

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

Инженерная школа ядерных технологий

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата производительностью 800 тонн в год по исходному сырью

УДК 669.273.6.061.3.001.66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0422	Гартман Алена Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ХТРЭ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Акимов Дмитрий Васильевич			

По разделу «Автоматизация процесса»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Нормоконтролер	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ХТРЭ	Петлин Илья Владимирович	к.т.н.		
Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТРЭ	Крайденко Роман Иванович	д.х.н.		

Томск – 2018 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 18.05.02
«Химическая технология материалов современной энергетики»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
Р2	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
Р3	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
Р4	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
Р5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижения 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
Р6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р7	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
Р8	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»**

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность): 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Р.И. Крайденко
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0422	Гартман Алене Юрьевне

Тема работы:

Проект цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата производительностью 800 тонн в год по исходному сырью

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.12.2017

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>	Объект проектирования: цех содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата. Режим работы: периодический. Производительность: 800 т/год по исходному сырью. Температура процесса 225 °С; заполнение аппарата 60 %; соотношение «основной компонент/сода» = 1/7 от стехиометрического. Вольфрамовый концентрат: MnWO ₄ – 54,3 %, FeS ₂ – 24,7 %, Ca ₃ (PO ₄) ₂ – 16,3 %, MnO – 1,5 %, SiO ₂ – 2,2 %, CaF ₂ – 1,0 %; степень вскрытия каждого компонента концентрата 96 % (исключение составляет флюорит – не вскрывается).
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение 2. Обзор литературы 3. Расчеты и аналитика 3.1. Теория процесса 3.2. Объект и методы исследования 3.3. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы 3.4. Расчет материального баланса технологической схемы 3.5. Расчет теплового баланса технологической схемы

	<p>3.6. Расчет основного аппарата. 3.6.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата 3.6.2. Механический расчет основного аппарата 3.6.3. Гидравлический расчет основного аппарата 3.6.4. Энергетический расчет основного аппарата 4. Результаты расчетов 5. План размещения оборудования 5.1. Подбор основного технологического оборудования 5.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования 5.3. Энергетический расчет технологической схемы 5.4. План размещения оборудования 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8. Автоматизация процесса 9. Заключение 10. Список использованных источников</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93...2.034-83). 2. Аппаратурно-технологическая схема 3. План размещения оборудования Презентация Power Point Presentation</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна, доцент кафедры менеджмента, к.ф.н.
Социальная ответственность	Акимов Дмитрий Васильевич, ассистент кафедры ХТРЭ
Автоматизация процесса	Вильнина Анна Владимировна, доцент кафедры ЭАФУ, к.т.н.
Нормоконтролер	Петлин Илья Владимирович, старший преподаватель кафедры ХТРЭ, к.т.н.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.10.2017
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0422	Гартман Алена Юрьевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 103 с., 3 рис., 43 табл., 33 лит. источника, 6 прил.

Ключевые слова: содовое автоклавное выщелачивание, вольфрамитовый концентрат, автоклав, вольфрам, вольфрамат марганца, вскрытие, карбонат натрия, сода.

Объектом исследования является цех содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата.

Цель работы – спроектировать цех переработки вольфрамового концентрата.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: производительность по исходному сырью – 800 тонн в год, производительность по выщелачивающему реагенту – 1021,248 тонны в год. Выщелачивание проводится в двух идентичных автоклавах (периодический процесс) диаметром 1,4 м и высотой 5,6 м при температуре 225 °С и рабочем давлении 4,0 МПа. Электрический нагрев пульпы осуществляется за счет ТЭНов.

Область применения: химическая технология редких металлов.

Экономическая эффективность/значимость работы: при применении данной технологии наблюдается снижение себестоимости за счет снижения затрат на реагенты и электроэнергии, т.к. в ходе процессов происходит регенерация выщелачивающего агента и рекуперация энергии.

Сокращения

ПВА – паравольфрамат аммония;

СНК – стехиометрическое необходимое количество;

ТНК – теоретически необходимое количество;

pH – водородный показатель;

Т:Ж – твердое к жидкому;

ТЭН – трубчатый электронагреватель;

ЗП – заработная плата;

ИТР – инженерно-технический работник;

МОП – младший обслуживающий персонал;

ОТ и ТБ – отдел труда и техники безопасности;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

СИЗ – средство индивидуальной защиты;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ЧС – чрезвычайные ситуации.

Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературы	13
1.1 Сырьевая база вольфрама.....	13
1.1.1 Минералы вольфрама	13
1.1.2 Месторождения и руды вольфрама	14
1.2 Способы переработки вольфрамовых концентратов	16
1.2.1 Спекание с содой	17
1.2.2 Автоклавно-содовый способ разложения вольфрамовых концентратов.....	19
1.2.3 Разложение минералов растворами едкого натра	20
1.2.4 Кислотные способы вскрытия концентратов	20
1.2.5 Фтораммонийная переработка концентратов.....	21
1.3 Краткий обзор существующего аппаратурного оформления процесса.....	22
2 Расчеты и аналитика	26
2.1 Теория процесса	26
2.2 Объект и методы исследования	28
2.3 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы	29
2.4 Расчет материальных потоков	31
2.4.1 Приготовление пульпы	31
2.4.2 Выщелачивание	35
2.4.3 Охлаждение.....	37
2.4.4 Фильтрация пульпы после выщелачивания	38
2.5 Расчет теплового баланса	39
2.5.1 Приготовление содового раствора	39
2.5.2 Приготовление пульпы	40
2.5.3 Выщелачивание	41
2.5.4 Самоиспаритель.....	45
2.5.5 Охлаждение пульпы.....	46
2.6 Расчет основного аппарата.....	47

2.6.1 Расчет геометрии и габаритов.....	47
2.6.2 Механический расчет.....	48
2.6.2.1 Расчет обечайки.....	48
2.6.2.2 Расчет люка.....	49
2.6.2.3 Расчет днища.....	51
2.6.2.4 Расчет крышки.....	52
2.6.2.5 Расчет перемешивающего устройства.....	52
2.6.2.6 Расчет привода перемешивающего устройства.....	53
2.6.2.7 Расчет опор.....	54
2.6.2.8 Расчет монтажных крюков.....	57
2.6.2.9 Выбор теплоизоляции.....	57
2.6.2.10 Выбор уплотнения вала мешалки.....	57
2.6.3 Гидравлический расчет.....	58
2.6.4 Энергетический расчет.....	58
3 Результаты расчетов.....	60
4 План размещения оборудования.....	61
4.1 Подбор основного технологического оборудования.....	61
4.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования.....	62
4.3 Энергетический расчет.....	63
4.4 План размещения.....	64
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	65
5.1. Сравнение технологий.....	65
5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	66
5.3 Расчет себестоимости передела.....	67
5.3.1 Расчет капитальных затрат на аренду.....	67
5.3.2 Расчёт эффективного фонда времени и численности рабочих.....	68
5.3.3 Расчет годового фонда заработной платы.....	71
5.3.4 Расчет стоимости оборудования.....	74
5.3.5 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования.....	75

5.3.6 Расчет технологических затрат.....	76
5.3.7 Расчет затрат на реагенты	77
5.4 Калькуляция себестоимости передела.....	78
5.5 Вывод по разделу	78
6 Социальная ответственность.....	79
6.1 Производственная санитария. Общая характеристика производства	79
6.2 Анализ выявленных вредных факторов производства	80
6.2.1 Химические вещества.....	80
6.2.2 Шум	80
6.2.3 Освещение.....	81
6.2.4 Микроклимат	83
6.3 Анализ выявленных опасных факторов производства	84
6.3.1 Электробезопасность	84
6.3.2 Пожаро-, взрывобезопасность	85
6.4 Воздействие на окружающую среду	87
6.5 Чрезвычайные ситуации.....	88
6.6 Выводы по разделу.....	88
7 Автоматизация процесса	90
7.1 Описание функциональной схемы автоматизации.....	90
7.2 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации.....	92
7.3 Перечень первичных преобразователей	93
7.4 Выводы по разделу.....	98
Заключение	99
Список публикаций.....	100
Список использованной литературы	101
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	
ПРИЛОЖЕНИЕ В	
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Графические материалы:

ФЮРА.361413.000.СП Спецификация

ФЮРА.361413.000.СБ Сборочный чертеж

ФЮРА.361413.000.ТС Аппаратурно-технологическая схема

ФЮРА.361413.000.ТО План цеха

Введение

Вольфрам – основа твердых и многих жаропрочных сплавов, входит в состав износостойчивых сплавов и инструментальных сталей. Из вольфрама и сплавов изготавливают: детали авиационных двигателей, нити накаливания и детали в электровакуумных приборах. Также благодаря высокой плотности вольфрам используется для противовесов, артиллерийских снарядов, пуль и сверхскоростных роторов гироскопов для стабилизации полёта баллистических ракет (до 180 тыс. об/мин). Монокристаллы вольфрамовых используются как сцинтилляционные детекторы рентгеновского излучения в ядерной физике и ядерной медицине.

Широкий спектр применения имеют соединения вольфрама. Так, например, твёрдые сплавы и композитные материалы на основе карбида вольфрама используются для механической обработки металлов и неметаллических конструкционных материалов в машиностроении, бурения скважин, в горнодобывающей промышленности. Сульфид вольфрама WS_2 применяется как высокотемпературная (до 500 °C) смазка. При производстве твердого электролита высокотемпературных топливных элементов применяется триоксид вольфрама. Дителлурид вольфрама WTe_2 применяется для преобразования тепловой энергии в электрическую. Также соединения вольфрама применяют в лакокрасочной, текстильной промышленности и в качестве катализатора и пигмента при органическом синтезе [1].

Целью работы является разработка цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата. В ходе выполнения дипломного проекта были проведены аппаратурный, механический, гидравлический расчеты; проведен обзор литературы по данной тематике; рассчитаны материальные и тепловые балансы для процессов цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата производительностью 800 т/год по исходному сырью.

1 Обзор литературы

1.1 Сырьевая база вольфрама

1.1.1 Минералы вольфрама

Вольфрам – химический элемент с атомным номером 74 в Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева, обозначается символом W (лат. Wolframium). При нормальных условиях представляет собой твёрдый блестящий серебристо-серый переходный металл [2].

Вольфрам – самый тугоплавкий из металлов. Температура плавления – 3422 °С, кипения – 5555 °С. Более высокую температуру плавления имеет только неметаллический элемент – углерод [3].

Вольфрам является малораспространенным элементом; среднее содержание его в земной коре составляет $1 \cdot 10^{-4}$ % (масс). В самородном состоянии не встречается. Большинство минералов (известно более 20 видов) представляют собой соли вольфрамовой кислоты – вольфраматы. Исключение составляет редкий минерал тунгстенит WS_2 . Наиболее широко применяемые в промышленности минералы: гюбнерит, вольфрамит, шеелит и ферберит [4].

Вольфрамит $(Fe,Mn)WO_4$ представляет собой изоморфную смесь вольфраматов марганца и железа, образующие между собой ряд твердых растворов. Соотношение между $FeWO_4$ и $MnWO_4$ в таких растворах различное. Если в изоморфной смеси более 80 % $FeWO_4$, то такой минерал называется *ферберит*; если в смеси более 80 % $MnWO_4$, то минерал – *гюбнерит*. Но такие члены ряда встречаются крайне редко. Наиболее распространенным является вольфрамит, состав которого лежит между вышеуказанными пределами.

Минералы окрашены в черный, коричневый или красновато-коричневый цвет. Плотность их колеблется от 6,9 до 7,8 г/см³, твердость по Моосу составляет 5,0-5,5. Вольфрамиты относятся к слабомагнитным минералам. Кристаллизуются в моноклинной сингонии.

Содержание WO_3 в минералах группы вольфрамита колеблется от 76,3 до 76,6 %. В них часто содержатся примеси тантала, ниобия, молибдена, скандия и других элементов [4-6].

Шеелит $CaWO_4$ кристаллизуется в тетрагональной сингонии. большей частью минерал окрашен в желтый, серый или бурый цвет. Плотность составляет 5,8-6,2 г/см³, твердость по Моосу 4,5. Шеелит относится к немагнитным минералам. Минерал иногда содержит в форме изоморфной примеси повеллит ($CaMoO_4$). Содержание молибдена в шеелитах некоторых месторождений достигает 10 %.

При облучении ультрафиолетовыми лучами шеелит флуоресцирует синеголубым светом, что используется для обнаружения его в забоях. Однако при содержании молибдена более 1 % синяя флуоресценция исчезает [4-6].

К другим минералам вольфрама, которые не имеют промышленного значения, относятся: *тунгстит* (вольфрамовая охра) $WO_3 \cdot H_2O$; *купротунгстит* $CuWO_4 \cdot H_2O$, *штольцит* $PbWO_4$; *чиллалгит* $Pb(Mo, W)O_4$; *ферритунгстит* $Fe_2WO_4(OH)_4 \cdot 4H_2O$; *тунгстенит* WS_2 [5].

1.1.2 Месторождения и руды вольфрама

Вольфрамовые руды относятся к бедным рудам по содержанию вольфрама. В наиболее богатых из них содержится 0,5-2,0 % WO_3 . Вместе с минералами вольфрама в рудах встречаются такие минералы, как молибденит, касситерит, пирит, арсенопирит, халькопирит и другие минералы [7].

Магматические месторождения вольфрама неизвестны. Все рудные месторождения связаны с пневматолитическими и гидротермальными процессами [5].

По данным работы [8] наиболее вероятными формами миграции вольфрама в гидротермальных условиях являются растворенная недиссоциированная вольфрамовая кислота и гидровольфрамат-ион (HWO_4^-). Для месторождений, в которых процесс рудообразования происходит с участием

фтор-ионов, возможен перенос вольфрама в форме оксофторовольфрамов щелочных металлов $WO_2F_4^{2-}$ и $WO_3F_2^{2-}$. Для низкотемпературных месторождений (до 200 °С) в слабокислых растворах вольфрам переносится в форме гетерополисоединений, в частности кремневольфрамовой кислоты $H_4[Si(W_3O_{10})_4]$ [9].

Месторождения вольфрама подразделяют на следующие группы: контактно-метасоматические (скарновые), грейзеновые, жильные гидротермальные и россыпные.

Контактно-метасоматические (скарновые) месторождения относятся к крупнейшим и имеют важное промышленное значение. Они приурочены преимущественно к зонам контактов гранитоидов повышенной основности с карбонатными толщами. Вольфрам в таких месторождениях представлен единственным эндогенным минералом – шеелитом (иногда молибденошеелитом). К месторождениям скарнового типа относятся Тырны-Ауз (Северный Кавказ, Россия), Кинг-Айленд (Австралия), Азегур (Северная Африка) и др.

Грейзеновые месторождения имеют широкое распространение и отличаются крупными запасами. Данные месторождения образованы при изменении гранитных пород под действием газов и растворов, отделяющихся от охлаждающихся гранитных тел. Содержат мелкую вкраплённость вольфрамита, иногда кварц-вольфрамитовые прожилки. К данному типу относятся месторождения: Акчатау (Казахстан), Спокойнинское (Восточное Забайкалье), Тарингтон (Австралия) и др.

Жильные гидротермальные месторождения занимают главное положение в мировой добыче вольфрама. Руды залегают в виде кварцевых жил различной мощности и протяженности. Наибольшее промышленное значение имеют кварц-касситерит-вольфрамитовые и кварц-вольфрамитовые месторождения. К месторождениям этого типа относятся Джидинское (Бурятия), Антоновское (Восточное Забайкалье), Ильтин (Чукотка) и др.

Россыпные месторождения вольфрама образованы в результате размыва коренных пород. Широко распространены делювиальные и аллювиальные россыпи, содержащие вольфрамит и шеелит. Россыпи бедней по содержанию вольфрама, чем жильные месторождения, и в настоящее время их промышленное значение невелико. Содержание триоксида вольфрама в песках разрабатываемых россыпей колеблется от одного до нескольких килограммов на 1 м³ песков. Наиболее крупные россыпные месторождения вольфрама расположены в Юго-Восточной Азии.

Минимальное содержание WO₃ в рудах, при которых рентабельна и экономически целесообразна их эксплуатация, составляет 0,14-0,15 % для крупных месторождений и 0,4-0,5 % для мелких [4-5, 7].

Россия занимает второе место после Китая по объемам запасов вольфрама. Руды, в которых сосредоточен вольфрам, относятся к бедным с содержанием вольфрама 0,04-0,15 % WO₃ – месторождения Забайкалья, 0,35-1,7 % WO₃ – месторождения Дальнего Востока [10].

1.2 Способы переработки вольфрамовых концентратов

В промышленности используют различные технологические схемы переработки концентратов с целью получения триоксида вольфрама, служащего исходным материалом для производства вольфрама, карбида вольфрама и других соединений. Конечными продуктами процессов переработки сырья обычно являются гидратированный триоксид WO₃·H₂O (технологическое название – вольфрамовая кислота) или паравольфрамат аммония 5(NH₄)₂O·12WO₃·5H₂O, при термическом разложении которых получают триоксид вольфрама [4].

Выбор схемы переработки зависит от типа и состава концентратов (вольфрамитовый или шеелитовый), масштабов производства, требований к чистоте и физическим характеристикам триоксида вольфрама и ряда конкретных условий, которые определяют стоимость и целесообразность переработки сырья.

Известные способы можно подразделить на 3 группы [4-5]:

1. Конечный результат разложения – растворы вольфрамата натрия Na_2WO_4 . К этой группе относятся процессы разложения с использованием соды, щелочей, нейтральных солей (NaF , NaNO_3 и др.). Из растворов (после отделения от примесей) выделяют малорастворимые соединения вольфрама (кристаллогидрат триоксида вольфрама $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, вольфрамат кальция CaWO_4) или извлекают вольфрам из растворов методами экстракции или ионного обмена.

2. Конечный результат разложения – осадки технической вольфрамовой кислоты. Сюда относятся способы разложения концентратов минеральными кислотами. Полученную вольфрамовую кислоту (техническую) растворяют в аммиачной воде (удаление примесей в виде гидроксидов) и выделяют из аммиачного раствора паравольфрамат аммония или вольфрамовую кислоту.

3. Конечный результат разложения – конденсат летучих галогенидов и оксигалогенидов вольфрама. К этой группе относятся способы, основанные на хлорировании или фторировании сырья галогенами или их соединениями (н-р, фтораммонийная переработка). Гидролитическим разложением конденсата галогенидов и оксигалогенидов получают вольфрамовую кислоту.

Для извлечения вольфрама из стандартных концентратов обычно применяют способы вскрытия такие, как кислотное разложение, спекание с содой и др. Для переработки низкокачественных некондиционных продуктов используется процесс содового автоклавного выщелачивания [6].

1.2.1 Спекание с содой

Это универсальный способ разложения вольфрамитовых и шеелитовых концентратов, широко используемый в промышленности.

Спекание вольфрамита с содой. При температуре 800-900 °С вольфрамит активно реагирует с содой по практически необратимым реакциям.

При отсутствии кислорода:



В присутствии кислорода:



Избыток соды в шихте 10-20 % сверх стехиометрического необходимого количества (СНК) обеспечивает высокую степень разложения концентрата, которая составляет приблизительно 99,5 %. Иногда для ускорения процесса в шихту добавляют окислитель – натриевую селитру NaNO_3 (1-4 % от массы концентрата).

В производственных условиях вольфрамитовый концентрат спекают (сплавляют) с содой в печах периодического или непрерывного действия. Режим зависит от масштаба производства. Периодический процесс применяют при малом масштабе производства. Для такого процесса используют небольшие отражательные печи с площадью пода 6-8 м². При больших масштабах целесообразен непрерывный процесс. Для непрерывного спекания применяют трубчатые вращающиеся печи, футерованные шамотным кирпичом [4-5].

Спекание шеелита с содой. Взаимодействие шеелита с содой в интервале 800-900 °С может протекать по двум реакциям:



Параллельно возможно взаимодействие по реакциям:



Оптимальной для процесса разложения шеелита является шихта, которая содержит 180-200 % Na_2CO_3 от СНК при малярном соотношении $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 2,5$.

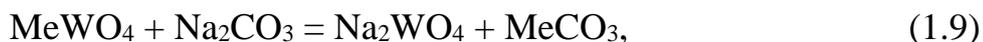
В производственной практике спекание шеелита с содой и кварцевым песком проводят в барабанных печах, футерованных шамотным огнеупором [4-5].

1.2.2 Автоклавно-содовый способ разложения вольфрамовых концентратов

Преимущества автоклавно-содового разложения вольфрамового сырья перед способом спекания состоят в исключении печного процесса, предшествующего выщелачиванию, и несколько меньшем содержании примесей (особенно фосфора и мышьяка) в растворах вольфрамата натрия.

Технология содового автоклавного выщелачивания вольфрамовых минералов была разработана для переработки низкосортных шеелитовых концентратов. После дополнительных исследований, связанных с особенностями поведения железа и марганца в растворах, технология успешно внедрена для переработки вольфрамитовых и гюбнеритовых продуктов [4, 6].

Автоклавно-содовый процесс основан на взаимодействии соды с вольфраматами железа, марганца и кальция по реакции [4]:



где Me – металл, связанный с вольфрамом в минерале (Fe, Ca или Mn).

С достаточной скоростью и полнотой реакция протекает при большом расходе карбоната натрия (приблизительно 250-300 % от СНК) и температурах 200-225 °С, что требует осуществления процесса в автоклавах. Высокий расход соды обусловлен наличием большого количества примесей, относительно малыми значениями константы равновесия реакции разложения, которая возрастает с повышением температуры и зависит от содового эквивалента, значительно понижаясь по мере его увеличения [4].

Обычно избыточное количество в 4 и более раз превышает необходимое стехиометрическое [11-12].

Для полного извлечения вольфрама из шеелита в раствор при 200 °С минимальный содовый эквивалент должен быть равен 2,5, а при 225 °С – 2,0. Эта величина для реальных концентратов, содержащих примеси других минералов, намного выше и зависит от содержания в них триоксида вольфрама [4].

Процесс содового автоклавного выщелачивания осуществляется в автоклавах – сосудах, находящихся под внутренним давлением периодического или непрерывного действия (в зависимости от масштабов производства).

1.2.3 Разложение минералов растворами едкого натра

При действии раствора едкого натра NaOH на вольфрамит протекает реакция обменного разложения с образованием вольфрамата натрия и гидроксидов железа и марганца:



Полное разложение (приблизительно 98-99 %) достигается при обработке тонкодисперсного концентрата (0,03-0,04 мм) 40-45 %-ным раствором едкого натра при температуре 110-120 °С. Требуемый избыток щелочи для данного процесса составляет 50 % и выше. Разложение раствором едкого натра осуществляют в стальных герметично закрытых реакторах, снабженных мешалками.

Расход щелочи можно снизить и тем самым ускорить вскрытие, если обработку проводить в обогреваемых шаровых мельницах, что объясняется истирающим действием шаров, снимающих с частиц минерала пленки гидроокисей.

Применение данного способа разложения ограничено, так как его экономически целесообразно использовать лишь для вскрытия высокосортных вольфрамитовых концентратов (65-70 % WO₃) с небольшим содержанием примеси кремнезема.

Шеелитовые концентраты не разлагаются растворами едкого натра [4, 7].

1.2.4 Кислотные способы вскрытия концентратов

Одним из распространенных способов переработки шеелитовых концентратов является разложение их концентрированной соляной кислотой при

температуре 90-100 °С с получением технической вольфрамовой кислоты H_2WO_4 , очищаемой затем аммиачным способом. Процесс разложения замедляется из-за пленок вольфрамовой кислоты, образующихся на поверхности минерала. Для полного разложения необходим 3-кратный избыток соляной кислоты от ТНК. Проведение процесса осуществляется в герметичных обогреваемых шаровых мельницах, которые обеспечивают размол минералов и снятие пленок, что снижает расход соляной кислоты до 120 % от ТНК [4-5]. Данный способ вскрытия применяется при переработке богатых (до 75 %) концентратов в связи с тем, что при вскрытии бедных увеличивается число операций и требуется больший расход реагентов при значительном содержании примесей [4].

Существует технология азотнокислого вскрытия шеелитового концентрата. При разложении также образуется техническая вольфрамовая кислота, но вместо вредных хлористых солей получают азотнокислые соли, используемые в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Для полного разложения необходим 4-кратный избыток азотной кислоты от ТНК. Процесс проводят при 100 °С. Вольфрам находится в пульпе в виде коллоидного раствора вольфрамовой кислоты. Для уменьшения содержания вольфрама в жидкой фазе в качестве коагулянта используют аммиачный раствор до $\text{pH} = 2$. При этом примеси сохраняются в растворе, а более 99 % вольфрама осаждается [4].

1.2.5 Фтораммонийная переработка концентратов

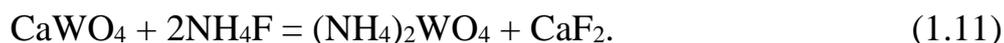
В связи с низкими значениями константы равновесия реакции разложения шеелита растворами соды были проведены исследования по замене карбоната натрия при автоклавном выщелачивании более эффективными реагентами, н-р, фторидом аммония.

Фтораммонийная переработка упрощает технологическую схему, так как извлечение вольфрама из шеелитовых концентратов происходит непосредственно в аммиачный раствор. При использовании фторида аммония

паравольфрамат аммония получают по самой короткой технологической схеме (рисунок А1, приложение А), исключая многие операции – переработку растворов вольфрамата натрия, очистку технической вольфрамовой кислоты.

Шеелитовые концентраты практически полно (98-99 %) разлагаются растворами фторида аммония в аммиачной среде (10 % NH₃) при температуре 200 °С и 150-170 %-ном от ТНК расходе реагента.

Процесс осуществляется по следующей реакции:



Недостатком аммонийно-фторидного способа разложения шеелита является сложность регенерации вольфрама из аммиачных маточных растворов после выпарки и кристаллизации ПВА. Это объясняется высокой концентрацией в маточных растворах фтор-ионов (15-20 г/л), затрудняющих осаждение [5].

В данной работе рассматривается способ содового автоклавного выщелачивания вольфрамовых соединений из вольфрамового концентрата производительностью 800 т/год по исходному сырью при температуре 225 °С.

1.3 Краткий обзор существующего аппаратурного оформления процесса

Аппаратурно выщелачивание проводят в автоклавах – герметичных реакторах, обеспечивающих повышенное давление в системе. При этом также повышается температура процесса, его скорость, увеличивается степень извлечения, снижается расход реагентов, сокращается длительность процесса. Кроме того, повышение давления увеличивает растворимость O₂, что ускоряет окисление извлекаемых компонентов воздухом. Автоклавы для выщелачивания могут работать при 200-300 °С и давлении 16-80 МПа [4-5].

В промышленности содовое автоклавное выщелачивание проводят в автоклавах трех типов [5]:

1. Вертикальных автоклавах периодического или непрерывного действия с обогревом и перемешиванием пульпы острым паром;
2. Горизонтальных вращающихся автоклавах с обогревом острым паром;

3. Вертикальных автоклавов с мешалками и обогревом глухим паром (реже применяется электрический обогрев).

На рисунке 1 приведена аппаратная схема с горизонтально вращающимся автоклавом [6]. Перед поступлением в автоклав пульпа подогревается острым паром в агитаторах, после чего насосом закачивается в автоклав. Для поддержания давления и температуры, а также дополнительного перемешивания в автоклав подается острый пар. По окончании выщелачивания пульпа поступает в самоиспаритель, где отделяется от пара на отбойнике и направляется на фильтрацию. Остаточный пар используется для предварительного нагрева пульпы перед выщелачиванием.

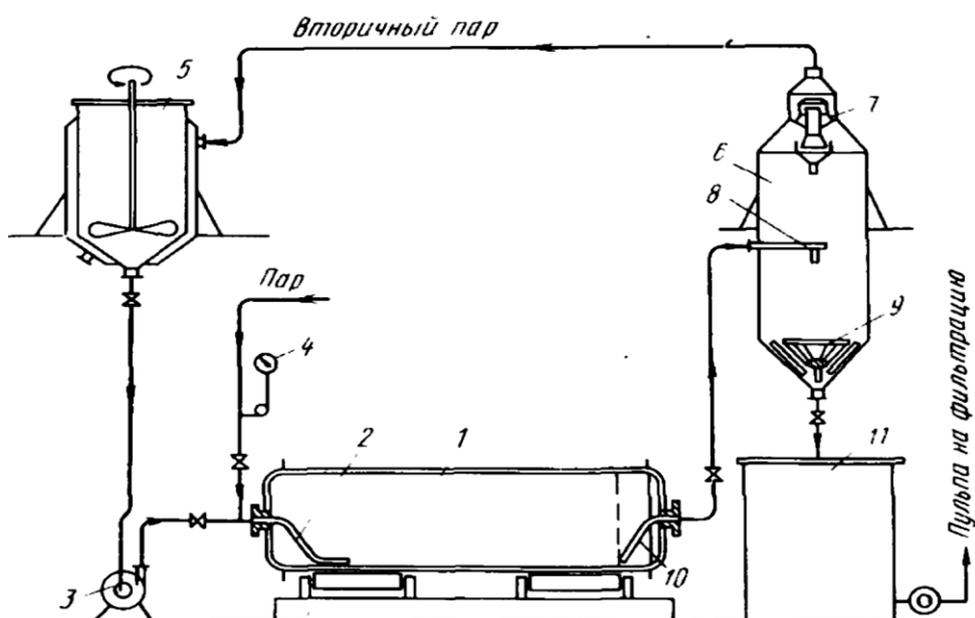


Рисунок 1 – Автоклавная установка с горизонтально вращающимся автоклавом:

- 1 – автоклав; 2 – загрузочная труба для пульпы (по ней же вводится пар);
- 3 – пульповый насос; 4 – манометр; 5 – реактор-подогреватель пульпы;
- 6 – самоиспаритель; 7 – каплеотделитель; 8 – ввод пульпы в самоиспаритель;
- 9 – отбойник из броневой стали; 10 – труба для отвода пульпы;
- 11 – сборник пульпы

На рисунке 2 приведена схема батареи вертикальных автоклавов непрерывного действия с перемешиванием пульпы барботажным паром [4].

Исходная пульпа, подогретая паром до 80-100 °С, подается насосом в автоклавы, в которых нагревается до 200-225 °С острым паром. Давление в

автоклаве поддерживается путем выпуска пульпы через дроссель (калиброванную шайбу из твердого сплава). Пульпа поступает в самоиспаритель, находящийся под давлением до 0,15-0,2 МПа, где происходит быстрое охлаждение вследствие интенсивного испарения, отделяется от пара и поступает в сборник.

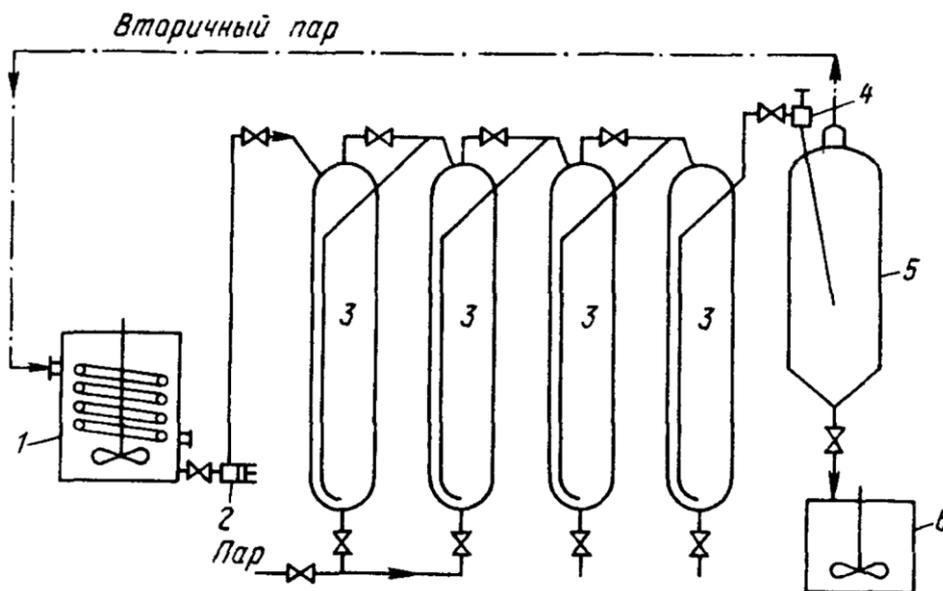


Рисунок 2 – Схема автоклавной установки с батареей вертикальных автоклавов:
 1 – реактор для подогрева исходной пульпы; 2 – поршневой насос;
 3 – автоклавы; 4 – дроссель; 5 – самоиспаритель; 6 – сборник пульпы

Технически совершенным способом организации процесса выщелачивания богатых (более 58 % WO_3) концентратов является двустадийное противоточное выщелачивание с барботажным перемешиванием. Такая организация процесса обеспечивает высокое извлечение вольфрама в раствор – 95-98 %, высокую производительность и снижение расхода соды [6].

Пульпу после первого выщелачивания сгущают и отделяют твердую фазу, которая после репульпации направляется на вторую стадию выщелачивания. На второй стадии хвосты первого выщелачивания, содержащие 15-20 % вольфрама от исходного, обрабатывают свежим раствором, содержащим большой избыток соды [4]. Получаемый раствор без доукрепления поступает на первую стадию выщелачивания. Раствор после первой стадии выщелачивания направляют на очистку от примесей и концентрирование вольфрама. Использование системы

автоматического регулирования параметров (температуры, концентрации соды, плотности пульпы) выщелачивания позволяет обеспечить высокую степень использования оборудования и утилизации тепла [6].

В данном проекте был выбран вертикальный автоклав с мешалкой и электрическим обогревом, так как заданная производительность невелика (периодический режим и малый объем аппарата).

2 Расчеты и аналитика

2.2 Объект и методы исследования

Расчет материальных потоков выполнен на основе закона сохранения масс, расчет тепловых балансов – на основе закона сохранения энергии. Тепловые эффекты химических реакций рассчитаны методом Тимкина-Шварцмана.

В проекте использована совокупность теоретических методов исследований, которые заключались в аналитическом обзоре литературы и ознакомлении с уже проделанными работами в этой области для накопления достаточной теоретической базы.

Объектом исследования является цех содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата.

Состав вольфрамового концентрата: $MnWO_4$ – 54,3 %; FeS_2 – 24,7 %; $Ca_3(PO_4)_2$ – 16,3 %; MnO – 1,5 %, CaF_2 – 1,0 %. Степень вскрытия концентрата – 96 % (исключение CaF_2 – не вскрывается). Соотношение «основной компонент/сода» = 1/7 от стехиометрического. Температура вскрытия 225 °С; заполнение аппарата 60 %. Данные использовались в качестве исходных для проведения необходимых расчетов и последующего конструирования.

В настоящем проекте приведены технологические расчеты автоклава, расчеты экономических показателей, рассмотрены вопросы строительства и организации работы цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата. Также рассмотрены вопросы, касающиеся охраны окружающей среды и охраны труда.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью экономического расчета является определение себестоимости продукции и обоснование финансово-экономической целесообразности проекта [18].

5.1. Сравнение технологий

В таблице 23 приведено сравнение технологий переработки вольфрамсодержащего сырья.

Таблица 23 – Сравнение технологий переработки вольфрамсодержащего сырья

Выщелачивающий реагент	HCl	NaOH	Na ₂ CO ₃
Характеристика			
Требования к сырью	Содержание WO ₃ не менее 50 %	-	-
Побочные продукты	FeCl ₃ , CaCl ₂	-	-
Стоимость реагента	Высокая	Высокая	Средняя
Экологические риски, отходы	Слабокислые сточные воды	Низкие	Низкие
Условия процесса	Атмосферное давление, T = 110 °C, t _{выщ.} = 7 часов	Атмосферное давление, T = 120 °C, t _{выщ.} = 6 часов	Повышенное давление (25 атмосфер), T = 225 °C, t _{выщ.} = 6 часов
Объем жидкой фракции в переделе	Высокий	Средний	Средний
Регенерация реагентов	Нет	Нет	Да
Капитальные вложения	Средние	Средние	Высокие

5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования.

Для анализа взяты три технологии переработки вольфрамсодержащего сырья из пункта 5.1. В таблице 24 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Таблица 24 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технологий переработки вольфрамсодержащего сырья

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{Na2CO3}	Б _{HCl}	Б _{NaOH}	К _{Na2CO3}	К _{HCl}	К _{NaOH}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,02	4	3	3	0,08	0,06	0,06
2. Безопасность	0,05	2	2	3	0,10	0,10	0,15
3. Сложность ведения процессов	0,02	4	4	4	0,08	0,08	0,08
4. Рекуперация энергии, регенерация реагентов	0,08	5	2	3	0,40	0,16	0,24
5. Автоматизация процессов	0,06	3	4	4	0,18	0,24	0,24
6. Сложность оборудования	0,06	2	3	3	0,12	0,18	0,18
7. Степень вскрытия	0,11	4	3	4	0,44	0,33	0,44
8. Исходное сырье	0,12	5	3	5	0,60	0,36	0,60
9. Экологические риски	0,10	4	2	4	0,40	0,20	0,40
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость реагента	0,10	4	3	2	0,40	0,30	0,20
2. Капитальные вложения	0,08	3	4	4	0,24	0,32	0,32
3. Конкурентоспособность	0,07	4	3	4	0,28	0,21	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
5. Срок выхода на рынок	0,04	4	5	5	0,16	0,20	0,20

6. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	3	4	0,20	0,15	0,20
ИТОГО	1				3,84	3,05	3,75

В результате составления оценочной карты можно сделать вывод, что технология содового автоклавного выщелачивания относительно кислотного (соляного) и щелочного (NaOH) вскрытий является конкурентоспособной.

Основные конкурентные преимущества:

- регенерация выщелачивающего агента (уменьшение себестоимости продукции);
- технология может использоваться для вскрытия как богатых вольфрамом (45-64 % WO₃), так и низкосортных концентратов (от 5 % WO₃);
- нет необходимости доводить низкосортные концентраты методами обогащения (большая доля затрат) до кондиционных;
- намного меньшая стоимость выщелачивающего агента.

Основной технологической сложностью содовой автоклавной технологии является использование повышенных давлений, но указанный недостаток не снижает технико-экономические показатели.

5.3 Расчет себестоимости передела

5.3.1 Расчет капитальных затрат на аренду

Величина капитальных затрат на здание цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются: стоимость 1 м³ здания согласно действующим поясным ценам на аренду.

Под цех выбрано помещение, длина которого составляет 24 м, ширина – 18 м, высота – 15 м. Производственная площадь – 432 м², периметр здания 84 м.

Стоимость 1 м² производственного помещения 500 рублей (Томская область). Таким образом, за аренду помещения в месяц тратится 216000 руб.

5.3.2 Расчёт эффективного фонда времени и численности рабочих

Проектируемый цех будет работать в непрерывном режиме без выходных и праздничных дней, с остановками для выполнения ТР и ППР, производимых согласно действующему утвержденному графику один раз в месяц в течение двух дней.

Проектируемый участок работает круглосуточно в три смены (дневная, вечерняя и ночная), продолжительностью по 8 часов каждая. Работа будет производиться 4-мя производственными бригадами.

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{М}}, \quad (5.1)$$

где $n_{\text{б}}$ – число бригад;

$T_{\text{М}}$ – число дней, когда бригада ходит в смену (4 дня).

Длительность сменоборота составила:

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{М}} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ дней.}$$

График сменности бригад отображена в таблице 25, где А, В, С, D – бригады. Длительность отдыха рабочего в году составляет 89 дней.

Таблица 25 – График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0-8	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
2	8-16	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C
3	16-24	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B
Отдых		D	C	B	B	A	D	C	C	B	A	D	D	C	B	A	A

В таблице 26 приведены значения баланса эффективного времени среднесписочного рабочего.

Таблица 26 – Баланс эффективного времени среднесписочного рабочего

Показатель	Дни	Часы
Календарное число дней	365	8760
Нерабочие дни (выходные)	89	2136
Номинальный фонд рабочего времени	276	6624
Планируемые выходные:		
а) очередные и дополнительные отпуска	32	768
б) по болезни	10	240
в) выполнение общественных обязанностей	1	24
Эффективный фонд рабочего времени	233	5592

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 233 \cdot 8 = 1864 \text{ часа.}$$

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 на участке.

Один аппаратчик способен обслуживать 2 аппарата в смену. Определим явочную численность основных рабочих в сутки по формуле (5.2):

$$N_{\text{яв.}} = \frac{1}{N_{\text{обсл.}}} \cdot F \cdot C = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 3 = 12 \text{ чел.} \quad (5.2)$$

где $N_{\text{яв.}}$ – 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 (5.3):

$$N_{\text{сп.}} = N_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб.}}} = 12 \cdot \frac{332}{233} = 17 \text{ чел.} \quad (5.3)$$

где $H_{\text{сп.}}$ – 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 17 человек в штат основных рабочих данного цеха.

Специфика работы участка, предполагает присутствие в рабочую смену руководителя (начальника цеха) – 1 и специалиста (инженера-технолога) – 1.

Принимаем, что в штате руководящего состава данного цеха начальников участка и специалистов должно быть по 1 человеку, а мастеров – 4 специалиста по одному в каждую рабочую смену.

Теперь определим суммарную списочную численность основного персонала, специалистов и руководителей по формуле (5.4).

$$\Sigma H_{\text{сп.}} = 17 + 6 = 23 \text{ чел.} \quad (5.4)$$

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

Отдельно посчитаем явочную и списочную численность механиков, т.к. монтажные, демонтажные, ремонтные и пусконаладочные работы проводятся исключительно в дневное время. Смена механиков длится 10 часов в сутки. График сменности выглядит следующим образом: 3дня рабочих через 3 дня выходных. График работы: с 7 часов до 18 часов; технический перерыв 1 час.

Расчет ведется по формулам (5.5-5.6).

$$H_{\text{яв.}} = 1 \cdot 1 = 1 \text{ чел.}; \quad (5.5)$$

$$H_{\text{сп.}} = 1 \cdot \frac{332}{233} = 2 \text{ чел.} \quad (5.6)$$

Принимаем 8 человек в штат вспомогательных рабочих, осуществляющих обслуживание данного цеха: 3 электрика, 3 КИПиА, 2 механика. Принимаем 3 человека в штат младшего обслуживающего персонала.

5.3.3 Расчет годового фонда заработной платы

Расчетный фонд вычисляется по формуле (5.7):

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}, \text{ руб./г.} \quad (5.7)$$

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

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

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

Основной фонд заработной платы вычисляется по формуле (5.8):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{в.см.}} + D_{\text{н.см.}} + D_{\text{пр.}}, \text{ руб./г.} \quad (5.8)$$

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

$D_{\text{в.см.}}$ – доплата за работу в вечернюю смену (30 % от $Z_{\text{тар.}}$);

$D_{\text{н.см.}}$ – доплата за работу в ночную смену (40 % от $Z_{\text{тар.}}$);

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

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

$$Z_{\text{тар.}}^i = N_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф.раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i \cdot 1,3, \text{ руб./г.} \quad (5.9)$$

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

$N_{\text{сп.}}^i$ – 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;

1,3 – районный коэффициент для города Томска.

Начальник цеха должен являться инженером-технологом первой категории со стажем работы не менее 5 лет. Часовая тарифная ставка инженера-технолога 1 категории составляет – 300 руб./ч.

$$Z_{\text{тар.}}^1 = 1 \cdot 1864 \cdot 300 \cdot 1,3 = 726960 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30 % от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр.}} = 726960 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 283514,4 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$Z_{\text{осн.}} = 726960 + 283514,4 = 1010474,4 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП:

$$Z_{\text{доп.}} = Z_{\text{осн.}} \cdot P_{\text{д.зп}} = 1010474,4 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 131361,7 \text{ руб./г.},$$

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

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$Z_{\text{год}} = 1010474,4 + 131361,7 = 1141836,1 \text{ руб./г.}$$

Часовая тарифная ставка инженера-технолога 2 категории составляет – 265 руб./ч. Часовая тарифная ставка инженера-технолога 3 категории составляет – 250 руб./ч.

Для инженеров-технологов 2 категории:

$$Z_{\text{тар.}^2} = 1 \cdot 1864 \cdot 265 \cdot 1,3 = 642148 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30 % от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр.}} = 642148 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 250437,7 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$Z_{\text{осн.}} = 642148 + 250437,7 = 892585,7 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП:

$$Z_{\text{доп.}} = Z_{\text{осн.}} \cdot P_{\text{д.зп}} = 892585,7 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 116036,1 \text{ руб./г.};$$

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

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$Z_{\text{год}} = 892585,7 + 116036,1 = 1008621,8 \text{ руб./г.}$$

Для мастеров смен (инженеров-технологов 3) категории:

$$Z_{\text{тар.}^3} = 4 \cdot 1864 \cdot 250 \cdot 1,3 = 2423200 \text{ руб./г.};$$

$$D_{\text{в.см.}} = 4 \cdot 72 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 224640 \text{ руб./г.};$$

$$D_{\text{н.см.}} = 4 \cdot 102 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 0,4 \cdot 1,3 = 424320 \text{ руб./г.};$$

$$D_{\text{пр.}} = 242320 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 945048 \text{ руб./г.};$$

$$Z_{\text{осн.}} = 2423200 + 224640 + 424320 + 945048 = 4017208 \text{ руб./г.};$$

$$Z_{\text{доп.}} = Z_{\text{осн.}} \cdot P_{\text{д.зп}} = 4017208 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 522237 \text{ руб./г.}$$

$$Z_{\text{год}} = 4017208 + 522237 = 4539445 \text{ руб./г.}$$

Часовая тарифная ставка для **механиков** составляет – 235 руб./ч. Так как механики работают только в дневную смену, продолжительностью 10 часов, то эффективное время работы одного механика с учетом выходных дней и отпусков составляет 1450 часов в год.

$$Z_{\text{тар.}} = 2 \cdot 1450 \cdot 235 \cdot 1,3 = 885950 \text{ руб./Г;}$$

$$D_{\text{пр.}} = 885950 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 345520,5 \text{ руб./Г;}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 885950 + 345520,5 = 1231470,5 \text{ руб./Г;}$$

$$Z_{\text{доп.}} = Z_{\text{осн.}} \cdot P_{\text{д.зп}} = 1231470,5 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 160091,2 \text{ руб./Г;}$$

$$Z_{\text{год}} = 1231470,5 + 160091,2 = 1391561,7 \text{ руб./Г.}$$

Для проектируемого участка к работе будут привлекаться **аппаратчики 5-го и 6-го разрядов**, а также **электрики, КИПиА и младший обслуживающий персонал.**

Оклады персонала принимаем следующим образом:

- аппаратчик 6-го разряда – 47000 руб.
- аппаратчик 5-го разряда – 40000 руб.
- КИПиА – 30000 руб.
- электрик – 23000 руб.
- уборщица – 20000 руб.

1. Фонд заработной платы вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для ИТР принимаем равным 11 месяцев, для служащих – 11,3 месяца.

$$\Phi_{\text{осн.}} = 8 \cdot 11 \cdot 47000 + 9 \cdot 11 \cdot 40000 + 3 \cdot 11,3 \cdot 30000 + 3 \cdot 11,3 \cdot 23000 + 3 \cdot 11,3 \cdot 20000 = 10570700 \text{ руб.}$$

2. Дополнительная заработная плата ИТР и служащих находится по формуле:

$$Z_{\text{доп.}} = \Phi_{\text{осн.}} \cdot D_{\text{отп.}} / B_{\text{к}} = 10570700 \cdot 30 / 365 = 868824,7 \text{ руб.}, \quad (5.10)$$

где $\Phi_{\text{осн.}}$ – основной фонд заработной платы;

$D_{\text{отп.}}$ – календарное количество дней отпуска (30 дней);

$B_{\text{к}}$ – календарный год – 365 дней.

3. Доплата за работу в праздничные дни (для уборщицы):

$$D_{\text{пр.д.}} = \text{окл.} \cdot N \cdot R_{\text{яв.}} / 23,4 = 20000 \cdot 12 / 23,4 = 10256,4 \text{ руб.}, \quad (5.11)$$

где окл. – месячный оклад;

N – количество праздничных дней в году;

23,4 – среднемесячное число рабочих дней.

4. Годовой фонд заработной платы ИТР, служащих и МОП:

$$\Phi_{\text{зп}} = \Phi_{\text{осн}} + Z_{\text{доп.}} + D_{\text{пр.д.}} = 10570700 + 868824,7 + 10256,4 = 11449781,1 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$Z_3 = \Phi_{\text{зп}} \cdot 1,3 = 11449781,1 \cdot 1,3 = 14884715,4 \text{ руб.}$$

Полный годовой фонд заработной платы в цехе содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата для всех сотрудников составляет:

$$\Phi_{\text{зп}} = 1141836,1 + 1008621,8 + 4539445 + 1391561,7 + 14884715,4 = 22966180 \text{ руб./г.}$$

5.3.4 Расчет стоимости оборудования

Стоимость основного и вспомогательного оборудования приведена в таблице 27.

Таблица 27 – Стоимость основного и вспомогательного оборудования

Наименование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Стоимость, руб.
Основное оборудование			
Агитатор с мешалкой	1	1 200 000	1 200 000
Агитатор с мешалкой и рубашкой	1	1 600 000	1 600 000
Автоклав	2	4 800 000	9 600 000
Самоиспаритель	1	1 500 000	1 500 000
Пресс-фильтр	1	1 600 000	1 600 000
Дополнительное оборудование			
Емкость для воды	2	100 000	200 000
Бункер для соды	1	450 000	450 000
Бункер вольфрамового концентрата	1	650 000	650 000
Центробежный насос	5	200 000	1 000 000
Емкость охлаждения пульпы	3	350 000	1 050 000
Вакуум-насос	1	100 000	100 000
КИПиА	–	2 500 000	2 500 000
Арматура и трубопроводы	–	3 500 000	3 500 000
Итого			24 950 000

5.3.5 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Транспортные расходы на перевозку оборудования, заготовительно-складские работы составляют 8 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{тр}} = 24950000 \cdot 0,08 = 1996000 \text{ руб/год.}$$

Стоимость монтажных работ составляет 20 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{монт.}} = 24950000 \cdot 0,2 = 4990000 \text{ руб/год.}$$

Стоимость специальных работ принимаем 10 % от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ):

$$Z_{\text{сп.р.}} = 24950000 \cdot 0,1 = 2495000 \text{ руб/год.}$$

Таблица 28 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование	% от стоимости оборудования	Сумма, руб.
Транспортные расходы	8	1 996 000
Монтажные расходы	20	4 990 000
Специальные работы	10	2 495 000
Итого	38	9 481 000

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$Z_{\text{к.об.}} = C_{\text{об}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{монт.}} + Z_{\text{сп.р.}} = 24950000 + 9481000 = 34431000 \text{ руб/год.}$$

Ремонт производственного оборудования обходится в 15 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{р.}} = 24950000 \cdot 0,15 = 3742500 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 24950000 \cdot 0,05 = 1247500 \text{ руб.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования – 10 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ам}} = 24950000 \cdot 0,1 = 2495000 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$Z_{об} = 3742500 + 1247500 + 2495000 = 7485000 \text{ руб.}$$

Аренда помещения в год составит:

$$Z_{аренда} = 12 \cdot 216000 = 2592000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{общ.} = 2592000 + 7485000 = 10077000 \text{ руб.}$$

5.3.6 Расчет технологических затрат

Расчет затрат на электроэнергию:

$$Z_{эн.} = T_э \cdot N_T \cdot T_{р.об.}, \quad (5.12)$$

где $T_э$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (3,25 руб.);

N_T – суммарная мощность, кВт (200 кВт);

$T_{р.об.}$ – время работы оборудования в год (8160 час).

$$Z_{эн.} = 3,25 \cdot 200 \cdot 8160 = 5304000 \text{ руб/год.}$$

Расчет затрат на воду:

$$Z_{вод.} = T_в \cdot T_{р.об.} \cdot B, \quad (5.13)$$

где $T_в$ – стоимость 1 м³ воды, руб. (35 руб/м³);

B – часовой расход воды, м³ (5 м³/ч).

$$Z_{вод.} = 35 \cdot 8160 \cdot 5 = 1428000 \text{ руб/год.}$$

Затраты на освещение:

$$Z_{осв.} = \left(\frac{15 \cdot S_{п.} \cdot M \cdot T_{р.об.}}{1000} \right) \cdot T_э, \quad (5.14)$$

где 15 – количество Ватт на 1 м² пола;

$S_{п.}$ – площадь пола, м² (360 м²);

M – количество часов искусственного освещения в сутки (24 ч.);

$T_э$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (2,28 руб.);

$T_{р.об.}$ – число дней работы производства в году (365 дней).

$$Z_{осв.} = (15 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 2,28 = 1079854 \text{ руб/год.}$$

Затраты на вентиляцию:

$$Z_{\text{вент.}} = (P_{\text{э.д.}} \cdot T_{\text{кал}}) \cdot T_{\text{э}}, \quad (5.15)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени (час);

$P_{\text{э.д.}}$ – мощность электродвигателя вентиляции, кВт;

Установим в цехе вентиляторы в количестве 5 штук, ($P_{\text{э.д.}} = 15$ кВт).

$$Z_{\text{вент.}} = (15 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365) \cdot 2,28 = 1497960 \text{ руб/год.}$$

Затраты на отопление:

$$Z_{\text{отопл.}} = \left(\frac{a \cdot S_{\text{п}} \cdot T \cdot V_{\text{о.п.}}}{1000} \right) \cdot T_{\text{э}}, \quad (5.16)$$

где a – количество тепла на 1 м³ помещения, кВт (4,4 кВт);

T – продолжительность отопительного сезона, ч (4344 ч);

$V_{\text{зд}}$ – объем отапливаемого помещения, м³ (5400 м³).

$$Z_{\text{отопл.}} = (4,4 \cdot 4344 \cdot 5400) / 1000 = 103213 \text{ руб/год.}$$

Затраты на ОТ и ТБ составляют 12 % от $\Phi_{\text{общ.}}$:

$$Z_{\text{от. тб.}} = 22966180 \cdot 0,12 = 2755942 \text{ руб/год.}$$

Отчисления на социальные нужды.

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

$$Z_{\text{соц.}} = 22966180 \cdot 0,3 = 6889854 \text{ руб/год.}$$

5.3.7 Расчет затрат на реагенты

Затраты на реагенты приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Затраты на реагенты

Наименование	Цена за единицу, руб./тн	Количество на весь годовой выпуск, тн	Итоговые затраты, руб./год
Вольфрамовый концентрат	300 000	800	240 000 000
Na ₂ CO ₃	20 000	1021,3	20 426 000
H ₂ O	5 000	4084,9	20 424 500
Итого			280 850 500

5.4 Калькуляция себестоимости передела

Таблица 30 – Калькуляция себестоимости передела

Статьи затрат	Единица измерения	Сумма, руб./год
Реагенты	т	280 850 500
Электроэнергия на тех. нужды	кВт	5 304 000
Итого условно-переменные затраты		286 154 500
Фонд ЗП	руб.	22 966 180
Отчисления на соц. нужды	руб.	6 889 854
<i>Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:</i>		
амортизация оборудования	руб.	2 495 000
тек. и кап. ремонты	руб.	3 742 500
содержание оборудования	руб.	1 247 500
<i>Цеховые расходы:</i>		
аренда здания	руб.	2 592 000
содержание здания	руб.	4 109 027
расходы на ОТ и ТБ	руб.	2 755 942
Итого условно-постоянные затраты		46 798 003
СЕБЕСТОИМОСТЬ ПЕРЕДЕЛА		332 952 503

Стоимость переработки 1 тонны вольфрамового концентрата составляет 416 191 рубль.

5.5 Вывод по разделу

Таким образом, произведен расчет себестоимости передела цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата, который составил 332 952 503 рублей. При применении данной технологии наблюдается снижение себестоимости за счет снижения затрат на реагенты и электроэнергию, т.к. в ходе процессов происходит регенерация выщелачивающего агента и рекуперация энергии. Относительно других технологий переработки вольфрамовых концентратов в данной технологии уменьшены экологические риски и сокращено количество отходов, что улучшает показатели охраны окружающей среды.

7 Автоматизация процесса

7.1 Описание функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации приведена в приложении Е.

Для осуществления процесса содового автоклавного выщелачивания вольфрама необходимо приготовить пульпу из вольфрамового концентрата и содового раствора.

Содовый раствор готовится в реакторе III растворением соды в воде. Вода температурой 40 °С подается из емкости I в реактор III. Емкость I снабжена сигнализатором уровня поз. 1-1. Температура воды в емкости I контролируется термодатчиком поз. 2-1 и регулируется за счет подачи холодной воды из артезианской скважины через вентиль поз. 2-7.

Сода из бункера II, снабженного датчиком веса поз. 3-1, подается шнековым питателем в реактор III.

В реакторе III перемешивание содового раствора обеспечивается мешалкой. Содержание соды контролируется рН-метром поз. 4-1 и регулируется за счет оборотов шнекового питателя подачи соды. Температура содового раствора измеряется термодатчиком поз. 5-1. Уровень содового раствора в реакторе III контролируется датчиком уровня поз. 6-1 и регулируется за счет подачи воды из емкости I через вентиль поз. 6-7. Если вентиль поз. 6-7 закроется при достижении нужного уровня в реакторе III, то подача соды из бункера II будет прекращена, т.к. рН раствора будет расти.

После приготовления содового раствора в реакторе III первый сливается в реактор V для приготовления пульпы. При достижении нижней границы уровня в реакторе III (поз. 9-1) вентиль поз. 9-7 закрывается. В реакторе III начинает готовиться новая порция содового раствора.

Вольфрамовый концентрат из бункера IV, снабженного датчиком веса поз. 7-1, подается шнековым питателем в реактор V. Расход вольфрамового

концентрата регулируется изменением мощности привода шнекового питателя поз. 8-1.

В реакторе V перемешивание пульпы обеспечивается мешалкой. Реактор V снабжен сигнализатором уровня поз. 10-1. Пульпа в данном реакторе подогревается до 80 °С за счет глухого пара, поступающего из самоиспарителя VIII. Температура в реакторе V контролируется термодатчиком поз. 11-1 и регулируется с помощью вентиля поз. 11-7 подачи глухого пара.

После приготовления пульпа подается с помощью пульпонасоса VI в автоклав VII₁. Процесс автоклавного выщелачивания является периодическим (при работе автоклава VII₁ автоклав VII₂ не работает), поэтому работа пульпонасоса поз. 12-4 и вентилях поз. 12-5 – 12-8 осуществляется по времени. При загрузке пульпы в первый автоклав вентиль поз. 12-5 открыт, а вентиль поз. 12-6 закрыт; при разгрузке вентиль поз. 12-7 открыт, а вентиль поз. 12-8 закрыт. Нагрев в автоклаве до температуры 225 °С обеспечивается за счет ТЭНов, температура в автоклавах контролируется термодатчиками поз. 13-1 и 16-1. Перемешивание содержимого в автоклавах осуществляется мешалкой. Автоклавы оборудованы сигнализаторами уровня поз. 15-1 и 18-1 и датчиками давления поз. 14-1 и 17-1.

После процесса содового автоклавного выщелачивания из автоклава в самоиспаритель VIII пульпа перемещается самотеком, где охлаждается в результате испарения воды. Давление в самоиспарителе контролируется датчиком давления поз. 19-1 и регулируется за счет вентиля поз. 19-8. Водяной пар из самоиспарителя VIII откачивается вакуумным насосом IX и используется для подогрева пульпы перед выщелачиванием.

Пульпа из самоиспарителя поступает в накопительную емкость X, оборудованную сигнализатором уровня поз. 20-1. Температура в емкости X регулируется термодатчиком поз. 21-1. После охлаждения до 25 °С в емкости X пульпа отправляется на пресс-фильтр XI. При достижении нижней границы уровня в емкости X (поз. 22-1) вентиль поз. 22-7 закрывается.

Пресс-фильтр разделяет твердую и жидкую фазы (поз. 23-4). Обезвоженный кек поступает в отвал, осветленный раствор – на ионный обмен.

7.2 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации

Контролю подлежат:

1. Уровень воды в емкости I.
2. Температура воды в емкости I (40 °С).
3. Вес соды в бункере II
4. Концентрация соды в реакторе приготовления содового раствора III (0,23 кг/л, рН=11,0).
5. Температура содового раствора.
6. Уровень содового раствора в реакторе III.
7. Вес вольфрамового концентрата в бункере IV.
8. Расход вольфрамового концентрата.
9. Уровень содового раствора в реакторе III при сливе в реактор V.
10. Уровень пульпы в аппарате V.
11. Температура пульпы (80 °С) в реакторе V.
12. Температура пульпы в автоклавах VII₁₋₂ (225 °С).
13. Давление в автоклавах VII₁₋₂ (4,0 МПа).
14. Уровень пульпы в автоклавах VII₁₋₂.
15. Давление в самоиспарителе VIII (0,1 МПа).
16. Уровень пульпы в накопительной емкости X.
17. Температура пульпы в накопительной емкости X.
18. Уровень пульпы в накопительной емкости X при сливе.

Регулированию подлежат:

1. Температура воды в емкости I.
2. Концентрация соды в реакторе приготовления содового раствора III.
3. Уровень содового раствора в реакторе III.

4. Расход вольфрамового концентрата.
5. Уровень содового раствора в реакторе III при сливе в реактор V.
6. Температура пульпы в реакторе V.
7. Температура пульпы в автоклавах VII₁₋₂.
8. Давление в самоиспарителе VIII.
9. Уровень пульпы в накопительной емкости X при сливе.

Сигнализации подлежат:

1. Верхний уровень воды в емкости I.
2. Верхний уровень пульпы в реакторе V.
3. Верхний уровень пульпы в автоклавах VI₁₋₂.
4. Давление в самоиспарителе VIII.
5. Верхний уровень пульпы в емкости X.

7.3 Перечень первичных преобразователей

Для контроля технологических параметров цеха содового автоклавного выщелачивания вольфрама из вольфрамового концентрата выбраны контрольно-измерительные приборы, список которых представлен ниже.

1. Стационарный промышленный рН-метр рН-4121. рН-метр преобразовывает измеряемые параметры в унифицированный аналоговый выходной сигнал постоянного тока, производит обмен информацией с ПК по цифровому интерфейсу. У прибора есть сигнализация, которая срабатывает при выходе измеряемых характеристик за границы заданных значений. Градуировка рН-метра производится из меню первичного преобразователя. Используется в нефтехимической, пищевой, химической, целлюлозно-бумажной и в различных других отраслях промышленности. Позиция: 4-1. Характеристики рН-метра рН-4121 приведены в таблице 35.

Таблица 35 – Характеристики рН-метра рН-4121

Характеристики	Значения
Диапазон измерений, ед. рН	0-14
Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности при измерении рН в комплекте с комбинированным электродом, рН	± 0,05
Диапазон измерения температуры анализируемой среды, °С	от 0 до 100
Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности при измерении температуры, °С	± 0,5
Климатическое исполнение	УХЛ 4 по ГОСТ 15150
Степень защиты от пыли и воды	IP65 по ГОСТ 14254
Устойчивость к механическим воздействиям	группа V2 по ГОСТ 12997
Степень взрывозащиты корпуса типа И	1ExdПВТ6Х

2. МВТ 153 – датчик температуры, предназначенный для тяжелых условий эксплуатации, который можно использовать для управления подачей охлаждающей воды и регулирования химических процессов. Позиция: 2-1, 5-1, 11-1, 21-1. Характеристики датчика температуры МВТ 153 приведены в таблице 36.

Таблица 36 – Характеристики датчика температуры МВТ 153

Характеристики	Значения
Величина сопротивления	1*Pt 100
Диапазон температур	от - 50 до + 100
Электрические соединения	Кабель

3. Радарный волноводный уровнемер МТ 2000, предназначенный для эксплуатации в сложных условиях (пар, пена, налипания, волны, резкие скачки уровня), точность измерения не зависит от плотности, диэлектрической постоянной и давления. Настройка диапазона измерений не требует имитации уровня и наличия среды. Позиция: 6-1. Характеристики уровнемера МТ 2000 приведены в таблице 37.

Таблица 37 – Характеристики уровнемера МТ 2000

Характеристики	Значения
Точность	5,1 мм
Диапазон	0,01-30 м
Макс. температура	427 °С
Макс. давление	3,44 МПа
Мин. диэлектрическая постоянная	1,3
Выходной сигнал	4-20 мА
Взрывозащита	ЕЕхd IIC T6

4. Частотный преобразователь INNOVERT, предназначенный для измерения частоты вращения вала, линейной скорости перемещения конвейера, времени наработки агрегатов и т.д. Позиция: 8-1. Характеристики частотного преобразователя INNOVERT приведены в таблице 38.

Таблица 38 – Характеристики частотного преобразователя INNOVERT

Характеристики	Значения
Диапазон выходной частоты	от 0,1 до 400 Гц
Диапазон значений измерения времени	от 1с до 9999 суток
Диапазон рабочих температур	-20...60°С
Мощность, кВт	от 0,4 до 2,2
Входной ток при активном уровне сигнала, мА, не менее	4,5

5. Преобразователь давления ОВЕН ПД200-ДИВ, предназначен для непрерывного преобразования избыточного давления измеряемой среды в унифицированный сигнал постоянного тока 4 - 20 мА и цифровой сигнал стандарта HART. Предназначен для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Рекомендуются к использованию в системах автоматизации котельных станций и систем пожаротушения. Позиция: 14-1, 17-1. Характеристики преобразователя давления ОВЕН ПД200-ДИВ приведены в таблице 39.

Таблица 39 – Характеристики ОВЕН ПД200-ДИВ

Характеристики	Значения
Выходной сигнал постоянного тока	4...20 мА
Максимальное рабочее давление	3,5 МПа
Пределы допустимой основной погрешности измерения	± 0,1 %
Напряжение питания	15 - 42 В
Потребляемая мощность	не более 1,0 Вт
Сопротивление нагрузки	0...1350 Ом для сигнала 4...20 мА, не менее 250 Ом для HART-протокола
Время отклика	200 мс

6. Термопреобразователь сопротивления ДТС, предназначенный для непрерывного измерения температуры различных рабочих сред (пар, газ, вода, сыпучие материалы, химические реагенты и т.п.), неагрессивных к материалу корпуса датчика. Позиция: 13-1, 16-1. Характеристики термопреобразователя сопротивления ДТС приведены в таблице 40.

Таблица 40 – Характеристики термопреобразователя ДТС

Характеристики	Значения
Выходной сигнал постоянного тока	4...20 мА
Пределы допустимой основной погрешности измерения	± 0,1 %
Давление процесса	-0,1 до 10 Мпа
Температура окружающей среды	от -40 до 80 °С
Контролируемые среды:	практически все жидкости с плотностью не ниже 500 кг/м ³ и вязкостью от 0,2 до 10000 сП
Температура процесса	от -70 до 260 °С

7. Многопределный преобразователь давления «Коммуналец» СДВ-И-2,5-1,6-1,0, предназначен для непрерывного преобразования избыточного давления нейтральных и агрессивных, газообразных и жидких сред в унифицированный сигнал постоянного тока. Предназначен для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Позиция: 19-1. Характеристики преобразователя давления «Коммуналец» СДВ-И-2,5-1,6-1,0 приведены в таблице 41.

Таблица 41 – Характеристики преобразователя давления «Коммуналец»
СДВ-И-2,5-1,6-1,0

Характеристики	Значения
Выходной сигнал постоянного тока	4...20 мА
Максимальное рабочее давление	2,5 МПа
Пределы допустимой основной погрешности измерения	± 0,5 %
Напряжение питания	12 - 36 В
Потребляемая мощность	не более 1,0 Вт
Время отклика	250 мс

8. Сигнализатор уровня Rosemount серии 2130 предназначен для контроля предельных уровней жидкостей в реакторах, технологических емкостях и товарных резервуарах. Позиция: 1-1, 9-1, 10-1, 15-1, 18-1, 20-1, 22-1. Характеристики сигнализатора уровня Rosemount приведены в таблице 42.

Таблица 42 – Характеристики сигнализатора уровня Rosemount серии 2130

Характеристики	Значения
Выходной сигнал постоянного тока	4...20 мА
Максимальное рабочее давление	10 МПа
Максимальная рабочая температура	260 ⁰ С
Пределы допустимой основной погрешности измерения	± 1 %
Контролируемые среды	жидкости с плотностью не ниже 500 кг/м ³ и вязкостью от 0,2 до 10000 сП

9. Тензометрический датчик веса балочного типа К-Б-12У METTLER TOLEDO, предназначенный для измерения веса в промышленных емкостях, весах, конвейерах. Позиция: 3-1, 7-1. Характеристики датчика веса балочного типа К-Б-12У METTLER TOLEDO приведены в таблице 43.

Таблица 43 – Характеристики датчика веса балочного типа К-Б-12У
METTLER TOLEDO

Характеристики	Значения
Измерительный диапазон по весу	5 кг – 10 т
Класс защиты	IP68
Материал	Нержавеющая сталь и специальная сталь
Сертификаты	ATEX, FM, OIML, NTEP

7.4 Выводы по разделу

Поддержание оптимальных технологических параметров в цехе содового автоклавного выщелачивания вольфрамового концентрата является основной задачей автоматизации. Исходя из этого был составлен перечень контролируемых и регулируемых параметров, а также событий, подлежащих сигнализации, на основе которого были подобраны датчики, преобразователи частот и регулирующие механизмы, позволяющие реализовать данный процесс с соблюдением оптимальных технологических параметров. Была разработана и описана функциональная схема автоматизации.

Список публикаций

1. Гартман А. Ю. Физическое осаждение карбоната натрия в технологическом процессе получения вольфрамсодержащей продукции / А. Ю. Гартман; науч. рук. Ю. В. Передерин // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, 17-20 мая 2016 г., г. Томск. –Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – [С. 407-408].

2. Гартман А.Ю. Физическое осаждение карбоната натрия в технологическом процессе получения вольфрамсодержащей продукции / А. Ю. Гартман, А.Н. Дьяченко, Р.И. Крайденко, Ю.В. Передерин// Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 1-3 июня 2016 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – [С. 131].

3. Гартман А. Ю. Неклассическое получение титана / А. Ю. Гартман; науч. рук. Ю. В. Передерин // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, 29 мая-1 июня 2017 г., г. Томск. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – [С. 352-353].