

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
проект участка разложения монацита производительностью 1000 тонн в год

УДК 669.298:669.85/86:669.882

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0411	Бурумбаев А.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Амелина Г.Н.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Акимов Д.В.			

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭАФУ	Вильнина А.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ХТРЭ	Крайденко Р.И.	д.х.н.		

Томск 2017

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 18.05.02

«Химическая технология материалов современной энергетики»

Код результата	Результаты обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
P3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
P4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
P5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижений науки и техники, уметь обрабатывать и критически оценивать полученные данные, делать выводы, формулировать практические рекомендации по их применению; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства

<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Р.И. Крайденко

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0411	Бурумбаеву А.И.

Тема работы:

проект участка разложения монацита производительностью 1000 тонн в год	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	9738/с от 15.11.2016
Срок сдачи студентом выполненной работы	10.01.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Исходные данные к работе	
---------------------------------	--

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект исследования - технологическая последовательность щелочного выщелачивания монацитового концентрата. Основной аппарат – шаровая барабанная мельница. Проектируемый аппарат для вскрытия монацитового концентрата работает в непрерывном режиме. Степень вскрытия концентрата 99,9 %. В работе используется Красноуфимский монацитовый концентрат. Разрабатываемая технология должна быть экономически эффективна и как можно экологически безопасна.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение. 2. Аналитический обзор существующих методов. 3. Расчетная и аналитическая часть. 3.1 Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 3.2 Расчет материального баланса. 3.3 Расчет теплового баланса. 3.4 Аппаратный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов технологической схемы. 3.5 Механический расчет основного аппарата. 3.6 Гидравлический расчет. 3.7 Энергетический расчет. 4. Автоматизация процесса. 5. План размещения оборудования. 6. Охрана труда и техника безопасности. 7. Расчет периода окупаемости предприятия.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Аппаратурно-технологическая схема. 3. План размещения оборудования. 4. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93.2.034-83). 5. Техничко-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.ф.н., доцент, Тухватулина Л.Р.
Социальная ответственность	Акимов Д.В.
Автоматизация процесса	к.т.н., доцент, Вильнина А.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы написаны на русском языке	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	3 октября 2016 года
---	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ХТРЭ	Амелина Г.Н.	к.х.н.		03.10.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0411	Бурумбаев А.И.		03.10.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа 141 с., 2 рис., 25 табл., 46 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: щелочное выщелачивание, монацит, редкоземельные металлы (РЗМ), торий, уран, хлорирование, нейтрализация, осаждение, кристаллизация.

Объектом исследования является технологическая последовательность вскрытия монацита.

Цель работы – спроектировать участок цеха для вскрытия монацита.

В процессе работы над проектом были рассчитаны термодинамика, материальные и тепловые балансы процессов вскрытия монацита, хлорирования гидроксидов тория, урана и РЗЭ, осаждения хлоридов урана, тория и РЗЭ.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Объем и габаритные размеры основного аппарата составляют: $V = 0,4 \text{ м}^3$, $D = 0,6 \text{ м}$, $L = 1,4 \text{ м}$.

Область применения – химическая технология редких металлов.

Экономическая эффективность/значимость работы: капитальные затраты составляют 36980003,68 рублей. Экономический эффект от вложений – снижение себестоимости продукта и увеличение прибыли.

В будущем планируется улучшение технологической схемы, подбор оптимальных параметров для следующих стадий переработки, усовершенствование проекта по переработке монацитовых руд.

Предлагаемый метод позволит увеличить эффективность переработки монацитового концентрата и снизить себестоимость конечного продукта.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

1. Определения:

Водородный показатель (pH) – мера активности (в очень разбавленных растворах она эквивалентна концентрации) ионов водорода в растворе, и количественно выражающая его кислотность, вычисляется как отрицательный (взятый с обратным знаком) десятичный логарифм активности водородных ионов, выраженной в молях на один литр.

Выщелачивающий раствор – раствор, содержащий необходимые для извлечения полезного компонента реагенты и подаваемый в аппараты для осуществления процесса выщелачивания.

Выщелачивание – перевод в раствор (обычно водный) одного или нескольких компонентов твёрдого вещества с помощью водного или органического растворителя, часто при участии газов окислителей или восстановителей.

Извлечение – количество металла в конечном или промежуточном продуктах технологических работ, выраженное в весовых единицах или процентах к общему весу полезного компонента в пробе, в поступающих на переработку растворах или находившегося в недрах.

Растворение – физико-химический процесс, протекающий между твердой и жидкой фазами и характеризующийся переходами твердого вещества в раствор. Растворенным веществом считается тот из компонентов, который при обычных условиях находится в агрегатном состоянии, отличном от агрегатного состояния растворителя.

Реагент – химическое вещество (обычно в виде водного раствора), используемое для выщелачивания или ускорения извлечения полезного компонента.

Степень извлечения – количество извлеченного из минерала полезного компонента (отношение веса добытого металла к его содержанию в минерале).

Обычно выражается в % относительно исходного содержания, реже в долях единицы.

Техника безопасности (охрана труда) – система технических, санитарногигиенических и правовых мероприятий, обеспечивающих безопасные для жизни и здоровья условия труда работающих.

Технологический (промышленный) раствор – водный раствор реагентов и продуктов их взаимодействия с рудой и рудовмещающими породами.

Удельный расход реагента – количество реагента, расходуемого на извлечение единицы массы полезного компонента (кг/кг) или на взаимодействие с его минеральной массой (кг/т, %).

Фильтрация – движение жидкости в пористой среде под действием гравитации или градиента напора.

2. Обозначения и сокращения:

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

РЗМ – редкоземельные металлы;

РЗЭ – редкоземельные элементы;

ФСА – функциональная схема автоматизации.

3. Нормативные ссылки:

ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные надписи.

ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы.

ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Форматы.

ГОСТ 2.316-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах.

ГОСТ 2.721-74 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

ГОСТ 3.1102-2011 Единая система технологической документации (ЕСТД). Стадии разработки и виды документов. Общие положения.

ГОСТ 3.1105-2011 Единая система технологической документации (ЕСТД). Формы и правила оформления документов общего назначения.

ГОСТ Р 7.0.5-2008 СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.1-2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76) СИБИД. Реферат и аннотация. Общие требования.

ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин.

ГОСТ 13372-78 Сосуды и аппараты. Ряд номинальных объемов.

ГОСТ 9931-85 Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 23838-89 Здания предприятий. Параметры.

СП 56.13330.2011 Производственные здания.

СП 29.13330.2011 Полы.

СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий.

СанПин 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных мест.

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

ГОСТ Р 12.4.240-2007. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная дополнительная для работ с радиоактивными и химически токсичными веществами.

НП 067-05. Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации.

ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.

СанПиНом 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.

СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

ГН 2.1.6.1339-03. Ориентировочные безопасные уровни воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

ГОСТ 24.301-80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению текстовых документов.

ГОСТ 24.302-80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем.

ГОСТ 24.303-80 Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.

Оглавление

1 Введение.....	12
2. Аналитический обзор существующих методов переработки монацита	15
2.1 Общие сведения и основные свойства РЗЭ.....	15
2.2 Области применения РЗЭ.....	16
2.3 Общие сведения и основные свойства тория.....	17
2.4 Области применения тория.....	18
2.5 Обзор рынка РЗМ и тория.....	19
2.6 Краткий обзор существующих методов производства и оборудования	21
2.7 Теория процесса	25
2.7.1 Общие сведения	25
2.7.2 Термодинамика процесса выщелачивания.....	27
2.7.3 Кинетика процесса выщелачивания	31
2.8 Объект и методы разработки	35
3 Расчеты и аналитическая часть.....	37
3.1 Теория выбранного процесса и описание аппаратурно-технологической схемы	37
3.2 Расчет материального баланса.....	39
3.3 Тепловой расчет	53
3.4 Аппаратурный расчет	64
3.4.1 Аппаратурный расчет шаровой барабанной мельницы.....	64
3.4.2 Аппаратурный расчет аппаратов с мешалками	71
3.5 Механический расчет основного аппарата	74
4 Автоматизация процесса	81
5. План размещения оборудования	92
5.1 Основные конструктивные элементы здания	92
6. Социальная ответственность	97
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	111

1 Введение

Редкоземельные элементы представляют особый интерес и стратегическую важность для современного мирового промышленного производства. Эти элементы и их химические соединения применяются в инновационных исследованиях и практических технологиях в металлургии, атомной энергетике, оптике, медицине, химической и стекольной промышленности, производстве телекоммуникационного оборудования, электронике, лазерной технике и в многих других областях. В современной промышленности без применения редкоземельных металлов практически невозможно развитие энерго- и ресурсосберегающих технологий, ядерной энергетики, космических систем, современной медицинской аппаратуры, создание перспективных видов вооружений, военной и специальной техники, развитие других приоритетных направлений науки и техники.

Спрос на отдельные элементы, их соединения и смеси в мире постоянно растет. Так, с 2000 года рынок РЗМ увеличился более чем в 1,5 раза с 80 тыс. тонн до 130 тыс. тонн в 2013 году. Согласно [1], анализ мирового рынка показывает, что к 2020 году объем спроса со стороны промышленности возрастет до 225-250 тыс. тонн. Однако производство сдерживается особенностями мировой экономики. Довольно большое количество стран обладают ощутимыми запасами редкоземельных элементов (США, Австралия, Бразилия, Индия, Россия, Южно-Африканская Республика, Малайзия и Малави), но в последние годы основная добыча руды и производство РЗЭ – до 97 % в 2013 году – сосредоточено в Китае [2].

Российская Федерация по запасам РЗМ в мире занимает второе место. Но, несмотря на это, основная часть редкоземельной продукции, используемой в России, импортируется из Китая и Бразилии (ниобий) [2]. После развала СССР единая редкометаллическая промышленность распалась и оказалась в разных государствах (Казахстан, Россия, Эстония). В настоящее время в России всего три предприятия, способные выпускать РЗМ продукцию:

Ловозерская горно-обогатительная компания, Соликамский магниевый завод и Чепецкий механический завод. Все эти предприятия используют, в основном, импортное сырье.

Чтобы снизить зависимость от импорта РЗМ-концентратов и готовой продукции, увеличить производство и потребление РЗМ в России, необходимо разрабатывать новые технологии и вводить в эксплуатацию известные месторождения РЗЭ.

На территории РФ расположено несколько крупных месторождений РЗМ: Ловозерское (Мурманская область, Кольский полуостров), пока не разрабатываемые Туганское (Томская область) и Томтор (Западная Якутия). В настоящее время основная часть концентратов РЗМ Ловозерского месторождения экспортируется в Эстонию [2], руды Туганского месторождения не используются для получения РЗМ, а Томтор не введен в разработку. Поэтому, с точки зрения наиболее скорого получения концентратов редкоземельных элементов, представляет интерес так называемое «Красноуфимское месторождение», которое расположено неподалеку от г. Красноуфимск Свердловской области и представляет собой монацитовый концентрат (МК), закупленный в сороковых годах 20-го века в Индии, Северной Корее, Китае и Монголии [3].

Монацит был закуплен с целью выделения из него тория для решения «атомного проекта», но после решения о разработке уран-ториевого цикла, его переработка была отложена на неопределенное время. Этот монацит содержит до 54 % РЗЭ и может служить сырьем для их получения. На складах ГУ «УралМонацит» хранится 82 тыс. тонны монацита, его переработка позволит обеспечить российскую промышленность ценными компонентами, а также улучшить экологическую и радиоактивную обстановку в районе г. Красноуфимска.

Проектируемый цех планируется разместить на территории склада ГУ «УралМонацит». В этом случае сырье будет находиться в непосредственной близости от технологической линии. Рядом с

г. Красноуфимском расположена железная дорога, существует разветвленная сеть автомобильных дорог, что позволит осуществлять строительство и вывозить готовую продукцию. Электроэнергию планируется поставлять из единой системы энергопотребления Свердловской области, которая обеспечивается мощностями Белоярской АЭС, Нижнетуринской ГРЭС и четырьмя ТЭЦ.

Переработку МК планируется проводить с применением щелочной технологии, что позволит уже на первых стадиях отделить фосфор и получать сопутствующий товарный продукт – тринатрийфосфат [4].

2. Аналитический обзор существующих методов переработки монацита

2.1 Общие сведения и основные свойства РЗЭ

Большая часть редкоземельных элементов – это металлы. Поэтому термин «редкие элементы» заменяют равнозначным – «редкие металлы» [1, 2].

РЗЭ обладают высокой химической активностью. Образуют прочные оксиды, галогениды, сульфиды, разлагаются водой и легкорастворимы в серной, азотной и соляной кислотах.

Гидроксиды РЗЭ имеют основной характер, малорастворимы в воде и щелочах. В ряде лантаноидов основность понижается от церия к лютецию. Например, при осаждении гидроксидов РЗЭ, pH уменьшается от 7,82 до 6,82 в ряду от церия к лютецию [4].

Хлориды, сульфиты и нитраты лантаноидов растворимы в воде и кристаллизуются в виде кристаллогидратов различного состава.

Фториды и оксалаты малорастворимы в разбавленных кислотах и воде. Осаждаются в виде кристаллогидратов или безводных солей.

Фосфаты, карбонаты и феррицианиды лантаноидов труднорастворимы в воде. Соли лантаноидов образуют комплексные соли с солями аммония и щелочных металлов.

Также, комплексные соединения, лантаноиды образуют с органическими веществами. От лантана к лютецию возрастает устойчивость комплексных соединений с органическими кислотами [1].

2.2 Области применения РЗЭ

В связи с тем, что РЗЭ широко применяются в производстве многочисленных высокотехнологических изделий (сверхпроводников, высокотемпературной керамики, лазеров, авиационных турбин, высококачественного оптического стекла, военной техники, гибридных авто, плоских телеэкранов и смартфонов), их потребление в развитых странах мира растёт с каждым годом.

Для атомной промышленности наибольший интерес представляют РЗМ, которые обладают высоким сечением захвата тепловых нейтронов (европий, гадолиний и самарий). Используемые в ядерных реакторах оксиды этих РЗМ не только входят в состав защитных керамических покрытий, но и используются для управления и контроля ядерными реакциями [3].

РЗМ применяются в авиапромышленности и судовом производстве. Оксиды РЗМ применяют в оксидном урановом топливе реакторов ВВЭР в качестве выгорающих добавок.

Всё большее применение в производстве сталей и сплавов цветных металлов находят присадки РЗМ и их оксиды (мишметалл, ферроцерий). Добавки РЗМ и их оксидов улучшают механические свойства кремнистых и нержавеющей сталей, повышают их качество, жаропрочность и коррозионную устойчивость. Положительное влияние оказывает РЗМ на свойства чугуна, алюминия и других металлов.

Одна из наиболее важных отраслей применения РЗМ – производство магнитов [4]. Магнитные материалы из РЗМ давно стали незаменимыми элементами разнообразных приборов. Также параллельно производству магнитов широкое применение нашли РЗМ в электронике.

2.3 Общие сведения и основные свойства тория

По химическим свойства торий имеет сходства со свойствами РЗЭ, это обуславливается близостью величин их ионных и атомных радиусов.

Химия тория осложнена тем, что соли тория склонны к гидролизу в водных растворах и обладают способностью образования комплексных ионов. Гидролиз протекает уже в кислых растворах, при интервале pH от 3,5 до 5,5, при этом торий выделяется количественно в виде аморфного гидроксида.

Гидроксид тория очень плохо растворим в воде. В водных растворах щелочей нерастворим. При температуре в интервалах от 400 °С до 450 °С превращается в диоксид тория высокой химической активности и чистоты. Гидроксид тория легко растворим в кислотах, но после сушки, со временем, способность к растворению падает.

Нитрат тория кристаллизуется в виде кристаллогидратов из водных растворов. Эта соль хорошо растворима в растворителях (органических): в эфирах, спиртах, кетонах. Это свойство используется при экстракционной очистки от примесей.

Фосфаты тория малорастворимы в воде и плохорастворимы в концентрированных кислотах, поэтому их осаждают из кислых растворов фосфорными кислотами (метафосфорная, ортофосфорная и пиррофосфорная кислоты) или фосфатами щелочных металлов [5].

2.4 Области применения тория

Потенциальный потребитель тория – ядерная энергетика. Под действием тепловых нейтронов природный торий превращается в ^{233}U , способный к делению изотоп. В реакторах используется металлический торий и некоторые его сплавы.

Торий и его соединения используются для легирования сталей на никелевой, железной, алюминиевой и медной основах. В ракетной технике и реактивной авиации приобрели сплавы магния с добавлением 2,5 % тория. За счет высоких эмиссионных свойств торий применяют в составе электродного материала в газоразрядных лампах.

Благодаря тому, что оксид тория химически инертен, плавится при температуре выше $3220\text{ }^{\circ}\text{C}$ и имеет низкую упругость диссоциации его используют в качестве огнеупорных изделий, в качестве присадки к вольфраму для регулирования рекристаллизации вольфрамовой проволоки [1].

Дальнейшее усовершенствование технологий производства тория и его соединений, а также развитие научно-исследовательских работ в этой сфере позволит расширить масштабы его использования.

2.5 Обзор рынка РЗМ и тория

Редкоземельные металлы имеют стратегическое значение для всех стран мира. С 50-х годов мировой рынок РЗМ увеличил свой объем более чем в 25 раз, что говорит о быстром темпе его востребованности [6].

На сегодняшний день, главными потребителями РЗМ в мире являются лидеры мировой экономики: Китай (54 %), Япония и Южная Корея (24 %), страны Европы (13 %, в основном Франция и Германия), США (8 %). Крупнейшие мировые импортеры РЗМ и их соединений являются: Япония (44,5 % объема рынка), Малайзия (около 20 %), Норвегия (4 %) и Гонконг (3 %). Ведущие экспортеры: Китай (44 % в мировом экспорте РЗМ), США (17 %), Вьетнам (13,5 %) [6].

Основным сырьем для получения оксидов РЗМ в России в советский период являлся лопаритовый концентрат. Его переработка осуществлялась на двух предприятиях: в России городе Соликамске (ОАО «СМЗ») и в Эстонии (ГАО «Силмет»).

После распада СССР Россия осталась без производства готовых форм редкоземельной продукции, т.к. готовую продукцию производили в Казахстане, откуда она и импортировалась [4].

В связи с тем, что наша страна чрезвычайно зависима от импорта поставок практически всего спектра РЗМ и их соединений из-за рубежа, это диктует настоятельную необходимость действий по восстановлению собственной РЗМ-промышленности.

Прогноз роста спроса на РЗМ в мире в ближайшие 7 лет указывает на уровень в 8-11 % в год, что говорит о необходимом запуске новых проектов по всему миру в течение ближайших 3-5 лет. Прогнозируется дефицит тяжелых элементов (особенно на Tb, Dy, Y). При этом оговаривается, что мировые перерабатывающие мощности будут адекватны прогнозируемому уровню мирового спроса на РЗМ, однако на рынке будет остро ощущаться нехватка сырья [4].

Потребление тория в мире, согласно оценкам, уменьшилось по сравнению с предыдущими годами, прежде всего, в катализаторах, микроволновых трубах и оптическом оборудовании. Увеличение затрат на контроль радиоактивности привело к избавлению от использования тория. Использование металла продолжит уменьшаться в том случае, если не будут найдены дешевые решения с его использованием или новая технология ядерного топлива, которая создаст возобновленный спрос.

В настоящее время перспективным считается Туганское месторождение тория, расположенное в Томской области.

Возможным источником получения тория в России также являются и монацитовые концентраты более 50 лет хранящиеся на складах предприятия ОГУ «УралМонацит», расположенных в 12 км от г. Красноуфимска в Свердловской области. Этот объект – своего рода, памятник бесхозяйственности советской эпохи. Первоначально этот монацит предполагалось использовать с целью выделения для нужд атомной промышленности, но выбор уран-плутониевого цикла привел к утрате интереса к монациту, и о ценнейшем продукте надолго забыли [7].

В настоящее время на складах ОГУ «УралМонацит» хранится 82 тыс. тонн монацитового концентрата, который в первую очередь представляет интерес как источник РЗМ, а также как ториевое сырье [7].

2.6 Краткий обзор существующих методов производства и оборудования

Способы разложения редкоземельного сырья делятся на два типа[8]:

- 1) обработка монацитового концентрата водными растворами кислот или щелочей;
- 2) спекание монацита с карбонат-щелочными, карбонатными или соединениями металлов первой группы.

Промышленное значение в мировой практике имеет первый тип, который использует [9]:

- разложение кислотой (сульфатизация);
- разложение раствором гидроксида натрия.

По своему выполнению способ сульфатизации прост и обеспечивает полноту вскрытия монацитового концентрата. Этот метод приспособлен к непрерывному ведению процесса и хорошо отработан на производстве. Однако он имеет большой недостаток, заключающийся в неполном извлечении из растворов после выщелачивания фосфора, который отрицательно влияет на последующие процессы аффинажа тория. Поэтому в мировой практике кислотный метод был вытеснен щелочным методом, обеспечивающий достаточную полноту извлечения продуктов из перерабатываемого сырья.

Перевод продуктов вскрытия монацитового концентрата в раствор зависит от метода вскрытия исходного концентрата и метода отделения тория от РЗЭ. Эта операция, обычно, не вызывает никаких затруднений.

Кислотный и щелочной методы переработки монацитового концентрата имеют общеизвестные недостатки [10]:

- большой объем перерабатываемых растворов и недостаточная полнота вскрытия концентрата;
- реагенты, вскрывающие монацит, постоянно растут в цене;
- высокая агрессивность процессов;

- периодичность процесса, неполное извлечение лантаноидов в оксалатный осадок и большой объем сбросных вод при сернокислотном методе вскрытия;

- ущерб окружающей среде;

- являются дорогостоящими, продолжительными и трудоемкими процессами.

Несмотря на серьезные минусы они остаются единственными промышленными методами переработки монацитового концентрата, т.к. обладают следующими преимуществами:

- щелочной метод позволяет отделить фосфор от тория и лантаноидов уже на первой стадии;

- сернокислотный метод экономичен и универсален;

- оба метода достаточно полно изучены и технологически проработаны.

В таблице 2.6.1 представлены сравнительные характеристики сернокислотного и щелочного методов вскрытия.

Таблица 2.6.1 – Сравнение промышленных методов вскрытия монацитового концентрата

Метод вскрытия	Сернокислотный	Щелочной
Степень вскрытия, %	96-98 %	96,5-99,5 %
Расход реагентов	1. 2 т H ₂ SO ₄ /1 т концентрата. 2. 1 т концентрата/10 т воды.	1. 1,3 т NaOH/1 т концентрата. 2. 1 т концентрата/1 т воды.
Стоимость реагента	~ 14 руб/кг ~ 5500 руб/кг	~ 40 руб/кг, ~ 20000 руб/т
Температура процесса, °С	220 °С	От 130 °С до 145 °С
Время, ч	4 ч	7 ч

Аппарат	Стальные или чугунные периодического действия с перемешиванием, печи, вращающиеся сульфатизаторы	Реактора с мешалкой периодического действия, печи, мельницы
Преимущества метода	1. Измельчение от 0,15 мм до 0,1 мм. 2. Дешевизна реагентов.	1. Возможность отделения фосфора от РЗЭ и Th на первых стадиях. 2. Легче провести экстракционную очистку из-за отсутствия сульфат-ионов и фосфат-ионов. 3. $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Недостатки метода	1. Остаток: оксид кремния, монацит, циркон, рутил, ильменит. 2. Высокий расход реагентов. 3. Агрессивная среда.	1. Измельчение 0,043 мм. 2. Высокий расход реагента. 3. Агрессивная среда

Для осуществления процессов вскрытия монацита чаще всего применяются барабанные вращающиеся печи (БВП) или емкостные аппараты под давлением (автоклав). Связанно это с тем, что промышленные методы вскрытия монацитового концентрата осуществляются при высокой температуре и высокой степени измельчения (0,048 мм). Условия проведения процесса – главный критерий в выборе аппарата и его конструктивных особенностей.

Выше описанные способы переработки монацитового концентрата на сегодняшний день являются наиболее популярными и распространенными, но наличие недостатков, сдерживает извлечение РЗЭ из монацита в Российской Федерации. Это доказывает то, что Российская гидрометаллургия на данный момент нуждается в совершенствовании существующих технологических процессов, позволяющих устранить имеющиеся недостатки и удешевить

процесс переработки монацитового концентрата.

Нужно отметить что существуют методы, не нашедшие промышленного применения, но которые представляют практический интерес [11, 12, 13, 14].

Методы вскрытия монацитового концентрата ограничены двумя промышленными методами. И щелочной метод выгоднее сернокислотного потому что:

- остатки щелочного процесса гидроксид натрия и тринатрийфосфат можно использовать в технологии, тогда как остатки сернокислотного процесса добавляют очередные стадии;
- едкий натр дороже серной кислоты, но её расход для вскрытия в 2 раза, а промывных вод в 10 раз больше;
- сернокислотный метод требует более тщательного соблюдения температурного режима проведения вскрытия монацитового концентрата.

На данный момент ведутся исследования и разработки по упрощению получения РЗЭ и тория, как основных продуктов монацитового концентрата. Но сейчас, на мой взгляд, самым перспективным методом является щелочной метод. Метод обладает рядом недостатков, но они могут быть скомпенсированы путем внесения некоторых изменений в технологию вскрытия, например, если процесс вести в обогреваемой шаровой мельнице, то можно не добиваться тонкого измельчения. Кроме того, одним из побочных продуктов процесса является тринатрийфосфат, который имеет собственные области применения и в цене не уступает едкому натру. Таким образом, продавая тринатрийфосфат, можно восполнить дороговизну едкого натра.

2.7 Теория процесса

2.7.1 Общие сведения

Неотъемлемая часть современной индустрии металлов, получаемых путём гидрометаллургического передела – процесс селективного растворения компонентов, которые представляют собой диффузионное извлечение жидким растворителем ценных составляющих из пористого твёрдого материала. Описанная технологическая процедура называется экстракцией в системе жидкость-твёрдое тело, или же, просто – выщелачивание. Продукты реакции растворяются в реагенте и диффундируют в основную массу жидкости, поэтому процесс выщелачивания считается основной операцией гидрометаллургии [15].

Скорость процесса выщелачивания зависит от температуры, расхода и концентрации растворителя (реагента), плотности пульпы. Характер влияния основных параметров на показатели выщелачивания описан ниже.

Оптимальная температура. Для достижения полноты извлечения металла и предельно допустимой скорости процесса выбирают оптимальную температуру, верхний предел, максимальное значение которой ограничивается рядом явлений:

- увеличением агрессивности среды;
- усилением гидролиза солей;
- возрастанием затрат на нагрев.

Состав раствора определяется содержанием реагента-растворителя, извлекаемого ценного металла и наличием примесей.

- *Расход растворителя.* Количество реагента выбирают с учетом типа сырья, стехиометрии реакции для количественного выщелачивания извлекаемого металла, вероятности протекания сопутствующих реакций и обеспечения небольшого избытка в конечном растворе для повышения его устойчивости. Избыток растворителя ускоряет процесс, но при этом

увеличивает агрессивность среды, уменьшает селективность, увеличивает расходы на химическое взаимодействие и осложняет обработку конечного раствора.

Концентрация растворителя. Концентрацию выбирают с учетом плотности пульпы, состава сырья и состава оборотного раствора. Стремятся получить концентрированные продуктивные растворы, что должно упрощать их последующую переработку.

Плотность пульпы. производительность аппарата по исходному сырью возрастает с увеличением плотности пульпы. Однако при этом возрастает нагрузка на перемешивающие устройства, ухудшаются условия массопередачи и осложняется разделение пульп. Оптимальную плотность пульпы подбирают с учетом режима процесса, состава исходного сырья и требований к составу конечного раствора подбирают оптимальную плотность пульпы [16].

При решении производственных задач требуется учитывать и экономику процесса, и полное использование сырья и реагентов, и охрану окружающей среды и труда [17].

2.7.2 Термодинамика процесса выщелачивания

Возможность и степень протекания процесса при заданных расходах реагентов, а также минимальные количества реагентов, необходимых для полного перевода ценного компонента в раствор, зависят величины константы равновесия [18].

В общем случае реакция выщелачивания записывается в виде:



тогда термодинамическая константа равновесия (K_p) для реакции имеет вид:

$$K_p = \frac{a_C^c \cdot a_D^d}{a_A^a \cdot a_B^b} = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} \cdot \frac{\gamma_C^c \cdot \gamma_D^d}{\gamma_A^a \cdot \gamma_B^b}, \quad (1.2)$$

где a_i – активность компонента после установления равновесия,

$[i]$ - концентрация компонента после установления равновесия,

γ_i – коэффициент активности компонента после установления равновесия.

Первый сомножитель уравнения – концентрационная константа равновесия K_c :

$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}. \quad (1.3)$$

Концентрационная константа равновесия – это та величина, которую необходимо знать для расчета расхода реагентов. Минимальное значение константы определяется как величина, обратная максимально допустимому избытку основного реагента. Для выщелачивания, с точки зрения экономики, нужно выбирать реагент, обеспечивающий большую константу равновесия по реакции с извлекаемым ценным компонентом и минимальные константы

равновесия по реакции с примесями [5].

Эти константы равновесия обычно имеют значения близкие друг к другу, поэтому для приближенной оценки расхода реагентов вместо концентрационной константы можно использовать термодинамическую. Значение термодинамической константы равновесия находят расчетным путем по термодинамическим функциям веществ, которые участвуют в реакции (изменение энергии Гиббса, энтальпии и энтропии).

Связь между изменением энергии Гиббса при температуре T и константой равновесия выражается соотношением:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_p, \quad (1.4)$$

где R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К),

ΔG – изменение энергии Гиббса химической реакции, кДж/моль.

Изменение энергии Гиббса связано с изменением энтальпии и энтропии уравнением Гиббса-Гельмгольца:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \Delta S_T^0, \quad (1.5)$$

где ΔH – изменение энтальпии химической реакции, кДж/моль,

ΔS – изменение энтропии химической реакции, Дж/моль·К.

Значение изменения энергии Гиббса можно рассчитать, если известны стандартные величины изменения энтальпии и энтропии реакции, и зависимость теплоемкостей от температуры.

Так как

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT, \quad (1.6)$$

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT, \quad (1.7)$$

то

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT - \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT. \quad (1.8)$$

Если выщелачивание проводят при атмосферном давлении, то процесс проводится при температуре от 30 °С до 90 °С. Эти температуры относительно мало отличаются от стандартной (298 К), поэтому расчеты можно проводить по приближенному уравнению [5]:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0, \quad (1.9)$$

где

$$\Delta H_{298}^0 = \Sigma \Delta H_{\text{прод}}^0 - \Sigma \Delta H_{\text{исх}}^0, \quad (1.10)$$

$$\Delta S_{298}^0 = \Sigma \Delta S_{\text{прод}}^0 - \Sigma \Delta S_{\text{исх}}^0. \quad (1.11)$$

При больших отрицательных значениях изменения энергии Гиббса (минус 40 кДж и менее минус 40 кДж) константа равновесия реакции велика и поэтому реакция практически необратима. Большие положительные значения изменения энергии Гиббса (более 40 кДж/моль) говорят о том, что реакция практически не идет, т.к. термодинамическая константа равновесия очень мала.

Необходимо помнить, что о направлении и возможности протекания реакции при определенных начальных концентрациях следует судить по изменению энергии Гиббса, которое рассчитывается по уравнению изотермы Вант-Гоффа:

$$\Delta G_T = -RT \ln K_p + RT \ln q, \quad (1.12)$$

$$\Delta G_T = \Delta G_T^0 + RT \ln q. \quad (1.13)$$

Здесь q по форме совпадает с выражением K_p , но в q входят не равновесные, а начальные (или достигшие равновесия) активности исходных веществ и продуктов реакции [5].

В стандартных условиях активности исходных веществ и продуктов реакции равны единице, следовательно, $q = 1$ и $\Delta G_T = \Delta G_T^0 = -RT \ln K_p$. Как следует из уравнения (1.12), при $K_p > q$ изменение энергии Гиббса будет отрицательным и реакция будет протекать в прямом направлении до установления равновесия (до $\Delta G_T = 0$, $q = K_p$). При $K_p < q$ реакция может протекать только в обратном направлении. Отсюда следует, что при малой величине K_p реакция идет в прямом направлении только при большом избытке выщелачивающего реагента [5].

Участвующие в процессе выщелачивания термодинамические характеристики веществ представлены в приложении А в таблице А.1 [18,19].

Результаты термодинамических расчетов химической реакции при температуре 413 К, протекающих в системе, представлены в приложении А в таблице А.2

При температуре 413 К процесс выщелачивания монацитового концентрата является экзотермический (т.к. энтальпия — величина отрицательная). Энтропия равна нулю. Отрицательное значение говорит о высокой степени упорядоченности процесса.

2.7.3 Кинетика процесса выщелачивания

Основной задачей кинетических расчетов химических процессов является определение величины константы скорости и ее зависимости от различных факторов [23].

Выщелачивание – это сложный гетерогенный процесс, при котором происходит взаимодействие жидких реагентов с рудой, т.е. твердым веществом. Основные акты взаимодействия, в процессах растворения твердых веществ, осуществляются на поверхности раздела фаз. Формирование этой поверхности реакции и ее свойства определяются режимом или типом взаимодействия [23].

Скорость процесса растворения выражается количеством вещества, которое переходит в раствор за единицу времени. Скорость выщелачивания зависит от многих факторов: характера вкрапленности, удельной поверхности вскрываемого минерала, температуры, концентрации и вида выщелачивающего реагента, типа вскрываемых минералов, интенсивности перемешивания, парциального давления газовой фазы над раствором, гидродинамики процесса.

Как правило, эти факторы часто изменяются в ходе процесса. Определение зависимости скорости от каждого из указанных факторов при пассивном эксперименте возможно только при условии строгого постоянства остальных параметров опыта.

Процесс выщелачивания включает в себя следующие стадии [5]:

- диффузию реагента к контурной поверхности зерна из объема раствора через внешний диффузионный слой;
- диффузию реагента через внутренний диффузионный слой;
- химическую реакцию внутри или на поверхности зерна;
- диффузию продукта реакции к контурной поверхности зерна через слой твердого вещества;
- диффузию продукта реакции в объем раствора через внешний

диффузионный слой.

Процесс выщелачивания представляют моделью, показанной на рисунке 1.1, учитывая, что концентрация целевого компонента в руде мала. Твердое вещество, контактируя с жидкостью, покрывается пленкой, которая

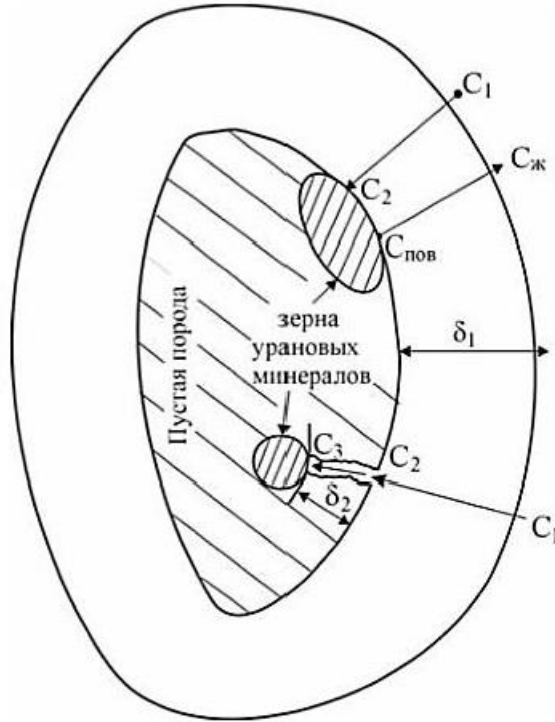


Рисунок 1.1 – Схематическое изображение модели
выщелачивания

δ_1 – толщина внешнего диффузионного слоя, δ_2 – толщина внутреннего диффузионного слоя; C_1 – концентрация выщелачивающего реагента, C_2 – концентрация реагента на контурной поверхности зерна, C_3 – концентрация реагента на границе зерна, $C_{пов}$ – концентрация продукта реакции на поверхности зерна, $C_ж$ – концентрация продукта реакции в объеме раствора.

называется диффузионным слоем Нернста, имеющей толщину примерно 0,03 мм. Скорость внешней диффузии на единицу объема реагирующей смеси определяется первым законом Фика:

$$-\frac{dC_1}{d\tau} = D_1 F \frac{C_1 - C_2}{\delta_1}, \quad (1.14)$$

где D_1 – коэффициент молекулярной диффузии реагента во внешнем диффузионном слое, $\text{м}^2/\text{с}$;

F – поверхность реагирования, м^2 .

δ_1 – толщина внешнего диффузионного слоя, м ;

C_1 – концентрация выщелачивающего реагента, моль/л ;

C_2 – концентрация реагента на контурной поверхности зерна, моль/л .

Скорость внутренней диффузии можно выразить так:

$$-\frac{dC_2}{d\tau} = D_2 F \frac{C_2 - C_3}{\delta_2}, \quad (1.15)$$

где D_2 – коэффициент молекулярной диффузии реагента во внутреннем диффузионном слое, $\text{м}^2/\text{с}$;

C_3 – концентрация реагента на границе зерна, моль/л ;

δ_2 – толщина внутреннего диффузионного слоя, м .

При необратимости химической реакции скорость выщелачивания определяется уравнением:

$$-\frac{dC_1}{d\tau} = \frac{C_1 F}{\frac{\delta_1}{D_1} + \frac{\delta_2}{D_2} + \frac{1}{K}}, \quad (1.16)$$

где δ_1/D_1 – внешнее диффузионное сопротивление;

δ_2/D_2 – внутреннее диффузионное сопротивление;

K – константа скорости прямой химической реакции;

$1/K$ – химическое сопротивление.

Скорость процесса определяется скоростью самой медленной стадии. Диффузионные стадии – 1, 2, 4 и 5, стадия химической реакции – 3. При большом значении константы скорости имеем маленькое значение химического сопротивления. Отсюда следует, что скорость выщелачивания лимитируется внутренней и внешней диффузией.

Концентрация выщелачивающего реагента пропорциональна скорости

выщелачивания. По мере расхода выщелачивающего реагента концентрация его уменьшается, поэтому, к концу процесса скорость выщелачивания падает. Введением избытка реагента над стехиометрическим количеством избегают уменьшения скорости протекания процесса.

Для увеличения скорости выщелачивания нужно увеличить поверхность реагирования, т.е. увеличить степень измельчения.

На скорость выщелачивания существенно влияет температура процесса, т.к. коэффициент молекулярной диффузии прямо пропорционален абсолютной температуре и обратно пропорционален вязкости, которая уменьшается при увеличении температуры раствора.

Скорость выщелачивания зависит от интенсивности перемешивания, т.к. эффективная толщина диффузионного слоя обратно пропорциональна квадратному корню скорости относительного движения зерна и раствора. При определенном перемешивании основное сопротивление диффузии будет происходить в порах материала, а не в слое, тогда дальнейшая интенсификация перемешивания не имеет смысла [5].

2.8 Объект и методы разработки

Объектом разработки является технологическая последовательность щелочного выщелачивания монацитового концентрата.

Предметом разработки является участок цеха для щелочного выщелачивания монацитового концентрата.

В техническом задании была поставлена задача спроектировать участок разложения монацита производительностью 1000 т/г. Основной аппарат цеха – шаровая барабанная мельница.

В работе использованы теоретические и промышленные методы производств. Теоретические исследования заключались в аналитическом обзоре литературы и ознакомлении с уже проделанными работами в этой области для накопления достаточной теоретической базы, а также в термодинамическом расчете для оценки вероятности протекания исследуемого процесса [7].

Место постройки спроектированного цеха – Российская Федерация, Свердловская область, 12 км от г. Красноуфимск, рядом с «Красноуфимским месторождением» (хранилища предприятия ОГУ «УралМонацит»).

Таблица 2.8.1 – Состав монацита

$\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$	15 %
$\text{U}_3(\text{PO}_4)_4$	0,3 %
LaPO_4	15 %
CePO_4	25 %
PrPO_4	8 %
NdPO_4	11 %
SmPO_4	10 %
EuPO_4	2,8 %
GdPO_4	6 %
TbPO_4	4 %

DyPO ₄	2 %
HoPO ₄	0,5 %
ErPO ₄	0,2 %
TmPO ₄	0,5 %
YbPO ₄	0,3 %
LuPO ₄	0,5 %
YPO ₄	0,8 %

В настоящем проекте приведены технологические расчеты, расчеты экономических показателей, рассмотрены вопросы размещения оборудования и организации работы участка цеха щелочного разложения монацита.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель экономического расчета – обоснование финансово-экономической целесообразности проекта, определение себестоимости продукции и выявление условий, при выполнении которых создание предприятия является экономически оправданным [45].

7.1 Расчет численности рабочих

Проектируемый цех будет работать в непрерывном режиме без выходных и праздничных дней, с остановками для выполнения ТР и ППР, которые будут производиться согласно действующего утвержденного графика один раз в месяц в течение двух дней.

В исполнении обязанностей в цеху будут задействованы четыре производственные сменные бригады, работающие вахтовым методом. На территории цеха в период несения вахты будет единовременно находиться две бригады, другие две бригады в этот период будут находиться в отпуске. Бригады будут меняться согласно составленному вахтовому расписанию (длительность вахты – 14 дней, длительность меж вахтового отпуска – 14 дней). Цех будет работать в 2 смены продолжительностью по 12 часов (ночная и дневная смена). Производственные бригады, выполняющие работы в цеху в дневные и ночные смены приступают к исполнению обязанностей, согласно установленному действующему графику сменности, представленному в таблице 7.1.1.

В соответствии с принятым графиком сменности, установленная длительность сменоборота составляет 14 дней, количество ночных смен в году составляет – 91 смена, длительность отдыха в году составляет 182 дня. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени (табл. 7.1.2).

Таблица 7.1.1 – График сменности

Смены	Первая неделя	Вторая неделя	Третья неделя	Четвертая неделя
1	А	Б	В	Г
2	Б	А	Г	В
Межвахтовый отпуск	В, Г		А, Б	

Таблица 7.1.2 – Баланс эффективного рабочего времени среднесписочного рабочего

Элемент времени	Дни	Часы
Календарное число дней	365	4380
Выходные и праздничные дни	-	-
Номинальный фонд рабочего времени	365	4380
Эффективный фонд рабочего времени	150	1800
Планируемые выходные:		
• межвахтовый отпуск;	182	2184
• очередные отпуска;	14	168
• отпуска за вредность;	4	48
• отпуск в связи с учебой без отрыва от производства;	14	168
• выполнение общественных обязанностей.	1	12
Итого	150	1800

Численность производственных рабочих определяется, исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении технологическим персоналом всех рабочих мест. Число рабочих мест определяется, исходя из необходимых точек наблюдения и операций по

обслуживанию процесса, а также объема работы управления каждым отделением (участком, цехом).

Определим явочную численность основных рабочих в сутки по формуле (7.1):

$$R_{\text{яв.}} = \frac{1}{N_{\text{обсл.}}} \cdot F \cdot C = \frac{1}{6} \cdot 18 \cdot 2 = 6 \text{ чел.}, \quad (7.1)$$

где $R_{\text{яв.}}$ – явочная численность рабочих в сутки, чел.;

$N_{\text{обсл.}}$ – количество аппаратов, которое может обслуживать один аппаратчик;

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

Небольшое количество технологического персонала (основных производственных рабочих) цеха обусловлено особенностями работы, которая заключается в основном в наблюдении за ходом процесса, это связано с высоким уровнем автоматизации оборудования цеха.

Определим списочную численность основных рабочих по формуле (7.2):

$$R_{\text{сп.}} = R_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб}}} = 6 \cdot \frac{340}{150} = 13,6 \text{ чел.}, \quad (7.2)$$

где $R_{\text{сп.}}$ – списочная численность основных рабочих, чел.;

$T_{\text{эф.обор.}}$ – проектируемое число дней работы оборудования в год (без учета времени на ТР и ППР);

$T_{\text{эф.раб}}$ – проектируемое число дней работы одного рабочего в год.

Принимаем 14 человек в штат основных рабочих данного цеха.

Комплектуем цех вспомогательным персоналом, который будет заниматься обслуживанием данного цеха в составе: дежурный механик – 1, дежурный электрик – 1, дежурный КИПиА – 1.

Принимаем 12 человек в штат дежурного персонала, осуществляющего обслуживание данного цеха. При необходимости к работе будут привлекаться дежурные из других отделений, исполняющие данные обязанности по совместительству со своими непосредственными.

Численность ИТР и МОП, задействованных в работе в проектируемом цехе приведена в таблице 7.1.3.

Таблица 7.1.3 – Численность ИТР и МОП

Наименование должности	Число штатных единиц
Начальник цеха	1
Старший технолог	4
Мастер смены	4
Уборщица	2

7.2 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих цеха

Расчетный фонд вычисляется по формуле (7.3):

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}} \cdot \frac{\text{руб}}{\text{г}}, \quad (7.3)$$

где $З_{\text{год}}$ – расчетный фонд заработной платы, руб./г;

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

$З_{\text{доп.}}$ – дополнительная заработная плата, руб./г.

Основной фонд заработной платы вычисляется по формуле (7.4):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{пр.дн.}} + D_{\text{пр.}} + D_{\text{вред.}}, \frac{\text{руб}}{\text{г}}, \quad (7.4)$$

где $Z_{\text{тар.}}$ – тарифный фонд, руб./г;

$D_{\text{н.вр.}}$ – доплата за работу в ночное время (40 % от $Z_{\text{тар.}}$);

$D_{\text{пр.дн.}}$ – доплата за работу в праздничные дни (100 % от $Z_{\text{тар.}}$);

$D_{\text{пр.}}$ – доплата премий (30 % от $Z_{\text{тар.}}$);

$D_{\text{вред.}}$ – доплата за вредность (12 % от $Z_{\text{тар.}}$).

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается по тарифным ставкам, исходя из отработанного времени:

$$Z_{\text{тар.}}^i = R_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф.раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i, \frac{\text{руб}}{\text{г}}, \quad (7.5)$$

где $Z_{\text{тар.}}^i$ – тарифный фонд заработной платы рабочих i -ой квалификации;

$R_{\text{сп.}}^i$ – списочная численность рабочих i -ой квалификации в сутки;

$T_{\text{эф.раб.}}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего;

$T_{\text{ст.}}^i$ – тарифная часовая ставка рабочего i -ой квалификации.

Для проектируемого цеха к работе будут привлекаться аппаратчики пятого разряда в связи с высокой ответственностью производимых работ. Часовая тарифная ставка аппаратчиков пятого разряда составляет – 141 руб./ч.

$$Z_{\text{тар.}}^5 = 14 \cdot 1800 \cdot 141 = 3553200 \frac{\text{руб}}{\text{г}}. \quad (7.6)$$

Доплата за работу в ночное время составляет 40 % от тарифной ЗП:

$$D_{\text{н.вр.}} = 14 \cdot 91 \cdot 12 \cdot 141 \cdot 0,4 = 862243,2 \frac{\text{руб}}{\text{г}}. \quad (7.7)$$

Доплата за работу в праздничные дни (в году 9 праздничных дней) составляет 100 % от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 14 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 141 \cdot 2 = 426384 \frac{\text{руб}}{\text{г}}. \quad (7.8)$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = 3553200 \cdot 0,3 = 1065960 \frac{\text{руб}}{\text{г}}. \quad (7.9)$$

Доплата за вредность составляет 12% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{вред.}} = 3553200 \cdot 0,12 = 426384 \frac{\text{руб}}{\text{г}}. \quad (7.10)$$

Таким образом, подставив все значения в уравнение (7.4), основной фонд ЗП составит:

$$\begin{aligned} З_{\text{осн}} &= 3553200 + 862243,2 + 426384 + 1065960 + 426384 = \\ &= 6334171,2 \frac{\text{руб}}{\text{г}}. \end{aligned}$$

Дополнительный фонд ЗП рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} = 6334171,2 \cdot 0,1 = 633417,12 \frac{\text{руб}}{\text{г}}, \quad (7.11)$$

где $П_{\text{д.зп}}$ – процент доплаты (принимаем 10 %).

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$З_{\text{год}} = 6334171,2 + 633417,12 = 6967588,32 \frac{\text{руб}}{\text{г}}.$$

Данные полученные при расчете годового фонда заработной платы основных рабочих сведены в таблицу Д.1 и представлены в приложении Д.

7.3 Расчет годового фонда заработной платы ИТР цеха

Тарифный фонд оплаты ИТР и вспомогательного персонала рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{тар.}} = П_{\text{мес.}} \cdot Т_{\text{окл.}} \frac{\text{руб}}{\text{г}}, \quad (7.12)$$

где $З_{\text{тар.}}$ – тарифный фонд ЗП, руб./г;

$П_{\text{мес.}}$ – число месяцев, отработанных в год каждым работником (принимается 11 месяцев для всего персонала);

$Т_{\text{окл.}}$ – штатный месячный оклад, р.

Таблица 7.3.1 – Состав ИТР и вспомогательного персонала

Наименование должности	Месячный оклад, руб.
Начальник цеха	47500
Старший технолог отделения	42000
Мастер смены	35280
Дежурный механик	25200
Дежурный электрик	25200
Дежурный КИПиА	25200

Основная заработная плата ИТР, служащих и прочего персонала рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн.}} = З_{\text{тар.}} + Д_{\text{пр.дн.}} + Д_{\text{вред.}}, \frac{\text{руб}}{\text{г}}, \quad (7.13)$$

$$Д_{\text{пр.дн.}} = \frac{T_{\text{окл.}}}{20,25} \cdot N \cdot R_{\text{яв.}}, \frac{\text{руб}}{\text{г}}, \quad (7.14)$$

где $T_{\text{окл.}}$ – месячный оклад;

N – количество праздничных дней в году;

20,25 – среднемесячное число рабочих дней;

$Д_{\text{вред.}}$ – доплата за вредность (12 % от $З_{\text{тар.}}$).

Дополнительная заработная плата ИТР, вспомогательного и прочего персонала принимается 10 % от $З_{\text{тар.}}$.

Рассчитаем годовой фонд ЗП для ИТР.

Для начальника участка (пятидневная рабочая неделя):

$$З_{\text{тар.}} = 11 \cdot 47500 = 522500 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{вред.}} = 522500 \cdot 0,12 = 62700 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{осн.}} = 522500 + 62700 = 585200 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{доп.}} = 58200 \cdot 0,1 = 58520 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{год}} = 585200 + 58520 = 643720 \frac{\text{руб}}{\text{г}}.$$

Для старшего технолога отделения (пятидневная рабочая неделя):

$$З_{\text{тар.}} = 11 \cdot 42000 = 1848000 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{вред.}} = 1848000 \cdot 0,12 = 221760 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{осн.}} = 1848000 + 221760 = 2069760 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{доп.}} = 2069760 \cdot 0,1 = 206976 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{год}} = 2069760 + 206976 = 2276736 \frac{\text{руб}}{\text{г}}.$$

Старший технолог отделения участвует в работе своего отделения и дает указания по требуемым режимам работы.

Для мастера смены (вахтовый метод, в штат принято 4 человека):

$$З_{\text{тар.}} = 4 \cdot 1800 \cdot 210 = 1512000 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{н.вр.}} = 4 \cdot 91 \cdot 12 \cdot 210 \cdot 0,4 = 366912 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 4 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 210 \cdot 2 = 181440 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{пр.}} = 1512000 \cdot 0,3 = 453600 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{вред.}} = 1512000 \cdot 0,12 = 181440 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{осн.}} = 1512000 + 366912 + 181440 + 453600 + 181440 = 2695392 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{доп.}} = 2695392 \cdot 0,1 = 269539,2 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{год}} = 2695392 + 269539,2 = 2964391,2 \frac{\text{руб}}{\text{г}}.$$

Для вспомогательного и прочего персонала:

$$З_{\text{тар.}} = 12 \cdot 1800 \cdot 150 = 3240000 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{н.вр.}} = 12 \cdot 91 \cdot 12 \cdot 150 \cdot 0,4 = 786240 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 12 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 150 \cdot 2 = 388800 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{пр.}} = 3240000 \cdot 0,3 = 972000 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$Д_{\text{вред.}} = 3240000 \cdot 0,12 = 388800 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{осн.}} = 3240000 + 786240 + 388800 + 972000 + 388800 = 5775840 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{доп.}} = 5775840 \cdot 0,1 = 577584 \frac{\text{руб}}{\text{г}},$$

$$З_{\text{год}} = 5775840 + 577584 = 6353424 \frac{\text{руб}}{\text{г}}.$$

Так как вспомогательный персонал задействован к работам не только в проектируемом цеху, ЗП вычисляется с учетом коэффициента полезного участия равным 0,3.

$$З_{\text{год}} = 6353424 \cdot 0,3 = 1906027,2 \frac{\text{руб}}{\text{г}}.$$

Результаты расчета годового фонда заработной платы ИТР, вспомогательного и прочего персонала приведены в таблице Д.2 приложения Д.

Полный годовой фонд заработной платы составляет:

$$\Phi_{\text{зп}} = 6967588,32 + 7791414,4 = 14759002,72 \text{ руб.}$$

7.4 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат на здание ведется по формуле [46]:

$$C_{\text{зд}} = C + C_{\text{от.}} + C_{\text{вент}} + C_{\text{вод}} + C_{\text{кан}} + C_{\text{осв.}}, \text{ руб.}, \quad (7.15)$$

где $C_{\text{зд}}$ – капитальные затраты на здание, руб.;

C – стоимость помещения, руб.;

$C_{\text{от.}}$ – стоимость затрат на отопление, руб.;

$C_{\text{вент.}}$ – стоимость затрат на вентиляцию, руб.;

$C_{\text{вод.}}$ – стоимость затрат на водопровод, руб.;

$C_{\text{кан.}}$ – стоимость затрат на канализацию, руб.;

$C_{\text{осв.}}$ – стоимость затрат на освещение, руб.

$$C = C_{1\text{м}^3} \cdot V_{\text{зд.}}, \text{ руб.}, \quad (7.16)$$

где $C_{1м^3}$ – стоимость затрат на постройку 1 м³ здания, руб.;

$V_{зд.}$ – объем здания, м³.

Объем здания 700 м³, стоимость 1 м³ – 15000 руб., следовательно, объем здания – 10500000 руб.

Таблица 7.4.1 – Затраты на санитарно-технические работы

Затраты	% от затрат на постройку	Цена, руб.
Отопление	5	525000
Вентиляция	5	525000
Водопровод	3	315000
Канализация	3	315000
Освещение	2	210000
Итого	18	1890000

Общая стоимость здания составит:

$$C_{зд.} = C + \sum C_{затр.} = 10500000 + 1890000 = 12390000 \text{ руб.} \quad (7.17)$$

Расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования.

Таблица 7.4.2 – Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество, шт.	Цена за шт., руб	Цена, руб.
Агитатор	4	1760000	7040000
Агитатор с тепловой рубашкой	4	2420000	9680000
Емкость для сбора пульпы	3	760000	2280000

Шаровая барабанная мельница	2	10700000	21400000
Шнековый питатель	3	95000	285000
Центробежный насос	14	73000	1022000
Барабанный вакуумный фильтр	4	910000	3640000
Выпарной аппарат	1	3900000	3900000
Итого			49247000

Таблица 7.4.3 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

Затраты	% от стоимости оборудования	Цена, руб.
Устройство фундаментов	10	4924700
Технологические трубопроводы	20	9849400
Антикоррозионные работы	5	2462350
Кабельные разводки	5	2462350
КИПиА	10	4924700
Монтаж оборудования	22	10834340
Вспомогательное оборудование	5	2462350
Итого	77	37920190

Общие капитальные затраты (без стоимости помещения) составят:

$$C_{\text{кап.}} = C_{\text{обор.}} + \sum C_{\text{затр.}} = 49247000 + 37920190 = \quad (7.18) \\ = 87167190 \text{ руб.}$$

Таблица 7.4.4 – Полные капитальные затраты

Наименование	Капитальные затраты	
	Руб.	%
Здание	12390000	20
Оборудование	49247000	80
Итого	61637000	100

Общепроизводственные расходы.

Затраты на содержание и текущий ремонт здания составляют 2 % от стоимости здания:

$$З_{\text{сод.}} = 0,02 \cdot 12390000 = 247800 \text{ руб./г.,}$$

$$З_{\text{т.р.}} = 0,02 \cdot 12390000 = 247800 \text{ руб./г.}$$

Амортизационные отчисления на здание:

$$A_{\text{зд.}} = C_{\text{зд.}} \cdot \alpha = 12390000 \cdot \frac{1}{40} = 309750 \text{ руб./г.,}$$

где α – коэффициент срока службы здания (40 лет).

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\sum Z_1 = Z_{\text{сод.}} + Z_{\text{т.р.}} + A_{\text{зд.}} = 247800 + 247800 + 309750 = 805350 \text{ руб./г.}$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования.

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{\text{т.р.}} = 49247000 \cdot 0,15 = 7387050 \text{ руб./г.}$$

Расходы на содержание составляет 5 % от стоимости оборудования:

$$З_{\text{сод.}} = 49247000 \cdot 0,05 = 2462350 \text{ руб./г.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования (10 % от стоимости):

$$A_{\text{об.}} = 49247000 \cdot 0,1 = 4924700 \text{ руб./г.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\begin{aligned} \sum Z_2 &= \Phi_{\text{т.р.}} + З_{\text{сод.}} + A_{\text{об.}} = 7387050 + 2462350 + 4924700 = \\ &= 14774100 \text{ руб./г.} \end{aligned}$$

Общепроизводственные расходы составят:

$$З_{\text{общ.}} = \sum Z_1 + \sum Z_2 = 805350 + 14774100 = 15579450 \text{ руб./г.}$$

7.5 Расчет технологических затрат

Затраты на электроэнергию:

$$З_{\text{эл.}} = C_{\text{эл.}} \cdot W \cdot T_{\text{р.обор.}} = 4,2 \cdot 1674,93 \cdot 7200 = 50649883,2 \text{ руб./г.,}$$

где $C_{эл.}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

W – потребляемая мощность, кВт;

$T_{р.обор.}$ – время работы оборудования в год, ч.

Затраты на освещение:

$$W_{осв.} = \frac{15 \cdot M \cdot m \cdot S_{п.}}{1000} = \frac{15 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 225}{1000} = 29565 \text{ кВт.}/\text{г.},$$

где 15 – количество Ватт на 1 м² пола;

$S_{п.}$ – площадь пола, м²;

M – количество часов искусственного освещения в сутки, ч;

m – число дней работы производства в году.

$$З_{осв} = 29565 \cdot 4,2 = 124173 \text{ руб.}/\text{г.}$$

Затраты на вентиляцию:

$$W_{вент.} = P_{эл.дв.} \cdot 24 \cdot m = 77 \cdot 24 \cdot 365 = 674520 \text{ кВт.}/\text{г.},$$

где $P_{эл.дв.}$ – мощность электродвигателя, кВт.

$$З_{вент.} = 674520 \cdot 4,2 = 2832984 \text{ руб.}/\text{г.}$$

Затраты на отопление:

$$P_{от.} = \frac{a \cdot T \cdot V}{1000} = \frac{41 \cdot 5448 \cdot 700}{1000} = 156357,6 \text{ кВт.}/\text{г.},$$

где a – количество тепла на 1 м³ помещения, кВт;

T – продолжительность отопительного сезона, ч;

V – объем отапливаемого помещения, м^3 .

$$З_{\text{от.}} = 4,2 \cdot 156357,6 = 656701,9 \text{ руб./г.}$$

Затраты на ОТ и ТБ.

Затраты, связанные с организацией труда и техникой безопасности, принимаются равными 15 % от полного годового фонда заработной платы:

$$З_{\text{ОТ и ТБ}} = 14759002,72 \cdot 0,15 = 2213850,41 \text{ руб./г.}$$

Отчисления на социальные нужды.

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от полного годового фонда заработной платы:

$$З_{\text{соц.}} = 14759002,72 \cdot 0,3 = 4427700,82 \text{ руб./г.}$$

7.6 Калькуляция себестоимости передела

Условно-переменные и условно-постоянные затраты приведены в таблице Д.3 в приложении Д. Проведем калькуляцию себестоимости передела.

Себестоимость составит:

$$C = 187139234,53 + 36980003,68 = 224119238,21 \text{ руб./г.}$$

Цех выпускает товарную продукцию в виде кристаллогидрата фосфата натрия $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и коллективный концентрат оксидов РЗЭ. Рассчитаем выручку от реализации товара:

$$B = G \cdot Ц = 1444 \cdot 42000 = 60648000 \text{ руб./г.}$$

Таблица 7.6.1 – Данные для построения графика безубыточности

Выручка (руб./г)	60648000,00
Реализация (т/г)	1444,00
Постоянные затраты (руб./г)	36980003,68
Переменные затраты (руб./г)	187139234,53
Цена за единицу товара (руб.)	42000,00
Средние переменные издержки (руб.)	129597,81
Точка безубыточности (руб./г)	- 17730582,45
Точка безубыточности (т/г)	- 422,16

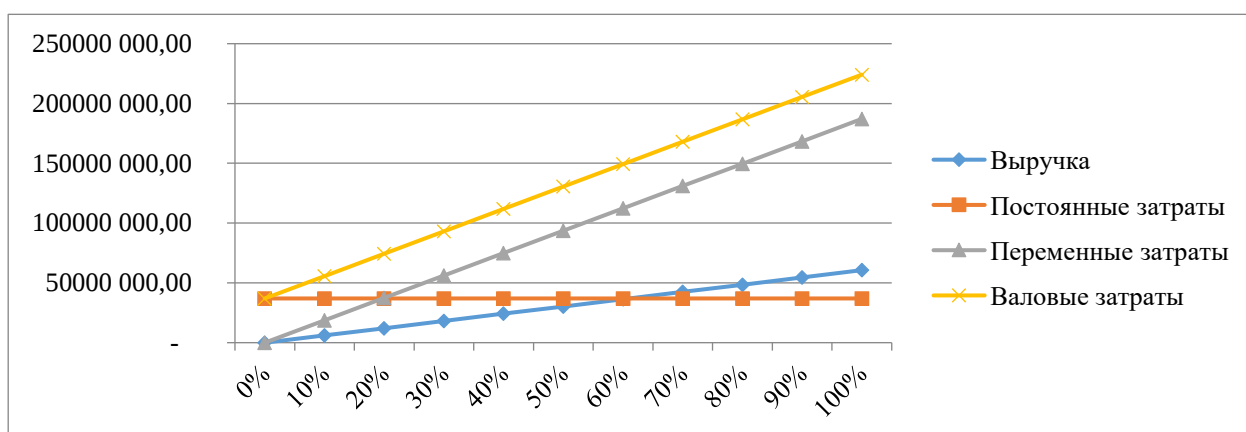


Рисунок 7.6.1 – Зависимость объемов производства от затрат

Точка безубыточности равна минус 422 т/год. Таким образом, можно сделать вывод. Предприятие за счет побочного продукта (тринатрийфосфата) не выходит в ноль, но значительно окупает расходы на производство переработки монацита.