Далее данные контейнеры устанавливаются на производственную площадку и служат реакторами сразу для двух операций – вскрытия монацита и перевода его в водорастворимую форму. Возможность проведения обработки щелочью и кислотой в одном реакторе обеспечивается свойствами полиэтилена, устойчивого и к щелочи, и к соляной кислоте. Также совмещение этих процессов и циркуляция раствора, а не монацита позволяет не устанавливать дорогостоящие закрытые фильтры и исключить образование и необходимость улавливания выделяющегося радиоактивного торона. За счет сравнительно невысокой скорости циркуляции раствора и наличия в аппарате зоны осаждения, унос твердых частиц будет минимальным и для их улавливания будет достаточно установить на трубопроводе картриджный фильтр.

– За счет снижения рабочих параметров. Были снижены такие параметры рабочего процесса, как температура и давление. Предлагается отказаться от автоклавирования, так как реакция вскрытия монацита протекает в системе жидкость-твердое, а лимитирующая стадия в этом случае находится в кинетической области, т.е. ограничивается скоростью химической реакции. Также температура процесса снижается со 140 до 80 °С, что необходимо для обеспечения надежной работы полиэтиленового реактора. Потери скорости процесса за счет снижения температуры компенсируются использованием не одного реактора, как это принято в классических методах, а батареи реакторов с заменой контейнера отработанного материала на контейнер со свежим монацитом. Такое решение позволяет организовать непрерывный процесс, что также повышает экономическую эффективность процесса.

Согласно расчету материального баланса из каждой тонны Красноуфимского монацитового концентрата получается 553 кг гидроксидов редкоземельных металлов, 40 кг гидроксида тория и 591 кг тринатрийфосфата.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
	48				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ



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

Студенту:

Группа 4ГМ02	ФИО Перминова Ирина Алексеевна
-----------------	-----------------------------------

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

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

1. Стоимость ресурсов исследовательского проекта (ИП): материально-технических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость специального оборудования (персонального компьютера) определена в соответствии с рыночными ценами г. Томска и Сибирского федерального округа. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Амортизационные отчисления на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30.2 %

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала инженерных решений (ИР)	Определение целевого рынка. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Выполнение SWOT-анализа проекта. Оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Разработка устава научно-технического проекта	Составление Устава проекта, документирующего бизнес-потребности заказчика проекта и планируемый результат
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет и риски	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
4. Определение социальной и экономической эффективности проекта	Реестр рисков проекта Интегральный показатель ресурсоэффективности

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


1. Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений	
2. Матрица SWOT	
3. Оценка степени готовности проекта к коммерциализации	
4. Календарный план-график выполнения работ по проекту	
5. Интегральный показатель ресурсоэффективности проекта	
6. Реестр рисков проекта	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Нина Васильевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ02	Перминова Ирина Алексеевна		

## 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Раздел необходим для оценки коммерческого потенциала, необходимого бюджета, сроков выполнения проекта и др.

Проектируемым объектом является технология получения коллективного концентрата редкоземельных металлов (РЗМ) из монацита, промышленного источника тория и РЗМ, не перерабатываемого на данный момент в РФ в связи с экономическими затратами на реализацию существующих технологий.

### 6.1 Предпроектный анализ

#### 6.1.1 Потенциальные потребители

Целевой рынок – коммерческие организации в области производства чистых редкоземельных металлов, как потребитель коллективного концентрата РЗМ и технологии его получения, а также такие отрасли промышленности как высокотехнологичная электроника, металлургия, атомная техника, химическая промышленность и другие потребители отдельных редкоземельных элементов.

Конкретными потенциальными потребителями, заинтересованными в разрабатываемой технологии и имеющими кадровые, технологические и финансовые возможности для ее реализации являются, в первую очередь, ГК «Росатом» (АО «Сибирский химический комбинат») и ГК «Ростех».

#### 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Сравним эффективность выбранного щелочного способа вскрытия (индекс в) монацита с конкурирующими технологиями – сернокислотным вскрытием (индекс к1) и хлорированием (индекс к2) для оценки сильных и слабых сторон с помощью оценочной карты (таблица 16).

Подп. и дата						
Взам. инв. №						
Инв. № дубл.						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						
		<b>ФЮРА.211139.001 ПЗ</b>				
		Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
		Студент.	Перминова И.			
		Руковод.	Тихонов В.В.			
		Конс.	Потехина Н.В.			
		Н. контр.				
		Рук.ООП	Казьмина О.В.			
		Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение				Лит
						Лист
						Листов
						Д
						50
						17
						НИ ТПУ ИШНПТ группа 4ГМ02

Таблица 16 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>в</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>в</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Качество получаемых продуктов	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,75
2. Производительность	0,12	3	5	5	0,36	0,6	0,6
3. Рабочие параметры среды	0,15	5	3	1	0,75	0,45	0,15
4. Расход реагента	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,4
5. Воздействие на экологию (по количеству отходов, возможным выбросам и др.)	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
6. Необходимость подготовительных стадий	0,08	5	4	1	0,4	0,32	0,08
7. Безопасность	0,1	4	2	1	0,4	0,2	0,1
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Стоимость реагентов и оборудования	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
2. Стоимость получаемых продуктов	0,12	5	3	4	0,6	0,36	0,48
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>39</b>	<b>32</b>	<b>26</b>	<b>4,38</b>	<b>3,55</b>	<b>2,96</b>

Конкурентоспособность вычислялась по следующей формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (9)$$

где  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По итоговым коэффициентам наибольшую конкурентоспособность показывает щелочной способ переработки. Немного уступая конкурентам в производительности, он, однако, обеспечивает большую безопасность за счет использования жидкой фазы со сниженными параметрами, что позволяет также снизить стоимость оборудования и трубопроводов. Ещё одним его преимуществом является получение сразу нескольких товарных продуктов: РЗМ и тринатрийфосфата высокого качества.

К достоинствам сернокислотного метода относится эффективность при работе с любым монацитом, в том числе с обедненным. Технология отработанная, но стадий значительно больше.

Хлорирование – достаточно затратный способ, требующий многоэтапной подготовки сырья и коррозионно-стойкого оборудования. При разгерметизации оборудования может быть нанесен значительный вред здоровью обслуживающего персонала и окружающей среде.

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Ив. № подл.	

Лит	Изм.	№ докum.	Подп.	Дата

### 6.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ используется для комплексного анализа и выявления сильных и слабых сторон проекта с точки зрения как внутренней, так и внешней среды. Матрица SWOT-анализа представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b>	<b>Слабые стороны проекта:</b>
	<p>С1. Минимальное количество аппаратов и стадий вследствие оптимизации процесса.</p> <p>С2. Непрерывность процесса.</p> <p>С3. Чистота продуктов.</p> <p>С4. Широкая линейка получаемых продуктов, комплексность переработки сырья.</p> <p>С5. Снижение рабочих параметров процесса.</p> <p>С6. Значительный экономический эффект по сравнению с классической схемой.</p> <p>С7. Экологичность по сравнению с другими методами.</p>	<p>Сл1. Риски, связанные с применением вновь созданной, неопробованной в производстве технологией.</p> <p>Сл2. Производительность ниже, чем при более высоких рабочих параметрах.</p> <p>Сл3. Необходимость работы с радиоактивным материалом практически на всех стадиях процесса.</p> <p>Сл4. Сложность интенсификации процесса при выщелачивании на начальных этапах.</p>

ИВ. № подп						ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
							52
Подп. и дата							
Инд. № дилл.							
Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Лит							
Изм.							
№ докum.							
Подп.							
Дата							

Продолжение таблицы 17

<p><b>Возможности:</b>                  В1. В связи со сложившейся политической и экономической ситуацией появилась острая необходимость в собственном высокотехнологическом производстве, для которого необходимы РЗМ.                  В2. Возможность государственного финансирования проекта, а также привлечение других заинтересованных коммерческих организаций (ГК «Росатом»).</p>	<p>В1С2С3С4С6С7 – повышение производительности, качества и расширение ассортимента получаемой продукции.                  В2В4С1С2С3С4С5С6С7 – повышение коммерческой привлекательности проекта за счет использования экономически и технологически привлекательных решений, поиск новых потребителей.                  В3С1С4С6С7 – повышение доли перерабатываемой части сырья, снижение выбросов и отходов.                  В5С1С2С7 – поиск потребителей в других областях промышленности, поиск путей переоборудования существующих производственных линий, что снижает технологические и экономические риски.</p>	<p>В1Сл1Сл2 – проведение серии опытов на лабораторной и полупромышленных установках для выявления и устранения непредвиденных сложностей, возникающих при реализации процесса, а также построение теоретической модели процесса.                  В2Сл1Сл2Сл4 – повышение коммерческой привлекательности проекта, подтверждение теоретических выводов и эффективности решений на каждой стадии.                  В3Сл3 – необходимость экологичной утилизации опасного объекта.                  В4В5Сл1 – поиск новых потребителей, повышение надежности проекта для инвестиций.</p>
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Ужесточение норм транспортировки радиоактивных материалов.                  У2. Введение дополнительных требований к вредным факторам на производстве.                  У3. Появление новой конкурентной технологии.                  У4. Экономическая ситуация: снижение рыночной стоимости РЗМ и повышение цен на оборудование, материалы и другие ресурсы РФ.</p>	<p>У1С1С2С5С6С7 – возможна замена пластикового транспортного контейнера на металлический, что приведет к некоторому удорожанию проекта.                  У2С1С2С5С7 – экологичность процесса по сравнению с аналогами.                  У1С1С2С3С4С5С6С7 – возможность изменения проектируемой технологии в соответствии с современными научными и техническими достижениями.                  У4С1С4С5С6 – акцент на побочные продукты и комплексность переработки; возможное снижение количества стадий, оборудования, материалов и параметров рабочего процесса.</p>	<p>У1У2Сл1Сл3 – введение дополнительных мер безопасности, подтверждение надежности разрабатываемой технологии                  У3У4Сл1Сл2Сл3Сл4 – исследование технологии с целью совершенствования, модернизация разработки</p>

Ив. № подп.	Подп. и дата
Ив. № дилл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	

Таким образом, матрица SWOT-анализа с использованием интерактивных матриц корреляции помогла оценить сильные и слабые стороны проекта и выделить направления повышения конкурентоспособности проекта. Основные направления: исследование разработанной технологии, как теоретическое, так и с использованием опытных установок; уменьшение воздействия вредных факторов, повышение доли перерабатываемого сырья и снижение выбросов и отходов, расширение ассортимента получаемой продукции, тиражирование технологии на смежные области производства, оперативное изменение технологии при появлении новых научных и технических достижений.

#### 6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Проводится с целью определения степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и для оценки компетенций разработчика. Для этого заполняется таблица 18.

Таблица 18 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п.п.	Наименование	Степень проработанности проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации разработки	5	3
9.	Определены пути продвижения разработки на рынок	5	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации проекта	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на международный рынок	1	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	3
13.	Проработаны вопросы финансирования проекта	5	5
14.	Имеется команда для коммерциализации разработки	3	4
15.	Проработан механизм реализации проекта	5	4
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>62</b>	<b>58</b>

Ив. № подп.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Ив. № дубл.	Подп. и дата
	Ив. № инв.
Ив. № подп.	Подп. и дата
	Ив. № инв.

Лит.	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Для оценки проработанности проекта использовалась пятибалльная шкала по каждому критерию, где:

– для степени проработанности проекта: 1 – не проработанность, 2 – слабая проработанность, 3 – выполнено, но в качестве не уверен, 4 – выполнено качественно, 5 – имеется положительное заключение независимого эксперта;

– для степени уровня знаний у разработчика: 1 – не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры выполнения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 19 – Критерии оценки готовности разработки к коммерциализации

Сумма баллов	Мера готовности проекта и разработчика к коммерциализации
75-60	Перспективная разработка
59-45	Перспективность выше среднего
44-30	Перспективность средняя
29-15	Перспективность ниже среднего
<14	Перспективность крайне низкая

Таким образом, разработка является перспективной, уровень знаний у разработчика выше среднего, дальнейшая работа состоит в осуществлении защиты прав интеллектуальной собственности, поиске команды и реализации проекта.

### 6.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Проведем выбор метода коммерциализации объекта исследования.

Для завершения работы по данному проекту необходимо опробовать разрабатываемую технологию на лабораторных и полупромышленных установках, а также запустить в производство. В дальнейшем планируется тиражирование технологии по заказу промышленных предприятий. Для этого требуется обеспечить финансирование и материальную базу (материал для исследований, реактивы и др.), чего можно достичь, заключив договор с предприятием, обладающим данными возможностями. Кроме того, встает необходимость защиты интеллектуальной собственности.

Идеальным вариантом в данном случае является инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций: предоставление комплекса инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта по переработке монацита с получением ряда товарных продуктов, иными словами, строительство предприятия «под ключ». Таким образом обеспечивается максимальная защита прав интеллектуальной собственности, так как все этапы проектирования осуществляются разработчиком технологии, и на производство передается

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Ив. № подл.	

только итоговой вариант документации. Также данный метод позволяет выполнять проектирование максимально быстро, избегая согласований между предприятиями и их отделами в процессе работы. В заключение можно сказать, что такого рода инжиниринг осуществим в рамках данного проекта, так как разрабатывается новая технология, ориентированная под строительство нового предприятия.

Также возможны, но менее предпочтительны варианты организации собственного предприятия (так как в данном случае гораздо сложнее организовать обращение и работу с радиоактивными материалами), передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия, либо организация совместного предприятия (что связано с большими рисками), торговля патентными лицензиями (так как такая деятельность приносит гораздо меньший доход).

## 6.2 Инициация проекта

На данном этапе составляется Устав проекта, документирующий бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта и планируемый результат.

### 6.2.1 Цели и результат проекта

Список заинтересованных сторон (лиц и организаций), которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта, приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Проект, выполненный в полном объеме в установленный срок, результаты научной деятельности по проекту, процент прибыли от выполнения проектной деятельности по заказу предприятия
Научная группа, выполняющая проект	Создание новой технологии, её отладка, запуск в производство и тиражирование
Жители г. Красноуфимск и близлежащей местности	Ликвидация техногенного образования, улучшение экологической ситуации
Предприятие-заказчик технологии (АО «Сибирский химический комбинат»)	Работающее предприятие с сопровождением и гарантийным обслуживанием в установленные сроки, приносящее прибыль. Продукт заданного качества, обучение сотрудников работе с данной технологией. Надежность технологии.
Потребители РЗЭ, в т.ч. производители отечественной электроники	Качественное недорогое сырье. Развитие экономики и импортозамещение.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Ив. № подл.

Лит.	Изм.	№ докum.	Подп.	Дата



В таблице 21 приведена информация об иерархии целей проекта и критериях их достижения.

Таблица 21 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработать технологию переработки монацита с получением коллективного концентрата редкоземельных элементов
Ожидаемые результаты проекта:	1) Ликвидация техногенного образования «УралМонацит»; 2) Получение ряда товарных продуктов: концентрат РЗМ, тринатрийфосфат (ТНФ), ториевый концентрат.
Критерии приемки результата проекта:	1) Проект должен отвечать требованиям стандартов, действующих на территории РФ: в области промышленной безопасности, охраны труда, охраны окружающей среды, качества продуктов и сырья и др. 2) Получаемый по технологии ТНФ должен отвечать требованиям ГОСТ 201-76 «Тринатрийфосфат. Технические условия»; 3) Готовый концентрат РЗЭ должен содержать не менее 60 % РЗЭ, не более 0,1 % Th и 0,01 % U.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Проект должен отвечать требованиям стандартов, действующих на территории РФ
	Обеспечить максимально целесообразную комплексность переработки сырья с минимальным количеством отходов
	Обеспечить простоту технологии с минимальным количеством аппаратов и стадий процесса; удобство эксплуатации и ремонта оборудования и трубопроводов
	Режим работы предприятия – непрерывный
	Учесть радиоактивность материала
	Обеспечить безопасную транспортировку сырья к месту переработки

## 6.2.2 Организационная структура проекта

Роли и функции участников проекта приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Тихонов Виктор Владимирович, НИ ТПУ, доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	110
2	Потехина Нина Васильевна, НИ ТПУ, старший преподаватель	Эксперт проекта	Консультация в области финансового менеджмента	3

Ив. № подл.	Ив. № инв.	Ив. № дил.	Ив. № инв.	Ив. № инв.
Ив. № подл.	Ив. № инв.	Ив. № дил.	Ив. № инв.	Ив. № инв.
Ив. № подл.	Ив. № инв.	Ив. № дил.	Ив. № инв.	Ив. № инв.
Ив. № подл.	Ив. № инв.	Ив. № дил.	Ив. № инв.	Ив. № инв.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Продолжение таблицы 22

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
3	Антоневич Ольга Алексеевна, НИ ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Консультация в области социальной ответственности	3
4	Перминова Ирина Алексеевна, магистрант	Исполнитель по проекту	Выполнение отдельных работ по проекту: технологическая часть проекта, проведение расчетов, исследований и др.	540

### 6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Итогом планирования станет график проведения работ с указанием структуры и продолжительности, а также участников работ.

#### 6.3.1 План проекта

В таблице 23 приведены этапы, работы, руководители и исполнители.

Таблица 23 – Структура запланированных работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
Исследования в рамках проекта	5	Сравнение существующих способов извлечения РЗМ из монацита и выбор базовой технологии	Инженер
	6	Утверждение и внесение изменений в выбранную технологию	Руководитель
	7	Проведение технологических и экономических расчетов утвержденной технологии	Инженер
	8	Анализ результатов, исследование и подтверждение адекватности принятых решений	Руководитель, инженер
	9	Изменение утвержденной технологии согласно проведенным исследованиям	Руководитель, инженер

ИВ. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
ИВ. № дубл.	Подп. и дата
	ИВ. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Продолжение таблицы 23

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
Разработка технической документации	11	Составление рабочих чертежей	Инженер
	12	Составление пояснительной записки	

Таким образом, основная работа выполняется инженером, при этом основные решения принимаются исходя из профессионального опыта руководителя проекта.

### 6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты составляют значительную часть стоимости продукции, что делает их важным этапом расчетов расходов на реализацию проекта. Трудоемкость оценивается в человеко-днях, зависит от различных факторов, при этом ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5}, \quad (10)$$

где  $t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость  $i$ -ой задачи, оптимистическая оценка, чел.-дн.;  $t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость, пессимистическая оценка, чел.-дн.

Данное значение необходимо для расчета заработной платы работников с учетом вклада исполнителей в работу, т.е. с учетом продолжительности каждого задания  $T_{pi}$ , раб. дн.:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (11)$$

$Ч_i$  – количество работников, одновременно выполняющих задание, чел.

Рассчитаем данные значения для первого этапа работы. Значения рассчитываются по каждому виду работ отдельно для руководителя и инженера.

$$t_{ожрук1.} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.-дн.}$$

$$T_{рук1.} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб. дн.}$$

Для остальных этапов работ значения рассчитываются аналогично. Для удобства приведем результаты расчетов в таблице составления графика работ по проекту (таблица 13).

ИВ. № подп	Подп. и дата
	Взам. инв. №
ИВ. № дидл.	Подп. и дата
	ИВ. № подп
ИВ. № подп	Лит
	Изм.

Лит	Изм.	№ докum.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

### 6.3.3 Разработка графика проведения исследования

Для небольших по объему научных тем удобным представлением работ является горизонтальный ленточный график – диаграмма Ганта. В нем наглядно отрезками на временной шкале указывается время выполнения работ.

Переведем продолжительность работы из рабочих дней в календарные (округляется до целого):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (12)$$

где  $k_{\text{кал}}$  - коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (13)$$

где  $T_{\text{кал}}$ ,  $T_{\text{вых}}$  и  $T_{\text{пр}}$  – количество календарных, выходных и праздничных дней в году соответственно.

Примем пятидневную рабочую неделю для руководителя и инженера, количество выходных и рабочих дней примем согласно производственному календарю на 2022 год: календарных дней 365, выходных и праздничных – 118[3]. Так как оба сотрудника работают по пятидневной неделе, коэффициент календарности для них одинаковый:

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

Продолжительность первого этапа работ в календарных днях:

$$T_{\text{крук1}} = 2,8 \cdot 1,48 \approx 4 \text{ кал. дня.}$$

Для последующих этапов расчет осуществляется аналогично, отдельно для руководителя и инженера, результаты расчета представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
1. Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-

Ив. № подл.	Подп. и дата
Ив. № дилл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата

Продолжение таблицы 24

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
2. Подбор и изучение материалов по теме	4	5	6	7	4,8	5,8	2,4	2,9	4	4
3. Выбор направления исследований	2		3		2,4		1,2		2	
4. Календарное планирование работ	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4	-
5. Сравнение существующих способов извлечения РЗМ из монацита и выбор базовой технологии	-	18	-	22	-	19,6	-	19,6	-	29
6. Утверждение и внесение изменений в выбранную технологию	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2	-
7. Проведение технологических и экономических расчетов утвержденной технологии	-	27	-	30	-	28,2	-	28,2	-	42
8. Анализ результатов, исследование и подтверждение адекватности принятых решений	2	14	3	15	2,4	14,4	1,2	7,2	2	11
9. Изменение утвержденной технологии согласно проведенным исследованиям	3		4		3,4		1,7		3	
10. Оценка эффективности полученных результатов	1		2		1,4		0,7		1	
11. Составление рабочих чертежей	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
12. Составление пояснительной записки	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6
Итого							13,8	67,7	20	100

ИВ. № подл.	Подп. и дата
ИВ. № дилл.	Взам. инв. №
ИВ. № подл.	Подп. и дата

Лит.	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ФЮРА.211139.001 ПЗ

По этим данным строим диаграмму Ганта для максимальной длительности работ (таблица 25).

Таблица 25 – Календарный план-график выполнения работ по проекту

№	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февр.			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руков.	4	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руков., инж	4	■	■										
3	Выбор направления исследований	Руков., инж	2		■										
4	Календарное планирование работ	Руков..	4		■										
5	Сравнение существующих способов извлечения РЗМ из монацита и выбор базовой технологии	Инж.	29			■	■	■	■						
6	Утверждение и внесение изменений в выбранную технологию	Руков.	2						■						
7	Проведение технологических и экономических расчетов утвержденной технологии	Инж.	42						■	■	■	■			
8	Анализ результатов, исследование и подтверждение адекватности принятых решений	Руков., инж	11										■	■	
9	Изменение утвержденной технологии согласно проведенным исследованиям	Руков., инж	3											■	
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руков., инж	1											■	
11	Составление рабочих чертежей	Инж.	4											■	
12	Составление пояснительной записки	Инж.	6												■

■ - работы, выполняемые руководителем;  
 ■ - работы, выполняемые инженером.

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Ив. № подп.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

## 6.4 Бюджет научного исследования

Бюджет исследования отражает все виды расходов на выполнение исследования, сгруппированные по статьям. Рассмотрим данные статьи в соответствующих подразделах.

### 6.4.1 Расчет материальных затрат исследования

Материальные затраты включают стоимость всех используемых в ходе работы материалов: сырье, средства СИЗ, составляющие конструкции– предметы, необходимые для изготовления опытного образца, его ремонта и обслуживания, проведения научных исследований и технологического процесса.

В рамках настоящей магистерской диссертации проведение экспериментальных работ затруднено радиоактивностью исследуемого материала, вследствие чего были проведены теоретические и расчетные исследования и предложена схема переработки монацита с получением концентрата РЗМ и товарного тринатрийфосфата.

В данном случае материальные затраты на проведение эксперимента отсутствуют, прочие затраты на проведение исследований отражены в статье «накладные расходы».

### 6.4.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В статью включается основная заработная плата непосредственных участников работ, в данном случае – руководителя и инженера, с учетом ежемесячной премии 20–30 % от тарифа или оклада. Заработная плата начисляется, исходя из трудоемкости, окладов и тарифных ставок.

Таблица 26 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней	104/14
- выходные дни	
- праздничные дни	
Потери рабочего времени	24/10
- отпуск	
- невыходы по болезни	
Действительный годовой фонд рабочего времени	213

Сведения по расчету основной заработной платы работникам сведены в таблицу 27.

Заработная плата работников складывается из основной и дополнительной заработной платы:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп.} \quad (14)$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Ив. № подл.

Лит	Изм.	№ докum.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						63

Основная заработная плата от предприятия:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (15)$$

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

$T_{\text{р}}$  – рабочее время, раб. дн.

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} + M}{F_{\text{д}}}, \quad (16)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени, раб. дн.

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} k_{\text{р}}, \quad (17)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.: для руководителя 37700 руб., для инженера – 17752 руб.;

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

Месячный должностной оклад руководителя и инженера соответственно:

$$Z_{\text{м рук.}} = 37700 \cdot 1,3 = 49010 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{минж.}} = 17752 \cdot 1,3 = 23077,6 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и инженера соответственно:

$$Z_{\text{дн.рук.}} = \frac{49010 \cdot 11,2}{213} = 2577,05 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн. инж.}} = \frac{23077,6 \cdot 11,2}{213} = 1213,47 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя и инженера соответственно:

$$Z_{\text{осн рук.}} = 2577,05 \cdot 20 = 51541,03 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{оснинж.}} = 1213,47 \cdot 100 = 121347,00 \text{ руб.}$$

Таблица 27 – Основная заработная плата исполнителей проекта

Исполнители НИ	$Z_{\text{т}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	37700,00	1,3	49010,00	2577,05	20	51541,03
Инженер	17 752,00		23077,60	1213,47	100	121347,00
Итого:						172888,05

Суммарная основная заработная плата исполнителей за время выполнения проекта составляет 172888 руб.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Ив. № подп

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------



### 6.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей проекта

Величина дополнительной заработной платы регламентируется ТК РФ и предусматривает компенсацию за отклонения от нормальных условий труда:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (18)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, примем  $k_{\text{доп}} = 0,13$ .

Дополнительная заработная плата руководителя и инженера соответственно:

$$З_{\text{доп рук.}} = 0,13 \cdot 51541,03 = 6700,33 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп инж.}} = 0,13 \cdot 121347,00 = 15775,11 \text{ руб.}$$

Итого:  $З_{\text{доп}} = 6700,33 + 15775,11 = 22475,44$  руб.

### 6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Вычисляется согласно нормам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС). Общая ставка взносов составляет 30 %:

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование.

В НИ ТПУ дополнительно 0,2 % составляют отчисления на травматизм.

Сумма отчислений во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (19)$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя и инженера соответственно:

$$З_{\text{внеб. рук.}} = 0,302 \cdot (51541,03 + 6700,33) = 17588,89 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{внеб. инж.}} = 0,302 \cdot (121347,00 + 15775,11) = 41410,88 \text{ руб.}$$

Итого:  $З_{\text{внеб}} = 17588,89 + 41410,88 = 58999,77$  руб.

### 6.4.5 Затраты на специальное оборудование

В процессе разработки технологии переработки монацита использовался персональный компьютер, стоимость которого составляет 50000 руб., что превышает 40000 руб. и требует амортизационных отчислений на период использования оборудования.

Норма амортизации рассчитывается по формуле 20:

$$H_a = \frac{1}{n}, \quad (20)$$

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Ив. № подл.	

где n – срок полезного использования, гарантийный срок для персонального компьютера составляет 2 года.

$$N_a = \frac{1}{2} = 0,5$$

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле 21:

$$N_a = \frac{N_a \cdot I \cdot m}{12}, \quad (21)$$

Где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

$$N_a = \frac{0,5 \cdot 50000 \cdot 4}{12} = 8333,33 \text{ руб}$$

#### 6.4.6 Накладные расходы

К накладным относятся прочие затраты, неучтенные в других статьях: электроэнергия, ксерокопирование, оплата связи и др.:

$$Z_{\text{накл}} = \text{сумма статей} \cdot k_{\text{нр}}, \quad (22)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – доля накладных расходов, примем 16 %.

$$Z_{\text{накл}} = (172888,04 + 22475,44 + 58999,77 + 8333,33) \cdot 0,16$$

$$Z_{\text{накл}} = 337696,59 \cdot 0,16 = 54031,45 \text{ руб.}$$

#### 6.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная сумма затрат – нижний предел стоимости реализации проекта. Затраты по статьям и итоговая сумма приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Бюджет затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Основная з/п исполнителей	172888,04	Пункт 3.3.2
Дополнительная з/п исполнителей	22475,44	Пункт 3.3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	58999,77	Пункт 3.3.4
Затраты на специальное оборудование	8333,33	Пункт 3.3.5
Накладные расходы	54031,45	Пункт 3.3.6
Итого	391728,04	Сумма ст. 1-6

#### 6.4.8 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Реестр рисков проекта приведен в таблице 29.

Ив. № подл.	Подп. и дата					Лист
	Взам. инв. №					
Ив. № инв.	Подп. и дата					ФЮРА.211139.001 ПЗ
	Ив. № подл.	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	

Таблица 29 – Реестр рисков проекта

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Технологические риски (новая технология не позволит производить продукт заявленного качества с заявленной производительностью)	Санкции в связи с невыполнением условий контракта	2	5	Средний	Проведение расчетных и экспериментальных исследований для подтверждения всех принимаемых решений	Не прогнозируемые факторы, некомпетентность проектировщика
2	Запрет провоза радиоактивного материала в предлагаемом пластиковом контейнере	Удорожание и усложнение транспортировки	2	1	Низкий	Проработать вариант с транспортной спортивной в металлическом контейнере	Изменение стандартов
3	Повышение цен на оборудование и материалы	Удорожание технологии в целом	4	4	Высокий	Использование мер господдержки, т.к. проект относится к области экологии и обеспечения благополучия граждан	Экономическая обстановка в РФ

### 6.5 Определение социальной и экономической эффективности исследования

Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Выявленные критерии социальной эффективности, на которые влияет реализация проекта и оценка степени их влияния приведены в таблице 30.

Ив. № подл.	Ив. № инв.	Ив. № дил.	Ив. № подп.
Подп. и дата	Взам. инв. №	Ив. № дил.	Ив. № подп.
Подп. и дата	Взам. инв. №	Ив. № дил.	Ив. № подп.
Подп. и дата	Взам. инв. №	Ив. № дил.	Ив. № подп.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Таблица 30 – Критерии социальной эффективности проекта

ДО	ПОСЛЕ
Более 82 тыс. т монацита (радиоактивного материала) находятся вблизи города Красноуфимск Свердловской области	Монацит утилизирован с извлечением ценных и востребованных продуктов
Технологии переработки монацита затратны и приносят невысокую прибыль	Технология стала дешевле, уменьшилось количество стадий и снизились рабочие параметры процесса, что сделало технологию безопаснее для персонала и окружающей среды
Редкоземельные металлы на нужды предприятий различных отраслей закупались за границей	Появляется отечественное производство РЗМ, что способствует развитию таких отраслей как высокотехнологичная электроника

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Определим значения показателя для текущей технологии с выполнением теоретических и расчетных исследований, для сравнения представим варианты исследования с планированием и проведением экспериментов по спорным вопросам и полуэмпирическое исследование с проведением экспериментов только по наиболее важным вопросам.

Данный вариант проведения исследования, несомненно, наименее затратный финансово, однако, несколько менее надежный по сравнению с полуэмпирическим. Наименее выгодным представляется проведение полного плана эксперимента, значительно повышающего стоимость работ за счет увеличения сроков и необходимости использования дополнительных материалов и лабораторного оборудования, кроме того, данный метод не гарантирует применимость полученных результатов в условиях промышленного производства. Исходя из этого, используемый метод проведения исследования имеет наибольшую финансовую эффективность.

Те же аналоги используем для вычисления других показателей эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (23)$$

где  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$n$  – число параметров сравнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности проводимого исследования:

$$I_{pv} = 0,20 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,10 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,10 \cdot 5 = 4,55$$

ИВ. № подл.	Подп. и дата	ИВ. № дидл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лит	Изм.	№ докum.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист

Для аналогов расчет осуществляется таким же образом. Данные по расчету ресурсоэффективности сведем в таблицу 31.

Таблица 31 – Интегральный показатель ресурсоэффективности проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Расчетный метод	Эмпирический метод	Полуэмпирический метод
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,20	5	2	4
2. Адекватность полученных зависимостей	0,20	4	4	5
3. Создание научной базы для последующих исследований	0,15	5	4	5
4. Энергосбережение	0,10	5	2	4
5. Надежность	0,25	4	3	5
6. Материалоемкость	0,10	5	1	3
ИТОГО	1	4,55	2,85	4,50

Расчетный метод исследования при проектировании новой технологии уступает полуэмпирическому по надежности получаемых данных, однако превосходит эмпирические методы в производительности и позволяет получить достаточную степень точности результатов для инженерного проектирования, кроме того, позволяя создать универсальную научную базу для исследования других объектов.

Сравнение интегральных показателей показало эффективность расчетного метода исследования при проектировании новой технологии. Метод является наиболее быстрым и достаточно точным. Детальное исследование с составлением полного плана экспериментов и всестороннее изучение материала избыточно при промышленном проектировании: трудоемко и ресурсозатратно. Наиболее оптимальным вариантом с точки зрения надежности является расчетный метод с минимально возможным количеством экспериментов.

Результаты финансового анализа проекта по переработке монацита с получением концентрата редкоземельных металлов:

1) Проект превосходит конкурентные технические решения в рамках поставленной задачи: позволяет осуществить комплексную переработку сырья с получением нескольких продуктов высокого качества (концентрат РЗМ и тринатрийфосфат). Обеспечивает большую безопасность за счет использования жидкой фазы со сниженными параметрами, что позволяет также снизить стоимость оборудования и трубопроводов;

Ив. № подл. Подп. и дата Ив. № дидл. Взам. инв. № Подп. и дата

Лит	Изм.	№ докum.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

- 2) Исполнителями являются руководитель и инженер, выполняющий магистерскую диссертацию, срок реализации проекта – около 4 месяцев;
- 3) Общая стоимость реализации проекта – 391728 руб.;
- 4) Проект имеет высокий уровень готовности к коммерциализации, наилучшим вариантом коммерциализации является инжиниринг (со строительством предприятия «под ключ»). Кроме экономической выгоды, проект сможет решить экологическую проблему Красноуфимского монацита.

Экономическая эффективность проекта определяется невысокой стоимостью исходного сырья – монацитового концентрата, и достаточно высокой стоимостью получаемого концентрата редкоземельных металлов. Невысокая стоимость исходного сырья, Красноуфимского монацита, обеспечивается его характером – это техногенный отход, т.е. уже добытое и концентрированное сырье, не требующее дополнительных стадий обработки при переработке по предлагаемой технологии.

Значительный положительный экономический эффект должны внести предлагаемые улучшения технологии переработки монацита по щелочному методу, позволяющие повысить энергоресурсоэффективность проекта: снижение рабочих параметров процесса (температуры и давления) позволит уменьшить энергозатраты и износ оборудования, позволит использовать более долговечные полимерные реакторы; циркуляция растворов щелочи и кислоты на стадии выщелачивания увеличит интенсивность процесса и позволит отказаться от перемешивающих устройств, получение коллективного раствора хлоридов редкоземельных металлов в жидком виде – сразу приступить к разделению РЗМ на отдельные компоненты с помощью новейших селективных методов – мембранной эмульсионной экстракции.

Щелочной метод отличается высоким качеством получаемых продуктов, позволяет получать наряду с концентратом РЗМ товарный побочный продукт тринатрийфосфат. Для щелочи легко обеспечить замкнутый цикл с циркуляцией по батарее реакторов, регенерацией и возвращением её в цикл после извлечения тринатрийфосфата. Также расход щелочи, количество аппаратов и стадий технологического процесса в целом намного меньше по сравнению, к примеру, с сернокислотным способом.

Необходимость переработки красноуфимского монацита диктуется не только полученной в перспективе выгодой, хотя без этого осуществление данного проекта нецелесообразно, но и экологической ситуацией в регионе, вызванной наличием склада слаборадиоактивных отходов вблизи селебитной территории. Таким образом, переработка монацитового концентрата позволит устранить экологическую проблему, отработать технологию для тиражирования на другие виды монацита с целью получения концентрата РЗМ и получить ценный продукт, важный для развития техники и экономики.

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Ив. № подл.	

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ГМ02	Перминова Ирина Алексеевна

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>НОЦ Н. М. Кижнера</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	18.04.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:


<b>Получение коллективного концентрата редкоземельных металлов из монацита</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (технология) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования: Технология переработки монацитового концентрата</i></p> <p><i>Область применения: химическая технология</i></p> <p><i>Рабочая зона: производственное помещение, операторная, наружная площадка</i></p> <p><i>Размеры помещения: 4x5 м</i></p> <p><i>Климатическая зона: УХЛ4</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: пластиковые реакторы, аппараты с мешалкой, трубопроводы, выпарной кристаллизатор, компьютер оператора как средство управления и контроля технологическим процессом</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: работа оператора за компьютером (контроль и управление технологическим процессом), вскрытие монацита щелочью, обработка соляной кислотой, выпаривание щелочного раствора ТНФ, фильтрация</i></p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 22269-76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места»;</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».</p> <p>ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</p> <p>ГОСТ 21889-76 «Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования».</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации проектного решения:</b></p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– недостаток естественного освещения;</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня вредного производственного фактора</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– наличие электромагнитных полей промышленных частот.</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</li> <li>– вещества, непосредственно действующие на организм работающего;</li> <li>– радиоактивное загрязнение (выше природного фона);</li> <li>– высокие температуры материальных объектов производственной среды.</li> </ul> <p>Расчет: системы искусственного освещения.</p> <p>Средства коллективной и индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– система отопления, вентиляции и кондиционирования;</li> <li>– система светильников;</li> <li>– контроль за состоянием оборудования – своевременная чистка, смазка, ремонт;</li> <li>– тепловая изоляция.</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации проектного решения</b></p>	<p>Атмосфера: возможное появление взвешенных частиц мелкой фракции в виде пыли при разгерметизации транспортного контейнера с исходным материалом, выбросы при срабатывании предохранительных клапанов.</p> <p>Гидросфера: устранение влияния отвалов на грунтовые воды; возможные разливы химикатов при авариях, захоронение отработанной обезвреженной пустой породы.</p> <p>Литосфера: положительный эффект, переработка загрязняющего техногенного объекта; захоронение обезвреженной пустой породы.</p> <p>Селебитная территория: возможные выбросы паров щелочи и кислоты при срабатывании предохранительных клапанов, шум, создаваемый работой насосов и перемещением среды на производстве.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации проектного решения</b></p>	<p>Возможные ЧС: проливы щелочи, кислоты, попадание пыли и радиоактивного материала в рабочую зону, возгорание проводки.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	кандидат биологических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ02	Перминова Ирина Алексеевна		



## 7 Социальная ответственность

Разрабатываемая технология позволит устранить опасный техногенный объект – склад монацитового концентрата объемом более 82 тыс. т в 12 км от города Красноуфимск Свердловской области. Щелочной метод переработки был выбран исходя из затрат на переработку, технологичности и наименьшего негативного воздействия на окружающую среду. Кроме устранения техногенного объекта, разработка позволит получить такие ценные продукты как концентрат редкоземельных металлов и тринатрийфосфат.

Рабочая зона: производственное помещение, операторная, наружная площадка.

В операторной находится оборудование для контроля за технологическим процессом, в том числе современное компьютерное оборудование, предполагаемый адрес будущего производства: Томская область, ЗАТО Северск, ул. Курчатова, 1. Размеры операторной - 5x4 м.

Основное местонахождение рабочего персонала на производстве – операторная размером и условиями труда аналогична проектному офису, однако персонал кроме того совершает регулярные обходы производственных помещений и открытых площадок, контролируя состояние трубопроводов, трубопроводной арматуры и оборудования: пластиковой емкости выщелачивания, аппаратов с мешалкой (среда: щелочь, кислота, радиоактивный материал), выпарного кристаллизатора на наружной площадке и насосов в помещении.

Проектируемое предприятие по предварительным данным размещается по адресу Томская область, ЗАТО Северск, ул. Курчатова, 1.

### 7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) обеспечивает гарантию надлежащих условий труда, соблюдения прав нанимателя и работника и регулирует вопросы, касающиеся трудовых отношений в целом [33]. Конституция Российской Федерации обеспечивает право на труд, безопасность, оплату труда не ниже минимальной, возмещение ущерба в случае производственных травм или профессиональных заболеваний, защиту экологии и т. д. [34].

Рабочие должны проходить регулярные медицинские осмотры, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты [33].

Подп. и дата							
Взам. инв. №							
Инв. № дубл.							
Подп. и дата							
Инв. № подл.		ФЮРА.211139.001 ПЗ					
		Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	
		Студент		Перминова И.А.			
		Руковод.		Тихонов В.В.			
		Конс.		Антоневич О.А.			
		Н. контр.					
		Рук. ООП.		Казьмина О.В.			
		Социальная ответственность			Лит	Лист	Листов
					Д	58	8
					НИ ТПУ ИШНПТ группа 4ГМ02		

Также согласно ТК РФ должна соблюдаться защита персональных данных сотрудника, продолжительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю, не менее 30 минут каждый рабочий день должно выделяться для отдыха и приема пищи [33].

Основными документами регламентирующее условия и организацию работы с ПК являются следующие стандарты:

- ГОСТ 22269-76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места» [35];
- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [36];
- ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения» [37];
- ГОСТ 21889-76 «Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования» [38].

Соблюдение требований представленных стандартов позволяет снизить влияние вредных факторов при осуществлении работ в положении сидя с использованием ПК.

Конструкция аппаратов отвечает требованиям эргономики по ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [39], в том числе в плане обеспечения соответствующих размеров оборудования и его составных частей, расположения датчиков, рабочих органов, трудозатрат работника за рабочий день. На производстве должны выполняться требования ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» [40] (содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать допустимое, должна быть разработана система безопасности труда при производстве, применении и хранении вредных веществ: нормативно-технические документы, инструкции, мероприятия и т.д.), ГОСТ 32569-2013 «Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах» [41] (материалы, размещение, условия эксплуатации и проч.) и иные требования, предусмотренные законодательством РФ.

## 7.2 Производственная безопасность

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 выявлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при эксплуатации производства, работающего по заявленной технологии [42].

Инв. № подл.	Инв. № инв.	Подп. и дата	Подп. и дата	Инв. № подл.	Инв. № инв.	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
												70

Таблица 32 - Возможные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности [43]. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [44].
Недостаток естественного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [45].
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [46].
Наличие электромагнитных полей промышленных частот	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [47].
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [48]. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [49].
Вещества, непосредственно действующие на организм работающего	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [50] ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [47].
Радиоактивное загрязнение (выше природного фона)	СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [18]. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 [51].
Высокие температуры материальных объектов производственной среды	СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [52].

### 7.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Анализ позволяет выявить источники негативного воздействия, и, если это возможно, принять меры к его снижению, усовершенствованию технологии и конструкции оборудования. Также понимание природы данных факторов позволяет выбрать наиболее эффективные и удобные средства индивидуальной и коллективной защиты.

#### 7.3.1 Повышенный уровень шума

Повышенный уровень шума вызван работой аппаратов и насосов, движением среды. Это негативно сказывается на работнике, вызывает раздражительность, невнимательность, усталость, нарушение слуха.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Допустимая норма выбрана таким образом, что риск профессионального заболевания сводится к минимуму, но, с учетом индивидуального восприятия, не является нулевым [43]. Уровень шума должен соответствовать предельно допустимому, определенному по СанПиН 1.2.3685-21:

- эквивалентный уровень звука ( $L_{pAeqT}$ , дБА), воздействующий на работающего за рабочую смену (измеренный или рассчитанный относительно 8 ч рабочей смены) – 80 дБА;
- максимальные уровни звука  $A$ , измеренные с временными коррекциями  $S$  и  $I$  ( $L_{pAmax}$ ) – наибольшая величина уровня звука, измеренная на заданном интервале времени со стандартной временной коррекцией – 110 дБА и 125 дБА соответственно;
- пиковый скорректированный по  $C$  уровень звука ( $L_{pCpeak}$ ), дБС –  $C$  – взвешенное наибольшее значение за время измерений – 137 дБС.

Меры борьбы с шумом:

- 1) конструктивные – использование шумопоглощающих корпусов и барьеров, также частично эту функцию может выполнять тепловая изоляция оборудования и трубопроводов;
- 2) профилактика – периодическое измерение уровня шума и контроль опасных по шуму узлов машин и аппаратов (в первую очередь, движущиеся и вибрирующие: подшипники, мешалки, роторы);
- 3) использование СИЗ – наушников или берушей.

### 7.3.2 Недостаток естественного освещения

В комфортном рабочем пространстве важна правильная организация освещения. Недостаточная освещённость рабочей зоны может привести к снижению зрения и внимания оператора, что может стать причиной ЧС на производстве.

Таблица 33 – Требования к искусственному освещению работ высокой точности [45]

Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Средняя освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк, не менее	Коэффициент пульсации $K_p$ , %
от 0,3 до 0,5	III	Г	Средний Большой	400	15

Освещение помещения может быть естественным, искусственным или, что встречается чаще, так как позволяет добиться необходимого комфортного уровня освещения,

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

комбинированным. В данном случае примем также комбинированный способ освещения как оптимальный, так как работать предприятие будет непрерывно, в том числе в ночное время.

Работа оператора относится к разряду зрительных работ высокой точности. В таблице 33 представлены требования к искусственному освещению для данного вида работ.

Произведём расчёт искусственного освещения для помещения оператора, аналогичного помещению, в котором производилась разработка проекта.

Рабочее помещение имеет следующие параметры: длина  $A = 5$  м, ширина  $B = 4$  м, высота  $H = 3$  м.

В качестве светильников в помещении использовались открытые двухламповые светильники типа ШОД – 2-80. Мощность лампы 80 Вт. Длина светильника ( $l_{св}$ ) 1530 мм. Ширина светильника 284 мм. Для создания благоприятных зрительных условий, наименьшая допустимая высота подвеса светильника ШОД над полом 2,5 м.

Принимаем высоту свеса светильника  $h_c = 0,5$  м, высота нерегулируемой рабочей поверхности была ранее определена как  $h_{рп} = 0,725$  м. Таким образом, высота светильника над полом:

$$h_{п} = H - h_c = 3,0 - 0,5 = 2,5 \text{ м} \quad (24)$$

Тогда расчётная высота светильника над рабочей поверхностью составит:

$$h = h_{п} - h_{рп} = 2,5 - 0,725 = 1,875 \text{ м} \quad (25)$$

Расстояние между светильниками определяется как:

$$L = \lambda \cdot h \quad (26)$$

где  $\lambda$  – коэффициент расположения светильников (для светильников ШОД значение коэффициента варьируется в пределах 1,1-1,3).

Таким образом, расстояние между светильниками составит:

$$L = 1,1 \cdot 1,875 \approx 2,06 \text{ м} \quad (27)$$

Определим количество рядов светильников с люминесцентными лампами:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(4 - \frac{2}{3} \cdot 2,06)}{2,2} + 1 = 2,27 \quad (28)$$

Определим количество светильников с люминесцентными лампами для одного ряда:

$$n_{св} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{св} + 0,5} = \frac{(5 - \frac{2}{3} \cdot 2,06)}{1,53 + 0,5} = 1,77 \quad (29)$$

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ , в данном случае это приблизительно 0,686 м.

Так как размещение светильников происходит в два ряда, то на расстояние от торца светильника до стены остаётся  $l = 0,686$  м.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

На рисунке представлен план размещения светильников.

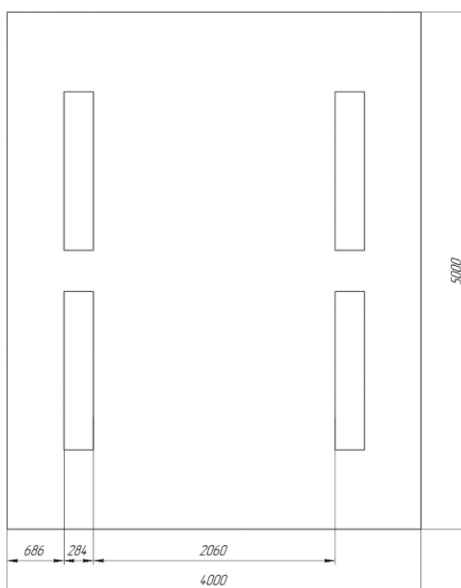


Рисунок 9 – План размещения светильников

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен и потолка.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h(A + B)} = \frac{5 \cdot 4}{2,06 \cdot (5 + 4)} \approx 1,1 \quad (30)$$

Значение коэффициента отражения поверхности потолка  $\rho_{\text{п}}$  для расчёта принимаем равным 50 % как для побеленного потолка. Стены в рабочем помещении оклеены светлыми обоями, таким образом коэффициент отражения стен  $\rho_{\text{ст}}$  составит 30 %. Коэффициент использования светового потока  $\eta$  составит 35 %.

Световой поток лампы  $\Phi$  определяется по следующей формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} \quad (31)$$

где  $E_n$  – нормативная освещённость по СП 52.13330.2016, лк;  $S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения (для люминисцентных ламп 1.1),  $N_{\text{л}}$  – число ламп в помещении (необходимо учесть число ламп в светильнике).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № инв.	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	

Принимаем коэффициент запаса  $K_3$  равным 1,5 как для помещения с малым выделением пыли.

Таким образом световой поток лампы

$$\Phi = \frac{400 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,35} = 4714 \text{ лм} \quad (32)$$

Полученное расчётное значение должно удовлетворять следующему условию:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{ст}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (33)$$

Стандартный световой поток люминесцентной лампы белой цветности (ЛБ) мощностью 80 Вт при напряжении сети 220 В составляет  $\Phi_{\text{ст}} = 5200$  лм. Таким образом отклонение рассчитанного светового потока составит:

$$\frac{5200 - 4715}{5200} \cdot 100\% = 9,35\% \quad (34)$$

Следовательно, необходимые параметры освещённости обеспечиваются с допустимым отклонением.

Номинальная электрическая мощность всей осветительной системы составит:

$$P = N_{\text{л}} \cdot p_{\text{л}} = 4 \cdot 80 = 320 \text{ Вт} \quad (35)$$

Таким образом, для стабилизации такого параметра рабочей зоны как освещение для помещения операторной размером 4x5 м рекомендуется использовать четыре люминесцентные энергосберегающие лампы мощностью 80 Вт.

### 7.3.3 Отклонения показателей микроклимата

Микроклимат определяется действующими на организм человека показателями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Длительное воздействие на человека неблагоприятных показателей микроклимата приводит к снижению производительности труда, а также и к заболеваниям, таким образом, в офисном помещении, где происходят работы над проектом, следует поддерживать параметры микроклимата, регламентируемые СанПиН 1.2.3685-21 [40].

Отклонения показателей микроклимата может быть вызвано погодой, сменой времени года, работой оборудования (излучение или поглощение тепла из окружающей среды) и др.

Категория тяжести труда оператора проектируемого производства по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» – Юб, работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением. При этом перепад температуры воздуха по высоте от уровня пола (0,1; 1,0; 1,5) м должен быть не более 3°C, перепад температуры

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

						ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата			75

воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 4 °С для категории работ Іб [40].

Таблица 34 – Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах в помещениях [40]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Іб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	Іб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

Согласно таблице 5.28 СанПиН 1.2.3685-21, помещение операторной относится ко второй категории – помещения, в которых люди заняты умственным трудом. Нормы показателей микроклимата для помещений этого типа представлены в таблице 34.

Для поддержания требуемых параметров микроклимата, офисное помещение, где происходит разработка, должно быть оборудовано системой центрального отопления, кондиционером и вентиляцией.

### 7.3.4 Наличие электромагнитных полей промышленных частот

Все электрические приборы создают электромагнитное излучение, в том числе экран монитора и электрооборудование типа насосов. Воздействие электромагнитного излучения на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела. При определенных уровнях такие поля оказывают вредное влияние на человека: нарушение функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем, это проявляется в повышенной утомляемости, понижении качества выполнения рабочих операций, изменении кровяного давления и пульса.

В таблице 35 представлены допустимые уровни электрических и магнитных полей промышленной частоты 50 Гц.

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	



Таблица 35 – Предельно допустимые уровни электрических и магнитных полей промышленной частоты 50 Гц [40]

Тип воздействия	Напряженность электрического поля, кВ/м	Индукция (напряженность магнитного поля), мкТл (А/м)
В общественных зданиях	0,5	10,0 (8,0)

Для снижения вредного воздействия следует увеличить расстояние от источника электромагнитного излучения (не менее 50 см от пользователя).

### 7.3.5 Вещества, непосредственно действующие на организм работающего

В технологическом процессе обращаются следующие химические вещества: раствор натриевой щелочи, соляная кислота, тринатрийфосфат, редкоземельные металлы. Классы опасности перечисленных веществ согласно ГОСТ 12.1.005-88 приведены в таблице 36.

Таблица 36 – Требования к веществам в воздухе рабочей зоны

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Действие на организм
Натриевая щелочь (раствор)	0,5	2	
Соляная кислота	5	2	О
Тринатрийфосфат	1	3	
Торий	0,05	1	
Уран	0,015	1	
Церий	5	3	
Самарий оксид, сульфат, хлорид	5	3	
Иттрий оксид	3	3	

*Класс опасности:* 1 – чрезвычайно опасные (экологическая система не восстанавливается); 2 – высокоопасные (восстановление не менее 30 лет); 3 – умеренно опасные (восстановление не менее 10 лет); 4 – малоопасные (самовосстановление не менее 3 лет).

*Действие на организм:* О – вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе.

Для исключения опасного воздействия химических реагентов на обслуживающий персонал и окружающую среду необходимо изолировать и герметизировать аппараты и трубопроводы, максимально исключить из технологии процессы, при которых необходим контакт персонала со средой (например, выгрузка материала из фильтров, ручная загрузка аппаратов). Также на оборудовании должны быть установлены предохранительные клапаны со сбросом в закрытую систему. Оборудование должно контролироваться обходом операторов не менее чем два раза в сутки, также должен осуществляться контроль опасных узлов трубопроводов (на участках арматуры и сварных соединений).

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист 77

### 7.3.6 Радиоактивное загрязнение (выше природного фона)

В составе монацитового концентрата присутствуют радиоактивные элементы – уран и торий. Кроме того, монацит (Ce, La, Nd, Th)PO<sub>4</sub> является основным промышленным источником тория и наиболее распространенным его минералом.

Воздействие радиации опасно тем, что имеет накопительный эффект и может проявляться через годы и десятилетия: мутации, раковые заболевания, нарушение обмена веществ и др.

По данным мониторинга склада монацитового концентрата все значения индивидуальных годовых доз облучения работников ГКУСО «УралМонацит» в период с 2018 по 2020 гг. находятся ниже установленного предела доз для работников группы А (20 м<sup>3</sup>в/год) и установленного контрольного уровня (18 м<sup>3</sup>в/год) [53].

Однако встает необходимость в изоляции и герметизации оборудования, а также автоматизации производства, где все операции и контроль технологических операций выполняются автоматически. Оператор в данном случае выполняет только контролирующую функцию: следит за приборами, параметрами процесса и состоянием оборудования. Обеспечить радиационный контроль рабочей зоны.

### 7.3.7 Высокие температуры материальных объектов производственной среды

В процессе производства предполагается обращение среды с температурами до 140 °С, что необходимо для проведения и/или интенсификации процессов. Высокие температуры могут стать причиной ожогов или нарушения микроклимата помещений.

Согласно СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» тепловой изоляции должны подвергаться все аппараты, трубопроводы и их элементы, температуры которых выше 40 или ниже 0 °С.

Температуру на поверхности тепловой изоляции следует принимать не более, °С:

а) для изолируемых поверхностей, расположенных в рабочей или обслуживаемой зонах помещений и содержащих

вещества с температурой:

- выше 500 °С 55
- от 150 до 500 °С 45
- 150 °С и ниже 40
- вспышки паров ниже 45 °С 35

б) для изолируемых поверхностей, расположенных на открытом воздухе в рабочей или обслуживаемой зоне:

Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.	Лист
ФЮРА.211139.001 ПЗ					

- при металлическом покровном слое 55
- для других видов покровного слоя 60.

Тепловая изоляция рассчитывается для каждого отдельного случая.

### 7.3.8 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Электрический ток от общей сети обеспечивает работу оборудования, КиП и компьютера оператора. Ток воздействует на организм:

- 1) термически, вызывая ожоги;
- 2) электролитически, способствуя разрушению (разложению) и изменению состава биологических жидкостей в организме;
- 3) биологически, вызывая судороги различных органов.

При нормальном режиме работы установки значения проходящих через тело человека напряжения и тока не должны превышать 2,0 В для напряжения и 0,3 мА для тока. Значения для аварийного режима работы представлены в таблице 37 [49].

Таблица 37 – Предельно допустимые значения при аварийном режиме работы установки

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Перем. 50 Гц	U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

Для защиты от случайного воздействия электрического тока при ремонте предлагается использование СИЗ: диэлектрические ботинки и перчатки [48]. Все электроустановки должны отвечать требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ), быть заземлены, для аппаратов на наружной площадке обеспечить молниезащиту, обеспечить требуемые расстояния и т.д.

### 7.4 Экологическая безопасность

В целом разработка входит в проект по улучшению экологической ситуации и ликвидации склада техногенных отходов «УралМонацит» с получением концентрата редкоземельных металлов, ториевого концентрата и товарного тринатрийфосфата.

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл



## 7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В результате нарушения технологического процесса могут возникнуть следующие ЧС:

- 1) проливы щелочи, кислоты;
- 2) попадание пыли и радиоактивного материала в рабочую зону;
- 3) возгорание проводки.

Наиболее вероятный вид ЧС – возгорание проводки.

Для предупреждения ЧС необходимо соблюдать меры техники безопасности по работе в том числе с электроприборами, предусмотреть средства пожаротушения, систему оповещения, проводить регулярный инструктаж и учения сотрудников. Данная чрезвычайная ситуация сопровождается горением.

В случае возникновения ЧС действовать аналогично ситуации с пожаром:

- 1) отключить от сети электроприборы и вентиляцию;
- 2) сообщить о возникновении возгорания с помощью пожарной сигнализации, если автоматические датчики не сработали;
- 3) при небольшом возгорании воспользоваться средствами пожаротушения.

Если, определив визуально, возгорание нельзя потушить самостоятельно, покинуть помещение и дождаться прибытия пожарной бригады, информируя её о текущей ситуации и планировке здания.

### Заключение

Результатом анализа социальной ответственности проектируемой технологии стали ряд мероприятий по снижению вредных и опасных факторов технологического процесса, усовершенствование как конструкции аппарата, так и помещения, в котором планируется проводить технологический процесс, рассчитана оптимальная система освещения рабочего места оператора. Проанализировано влияние на экологию в целом и возможное негативное влияние непосредственно на сотрудников, принято решение о необходимых средствах коллективной и индивидуальной защиты. Разработан план действий при возникновении чрезвычайной ситуации.

Категория операторной и производственного помещения по электробезопасности согласно ПУЭ – невзрываопожароопасные зоны, так как в них не обращаются ЛВЖ, ГЖ или горючие пыли.

Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок – II, неэлектротехнический персонал, обслуживающий установки и оборудование с электроприводом [56].

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						81

Категория тяжести труда оператора проектируемого производства по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» – Юб, работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением [40].

Категория помещения операторной по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» – Д, негорючие вещества в холодном состоянии, производственное помещение – Г, негорючие вещества в горячем состоянии, наружные установки – ГН, негорючие вещества в горячем состоянии [57, 58].

Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду – II, так как производство относится к получению оксидов металлов, в технологическом процессе используется кислота и щелочь [59].

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ					Лист
										82
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата						

## Заключение

В результате работы проанализированы используемые и возможные схемы переработки монацита с применением различных реагентов и условий процесса. Разработана технологическая схема переработки монацита с получением коллективного концентрата РЗМ, концентрата тория и получением товарного тринатрийфосфата. Данная схема отличается выгодными экономическими, достигаемыми за счет уменьшения количества единиц оборудования и снижения рабочих параметров процесса без ущерба выходу продуктов.

Согласно расчету материального баланса из каждой тонны Красноуфимского монацитового концентрата получается 553 кг гидроксидов редкоземельных металлов, 40 кг гидроксида тория и 591 кг тринатрифосфата.

Результаты финансового анализа проекта по переработке монацита с получением концентрата редкоземельных металлов:

1) Проект превосходит конкурентные технические решения в рамках поставленной задачи: позволяет осуществить комплексную переработку сырья с получением нескольких продуктов высокого качества (концентрат РЗМ и тринатрийфосфат). Обеспечивает большую безопасность за счет использования жидкой фазы со сниженными параметрами, что позволяет также снизить стоимость оборудования и трубопроводов;

2) Исполнителями являются руководитель и инженер, выполняющий магистерскую диссертацию, срок реализации проекта – около 4 месяцев;

3) Общая стоимость реализации проекта – 391728 руб.;

4) Проект имеет высокий уровень готовности к коммерциализации, наилучшим вариантом коммерциализации является инжиниринг (со строительством предприятия «под ключ»). Кроме экономической выгоды, проект сможет решить экологическую проблему Красноуфимского монацита.

Экономическая эффективность проекта определяется невысокой стоимостью исходного сырья – монацитового концентрата, и достаточно высокой стоимостью получаемого концентрата редкоземельных металлов. Невысокая стоимость исходного сырья, Красноуфимского монацита, обеспечивается его характером – это техногенный отход, т.е. уже добытое и концентрированное сырье, не требующее дополнительных стадий обработки при переработке по предлагаемой технологии.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
						83





## Список используемых источников

1. Половов, И. Б. Ядерно-химическая технология тория: учеб. пособие / И. Б. Половов, А. В. Абрамов, Р. В. Камалов; Мин-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 143 с.
2. Проект «Комплекс по переработке монацитового концентрата» [Электронный ресурс] // Красноуфимский монацит [сайт]. URL: <http://www.monazite.ru> (дата обращения: 16.03.2022).
3. Нерешенная монацитовая проблема [Электронный ресурс] // журнал Редкие земли / Rare Earth [сайт]. URL: <http://rareearth.ru/ru/pub/20140328/00460.html> (дата обращения: 16.03.2022).
4. Химия и технология редких и рассеянных элементов. Ч.2. Под ред. К.А. Большакова. Учебное пособие для вузов. – М: «Высш. школа», 1976. – 360 с.
5. Репина, С. А. Минералогия монацитовых концентратов ОГУ «Уралмонацит» / С. А. Репина, В. И. Попова, Л. Ф. Баженова // Уральский минералогический сборник. – 2008 – № 15. – с. 17-26.
6. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. – М: Наука, 1976. – 255 с.
7. Муслимова А.В. Извлечение редкоземельных элементов из монацитового концентрата: дис. ... канд. хим. наук. – СТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – 180 с.
8. Трубаков Ю.М. Щелочная автоклавная технология вскрытия монацитового концентрата: дис. ... канд. техн. наук. – АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», 2019. – 130 с.
9. Самсонов, М.Д. Выделение редкоземельных элементов, урана и тория из монацитового концентрата методом сверхкритической флюидной экстракции / М. Д. Самсонова, Т.И. Трофимова, Ю.М. Куляко, С.Е. Винокурова, Д.А. Маликова, Г.Ш. Баторшинб, Б.Ф. Мясоедова. // Радиохимия, 2015. – Т. 57. – № 4. – С. 291-294.
10. Куликова, С.А. Разработка нового метода выделения редкоземельных элементов урана и тория из монацитового концентрата / С.А. Куликова, М.Д. Самсонов, С.Е. Винокуров, Е.А. Тюпина. // Успехи в химии и химической технологии, 2014. – Т. 28. – № 6. – С. 89-91.
11. Каплан Г. Е. Торий. Его сырьевые ресурсы, химия и технология / Г. Е. Каплан, Ю. И. Зарембо, Т. А. Успенская, И. В. Чирков. – Москва: Атомиздат, 1960. – 224 с.
12. Коровин С.С. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Материаловедение и технология новых материалов", специальность "Хим. технология ред. элементов и материалов на их основе": в 3

Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		Инв. № подл.		
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ					Лист
										85







50. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). – ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет, 2022. – 80 с.

51. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. – ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет, 2022. – 79 с.

52. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: Минрегион России, 2012. – 50 с.

53. Отчет об оказанных услугах по проведению радиационного мониторинга на базе хранения монацитового концентрата в Муниципальном образовании Красноуфимский округ [Электронный ресурс] // Красноуфимский монацит [сайт]. URL: <http://www.monazite.ru/content/Otchetradiaciya2021.pdf> (дата обращения: 13.05.2022).

54. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_98464/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/) (дата обращения: 03.05.2020).

55. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет, 2022. – 40 с.

56. Приказ от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок». – ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет, 2022. – 102 с.

57. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 33 с.

58. Постановление от 31 декабря 2020 года N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий». – ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет, 2022. – 10 с.

59. ГОСТ Р 56598-2015 Обращение с отходами. Общие требования к полигонам для захоронения отходов – М.: Стандартиформ, 2019. – 23 с.

60. Liquid Membranes: Theory and Applications (ACS Symposium Series No. 347, Ed. by R. D. Noble and J. D. Way (American Chemical Society, Washington, DC, 1987).

61. Liquid Membranes: Chemical Applications, Ed. By T. Araki and H. Tsukube (CRC, Boca Raton, 1990).

62. Chemical Separations with Liquid Membranes (ACS Symposium Series No. 642), Ed. by R. A. Bartsch and J. D. Way (American Chemical Society, Washington, DC, 1996).

63. E. V. Yurtov and M. Yu. Koroleva, Petroleum Chemistry, Vol. 54, No. 8: Liquid Membranes for Extraction (2014), pp. 581–59.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

						ФЮРА.211139.001 ПЗ	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата			89

64. E. V. Yurtov and M. Yu. Koroleva, *Uspekhi Khimii*, Vol. 60, 2422: Extracting emulsions for the extraction of substances from aqueous media (1991).

65. Battsengel, A., Batnasan, A., Haga, K., Shibayama, A. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, No. 6: Selective separation of light and heavy rare earth elements from the pregnant leach solution of apatite ore with D2EHPA (2018), pp. 517-530.

66. M. Aguilar, J.L. Cortina, *Solvent Extraction and Liquid membranes. Fundamentals and Applications in New Materials*, CRC Press Taylor & Francis, Boca Raton, Florida (USA), 2008.

67. Makertiharta, I.; Dharmawijaya, P.; Zunita, M.; Wenten, I. Rare earth element enrichment using membrane based solvent extraction. *AIP Conf. Proc.* 2017, 1805.

68. D.S. Flett (1983) *Solvent extraction in hydrometallurgy. Hydrometallurgy: Research, Development and Plant Practice. Proc. 3rd Int. Symp. Hydrometal, TMS-AIME, Warrendale, P., 39.*

69. K. Meleson, S. Graves, and T. G. Mason, *Soft Materials* No. 2: Formation of Concentrated Nanoemulsions by Extreme Shear (2004), pp. 109-123.

Инд. № подл.	Подп. и дата				Лист
	Взам. инв. №				
Подп. и дата	Инд. № дудл.				90
	Инд. № подл.				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.211139.001 ПЗ

## Приложение II

(справочное)

### Liquid membrane extraction

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ02	Перминова Ирина Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Учёная степень	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		

Консультант-лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Учёная степень	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Евсеева Арина Михайловна			

## LIQUID MEMBRANES FOR EXTRACTION

Liquid membranes are semipermeable barriers between two liquid or gas phases [60-62]; they can be used for the separation and concentration of substances. Thin films are made up of liquids which are stable in another liquid, aqueous or organic phase. Thus the liquid must not dissolve in this phase, but must be prevented from collapsing into small droplets.

Membrane extraction was among the first areas of application of liquid membranes [61]. The liquid membrane, which contained a carrier substance, separated two aqueous solutions. Under the action of a chemical potential gradient, the selective transfer of an extracted component from the first aqueous solution to the second one was accomplished. The term membrane extraction was also used for another process proposed earlier, when a selective solid membrane, to which an electric potential could be applied, separated the aqueous and organic extraction phases.

In this work, it is proposed to use liquid membrane extraction to separate the collective concentrate of rare earth metals into individual components.

### 1. Basic principle of membrane extraction

In membrane extraction, the processes proceed in a system of three liquid phases. In this case, one of the phases – the liquid membrane – separates two immiscible solutions with different composition. From one side, the liquid membrane *S* contacts with the feed solution *F* and with the back-extracting or receiving solution *R* from the other side (Figure 1) [63].

Membrane extraction has a number of advantages over traditional extraction. The most important merit of membrane extraction is the possibility of simultaneously conducting the processes of extraction and back extraction of substances and, correspondingly, a decrease in the number of processing stages. The combination of extraction and back extraction makes it possible to reach high diffusing substance concentration differences between the feed and receiving phases



at one stage. If the diffusing substance dissociates or forms an insoluble compound in the phase R, the almost complete extraction of the target substance from the initial phase F can be reached.

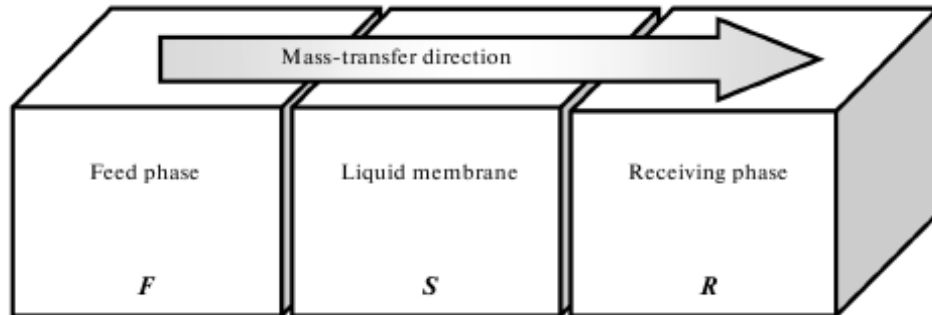


Figure 1 – Diagram of membrane extraction.

The results to be obtained by a multistage process of usual extraction can be reached in a single step by membrane extraction. This is especially important in the extraction of expensive or highly toxic substances and in the processing of low concentrated solutions.

Depending on the problem to be solved, both the almost complete extraction of a target component from the feed solution and the maximum possible concentration in the receiving solution for the given system can be attained.

Extractant losses due to both dissolution and droplet entrainment depend on extractant concentration, all other factors being equal. The extractant concentration in membrane extraction is considerably lower than that in usual extraction.

On the other hand, membrane extraction is more complex than usual extraction in terms of process organization.

### 1.1 Versions of membrane extraction

The most common versions of membrane extraction are shown in figure 2 [63]:

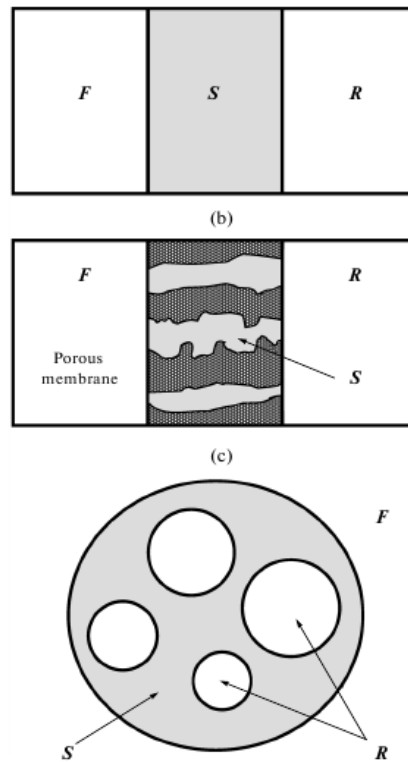


Figure 2 – Main versions of extraction processes with liquid membranes:  
 a – free, b – impregnated, c – emulsion membranes

1) Extraction with free liquid membranes. Free or bulk liquid membranes are bulk organic phases (with a thickness of 0.1–5.0 cm) contacting with two aqueous phases spatially separated from each other. The disadvantages include a noticeable liquid membrane entrainment in the course of extraction and the contamination of feed and receiving solutions by the organic components of a liquid membrane. Also, emulsification or gelation occurs on the surface of the liquid membrane, which complicates the hydrodynamic conditions and reduces the permeability of porous membranes.

2) Extraction with impregnated (supported) liquid membranes obtained upon the impregnation of the pores of a solid matrix, in which a liquid is retained under the action of capillary forces. The most important advantage of the impregnated liquid membranes is low membrane phase consumption. However, at this small amount of a membrane phase, it is rapidly washed out with the destruction of the impregnated membrane. These devices are not intended for the treatment of

solutions containing solid impurities, which block the pores of flat and fiber membranes.

3) Membrane extraction in multiple emulsions is the most complex process. It consists of the following four main stages: the preparation of an extracting emulsion, the contact of the extracting emulsion with a feed solution, the separation of a raffinate, and the separation phase in the extracting emulsion (Figure 3) [64]. Although the version of membrane extraction in a multiple emulsion is efficient, additional problems appear here related to the stabilization of the emulsion during extraction. Furthermore, in the case of high requirements imposed on the product purity, an additional problem of the removal of a surfactant used for the stabilization of extracting emulsions appears.

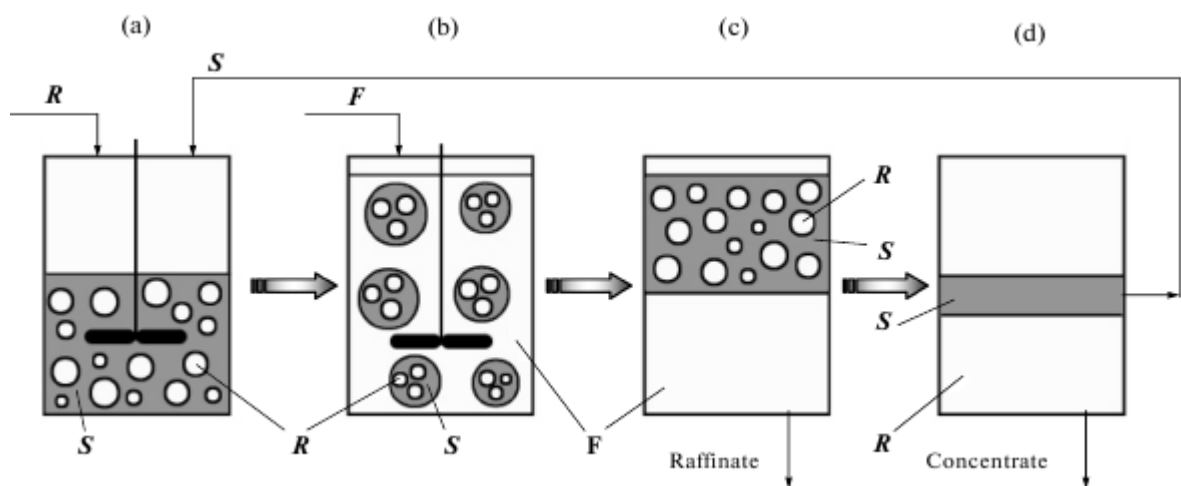


Figure 3 – Diagram of a membrane extraction process in a multiple emulsion: a – preparation of the extracting emulsion, b – contact of the extracting emulsion with the feed solution, c – phase separation in raffinate, d – phase separation in the extracting emulsion

In our opinion, the most promising method is membrane emulsion extraction. By the side of all the advantages of liquid membrane extraction, this process is quite simple to scale and automate. The extraction process proceeds intensively and has a number of parameters, by changing which, it is possible to control the process:

1) the choice of extractants is practically unlimited, which makes it possible to isolate almost any component from the solution;

2) the choice of a surfactant and a mixing condition allows you to create emulsions of the required dispersion, depending on the substance to be extracted and the rate of emulsion separation when extracting the extract at the last stage;

3) mixing also makes it possible to intensify the process, and the fineness of the emulsion determines the contact surface of the phases and, accordingly, also affects the rate of extraction.

In addition, the process requires low costs of the re-extractant, and the extractant, which acts as a membrane, returns to the cycle with small losses.

## 2. Membrane technology for rare earth element separation

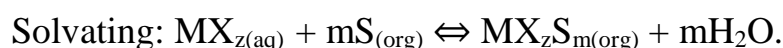
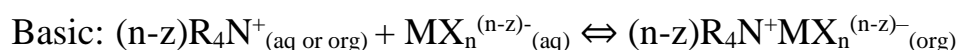
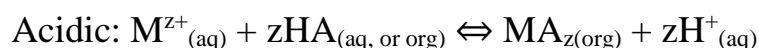
Rare earth elements have similar physical and chemical properties, thus it is difficult to separate one from each other. A rare earth element is relatively abundant in earth's crust but rarely occurs in high concentrated deposits. Traditionally, ion-exchange and solvent extraction techniques have been developed to separate and purify single rare earth solutions or compounds. Recently, membrane starts to gain attention for rare earth separation by combining membrane and proven technologies such as solvent extraction. A membrane based process offers selective, reliable, energy efficient and easy to scale up separation. During a membrane based separation process, one phase passes through membrane pores while the other phase is rejected. There is no direct mixing of two phases thus the solvent loss is very low. Membrane can also decrease physical properties requirement for solvent (viscosity, density) and backmixing, eliminate flooding phenomenon and provide large interfacial area for mass transfer.

The rare earth element (REE) can be classified into light rare earths (LRE) (e.g. lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, and samarium) and heavy rare earths (HRE) (europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, and lutetium) according to International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [65].

Membranes are selective barriers that can transport particular species from one side to another.

## 2.1 Extraction mechanisms

Today, the wide range of available extractants includes cation and anion exchangers, chelating reagents, and reagents that complex the species of interest by solvation. Other components can also be added to the organic phase as synergists (to improve extraction or separation factors), as phase modifiers (to enhance phase separation or to increase the solubility of certain species), as antioxidants (to retard or prevent degradation of components of the organic phase), or as phase-transfer catalysts (to improve the reaction kinetics) [66].



Acid extractants follow a *cation exchange extraction mechanism* that involve displacement of a proton from extractant by the extracted metal and form a neutral complex that is soluble in organic. The common acid extractants used are phosphoric, phosphonic, and carboxylic acids (C7-C15). In *solvating extractants*, the extractant removes some water molecules from hydrated metallic ion to boost their solubility in organic phase. The most common solvating extractant in REE separation is tri-butyl-phosphate (TBP). Basic extractants remove metallic ions from aqueous solutions as anionic complexes by *anion exchange*. Typical basic extractants are long chain amines [67].

## 2.2 Solvent Requirements

In choosing an optimum solvent composition for a commercial operation, chemical, physical, technical, and economic factors need to be considered. In particular, these include [68]:

- Selectivity for the species of interest over other components in the aqueous feed;
- Loading capacity of the organic phase for the species of interest;
- Need to control pH and consumption of neutralizing reagents in particular applications;
- Ability to strip the extracted species with relatively inexpensive reagents;
- Rates of extraction and stripping;
- Chemical stability of the organic phase in contact with the particular aqueous phase;
- Aqueous-phase solubility of the organic components;
- Organic-phase density and viscosity;
- Interfacial properties of the aqueous-organic system;
- Safety factors such as toxicity, volatility, and flammability;
- Cost of initial fill and of regular top-ups.

The choice of organic-phase components favoring any one of these properties invariably involves poorer performance in other properties. It is often necessary to make compromises in choosing an optimum solvent for a specific application.

### 2.3 Membrane emulsion extraction

Rigorous mathematical models together with the application of optimization tools that enable the prediction of the operation optimum conditions are needed to promote liquid membranes industrial application.

On the dispersion of an emulsion containing the receiving solution in an internal phase, a multiple emulsion is formed in the feed phase. In membrane extraction performed in a multiple emulsion, it is necessary to consider the stability of the extracting emulsions and the stability of the multiple emulsion in the course of extraction.

Usually, concentrated emulsions close to highly concentrated ones are used for membrane extraction in order to maximally increase their capacity for the target component. The mean diameter of the drops of the receiving solution dispersed in the liquid membrane varies in a range from 0.2 to 5  $\mu\text{m}$  [63].

At the first stage, the organic phase containing a carrier and a surfactant is intensely stirred with the receiving aqueous solution. For this purpose, mixer apparatuses with propeller and turbine mixers; colloid mill or ultrasonic dispersion are used. In a colloid mill immiscible liquids flow through a narrow gap between a rotor revolving at a high speed and a static stator. Usually, the mixture is cooled in the process of emulsification.

Ultrasonic dispersion results in emulsions with a narrower size distribution of internal phase drops. However, effective emulsification occurs only in immediate proximity to the emitting waveguide; the mechanical agitation of the system is necessary for the emulsification of large volumes. Therefore, it is most reasonable to use ultrasonic dispersion for obtaining small batches of extracting emulsions. At present, high-pressure homogenizers, in which dispersion is accomplished by passing liquids through small gaps or microchannels at a high speed under the action of high pressures, are intensively developed. This method makes it possible to obtain the almost monodisperse drops of the internal phase from 100 nm to several micrometers in size [69].

The next stage, extraction in a multiple emulsion, is mainly performed in either apparatuses of the mixer–settler type or extraction columns. After the completion of mass transfer, the extracting emulsion is separated from the raffinate by gravitational segregation.

At the final stage, the emulsion is separated into an organic phase and an aqueous phase enriched in the target component. The thermal decomposing is most frequently used. Centrifugation is effective for unstable emulsions at a significant difference between the densities of the phases.

## 2.4 Operating problems

Emulsion liquid membrane separation processes remain vulnerable to one or more of four major problems. Difficulties lie in developing liquid membranes that combine high levels of both stability and permeability with acceptably low levels of swelling and ease of subsequent demulsification for membrane and solute recovery.

Some factors that affect mixer efficiency are the following [66]:

- Mixer residence time. The longer the residence time, the closer the approach to equilibrium of the mixture.
- Impeller speed. The rule for tip speed in most SX circuits is 270 to 350 m/min. This is high enough to ensure good mass transfer, but not too high to cause excessive entrainment due to high shear and slow-breaking emulsions. Excessive impeller speeds can also cause vortex formation in the mixer and enhance air entrainment.
- Organic-Aqueous (O:A) Ratio. An O:A volumetric ratio in the mixing compartment near unity produces the best mass transfer.
- Temperature. Increasing temperature improves mixer efficiency.
- Short circuiting. This occurs when the residence time of a dispersion is lower than the average in the circuit. It is generally desired to have the extraction or stripping circuit operate as close as possible to plug-flow conditions.
- Mixer and impeller design. Modern approaches employ the use of computational fluid dynamics (CFD) modelling to improve designs of mixer boxes, baffles, and impellers. The choice of whether or not to use mixer-settlers or columns can also influence the efficiencies achievable.

It is inevitable that some losses of extractant will occur from evaporation, aqueous solubility, and entrainment of the organic phase after mixing in the aqueous raffinate. However, because of problems caused by the release of such compounds into the environment, it is necessary to minimize them as much as possible. This can be achieved by a combination of chemistry and good equipment design. Process chemistry will generally determine the aqueous solubility, and operating with acidic



extractants at high pH values will inevitably increase solubility. This can be controlled in some situations by using other alkali metals, such as magnesium, where the aqueous solubility of the salt will be lower. The size and structure of the alkyl chains attached to the reagent also determine solubility losses. Entrainment is determined by the operating condition and in particular the mixing process.

The expanding population, economic growth, and desire for new technologies are driving the demand for rare earth elements which are critical. This growth requires new production of rare earths that is secure and environmentally sustainable. There are hundreds of rare earth deposits in the world at different stages of development, from exploration to technogenic deposits. High-purity rare earth element production is a critical component in commercial defense and other high-value applications.