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 фторирования вольфрамового концентрата с производительностью 800 тонн в год по исходному сырью

УДК 661.878.094.412.001.66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Велижанский Алексей Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Нормоконтролер	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Петлин И.В.	к.т.н.		
Зав. кафедрой	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Доцент	Крайденко Р.И.	д.х.н., доцент		

Томск – 2018 г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
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
Универсальные компетенции	
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
Р9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
Р10	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
Р11	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**
0421	Велижанский Алексей Юрьевич

Тема работы:

Проект цеха фторирования вольфрамового концентрата с производительностью 800 тонн в год по исходному сырью	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	8796/с от 3.11.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.12.2017

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.).*	Температура процесса 190 °С, соотношение «сырье/фторирующий агент» = 1/2,3, время пребывания рабочей массы в аппарате 1,5 часа, угол наклона аппарата 0-4 градуса, обогрев электрический. Состав исходной руды: $MnWO_4$-48,28 %, $FeWO_4$-15,27 %, $CaWO_4$-5,39 %, CaF_2-6,38 %, SiO_2-5,87 %, TiO_2-1,50 %, Fe_2O_3-17,31 %.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	**Введение** **1. Обзор литературы** 2. **Расчеты и аналитика** 2.1. Теория процесса (термодинамика, кинетика) 2.2. Объект и методы исследования 2.3. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 2.4. Расчет материального баланса технологической схемы 2.5. Расчет теплового баланса технологической схемы

	2.6. Расчет основного аппарата. 2.6.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата 2.6.2. Механический расчет основного аппарата 2.6.3. Гидравлический расчет основного аппарата 2.6.4. Энергетический расчет основного аппарата **3. Результаты расчетов** **4. План размещения оборудования** 4.1. Подбор основного технологического оборудования 4.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования 4.3. Энергетический расчет технологической схемы 4.4. План размещения оборудования **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение** **6. Социальная ответственность** **7. Автоматизация процесса** **Заключение** **Список использованных источников**
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93…2.034-83). Аппаратурно-технологическая схема План размещения оборудования Презентация Power Point Presentation

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна
Социальная ответственность	Акимов Дмитрий Васильевич
Автоматизация процесса	Вильнина Анна Владимировна
Нормоконтролер	Петлин Илья Владимирович

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.10.17

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Велижанский Алексей Юрьевич		

Реферат

Дипломный проект, 118 с., 4 рисунка, 45 таблиц, 47 источников, 5 приложений, 3 листа графического материала формата А1.

Ключевые слова: вольфрам, гидрофторид аммония, барабанная вращающаяся печь, разложение, переработка, фториды.

Цель дипломного проекта: спроектировать цех переработки вольфрамового концентрата с использованием гидрофторида аммония.

В процессе выполнения дипломного проекта был произведен литературный обзор существующих способов переработки, рассмотрены термодинамика и кинетика фторирования вольфрамового концентрата. Рассчитаны материальный и тепловой балансы. Разработаны функциональная схема автоматизации и аппаратурно-технологическая схема процесса. Произведен расчет основного аппарата, подобрано вспомогательное оборудование. На основе расчета и данных о подобранном оборудовании, были определены габариты основного и вспомогательного оборудования. Исходя из особенностей процесса, габаритов подобранного и рассчитанного оборудования, составлен план цеха.

Для определения экономических показателей данного передала, была составлена матрица SWOT-анализа, рассчитана себестоимость и описана ресурсоэффективность проекта.

Произведен анализ вредных и опасных производственных факторов данного участка, определены способы коллективной и индивидуальной защиты персонала. Описаны возможные чрезвычайные ситуации и меры по их предотвращению, упреждению.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ 2.105-Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам;

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

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

ГОСТ 380-50 Сталь углеродистая горячекатаная обыкновенного качества. Классификация и общие технические условия;

ГОСТ 8240-97. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент;

ГОСТ 8639-82. Трубы стальные квадратные. Сортамент;

ГОСТ Р 53383-2009 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические условия;

ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные на P_y от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см^2). Конструкция и размеры.

Обозначения и сокращения:

ПВА – паравольфрамат аммония;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

КИПиА – контрольно измерительные приборы и автоматика;

МОП – младший обслуживающий персонал;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

КПД – коэффициент полезного действия.

Оглавление

Введение 11

1 Обзор литературы 13

1.1 Вольфрам. Паравольфрамат аммония. Руды и месторождения 13

1.2 Существующие способы переработки вольфрамовых концентратов 14

1.2.1 Спекание или сплавление вольфрамитовых концентратов с содой 15

1.2.2 Разложение вольфрамита растворами едкого натра 15

1.2.3 Сплавление шеелита с содой и кварцевым песком 16

1.2.4 Автоклавное разложение шеелита раствором соды 16

1.2.5 Разложение шеелита соляной кислотой 17

1.3 Гидрофторид аммония 17

1.3.1 Физические и химические свойства 17

1.3.2 Получение гидрофторида аммония 19

1.4 Разложение вольфрамового концентрата гидрофторидом аммония 20

1.5 Обзор существующего аппаратурного оформления процесса 21

1.5.1 Барабанные вращающиеся печи 21

1.5.2 Газоочистное оборудование 27

2 Расчеты и аналитика 29

2.1 Теория процесса 29

2.2 Объект и методы исследования 31

2.3 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы 31

2.4 Расчет материального баланса технологической схемы 33

2.4.1 Материальный баланс вскрытия вольфрамового концентрата 33

2.4.2 Материальный баланс газоочистного оборудования 37

2.5 Расчет теплового баланса технологической схемы 39
2.6 Расчет основного аппарата 42
2.6.1 Расчет геометрии и габаритов основного аппарата 42
2.6.2 Механический расчет основного аппарата 43
2.6.3 Гидравлический расчет основного аппарата 56
2.6.4 Энергетический расчет основного аппарата 57
3 Результаты расчетов 63
4 План размещения оборудования 64
4.1 Подбор основного технологического оборудования 64
4.2 Геометрия и габариты основного оборудования 67
4.3 Энергетический расчет технологической схемы 68
4.4 План размещения оборудования 69
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 70
5.1 SWOT-анализ 70
5.2 Расчет затрат 70
5.2.1 Затраты на строительство 70
5.2.2 Затраты на приобретение оборудования 71
5.2.3 Затраты на содержание оборудования, здания и амортизационные отчисления 72
5.2.4 Технологические затраты 73
5.2.5 Затраты на приобретение исходных веществ 74
5.3 Заработная плата 75
5.3.1 Расчет численности работников 75
5.3.2 Расчет годового фонда заработной платы 78
5.4 Калькуляция себестоимости передела 81

5.5 Ресурсоэффективность 82
5.6 Выводы по главе 83
6 Социальная ответственность 84
6.1 Описание технологического процесса и оборудования 84
6.2 Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды 85
6.2.1 Шум 85
6.2.2 Микроклимат 86
6.2.3 Вибрация 87
6.2.4 Вредные вещества 89
6.2.5 Производственное освещение 90
6.3 Анализ опасных факторов, проектируемой производственной среды 90
6.3.1 Электробезопасность 90
6.3.2 Пожарная безопасность 91
6.4 Охрана окружающей среды 93
6.5 Чрезвычайные ситуации 93
6.6 Выводы по главе 94
7 Автоматизация процесса 95
7.1 Описание схемы автоматизации 95
7.2 Измеряемые параметры 97
7.3 Основные характеристики датчиков и преобразователей 98
7.4 Выводы по главе 99
Заключение 100
Список использованных источников 101
Приложение А 106
Приложение Б 114

Приложение В 115

Приложение Г 116

Приложение Д 118

Спецификация ДП ФЮРА.066713.000 СП

Графический материал:

ДП ФЮРА.066713.000 СБ

ДП ФЮРА.066713.000 ТС

ДП ФЮРА.066713.000 ТО

Введение

Быстрые темпы развития различных областей новой техники требуют изыскания новых технологических процессов получения покрытий и конструкционных материалов, способных работать при высоких температурах в коррозионно- и эрозионно-активных средах. Среди металлов, в ряде случаев, соответствующих этим требованиям, привилегированное положение занимает вольфрам как самый тугоплавкий металл, хорошо выдерживающий переменные высокотемпературные нагрузки и сохраняющий достаточно высокие механические свойства при высоких температурах. Ценным качеством вольфрама также являются его электроэмиссионные свойства [1].

Фтор и его соединения приобретают все большее практическое значение. Соединения фтора уже давно применялись при электролитическом получении алюминия, электролитическом осаждении и рафинировании металлов, в производстве инсектицидов, при консервировании древесины, в производстве кислотоупорных замазок. В настоящее время фтор и его соединения нашли применение при разделении ряда редких металлов (циркония и гафния, ниобия и тантала, актиноидов), в качестве флюсов при пайке специальных сталей, как рабочие вещества холодильных машин, как катализаторы многих процессов химической технологии, при изготовлении химически устойчивых жидкостей и пластических масс [2].

Следует отметить, что фториды и особенно гидрофториды аммония обладают значительно большей реакционной способностью, чем кремнефтористоводородная кислота и многие другие неорганические фториды. Более того, гидрофторид аммония в этом отношении может превосходить фтористоводородную кислоту и даже безводный фтороводород [3].

До сих пор производство большинства металлов и их соединений основано на высокоэнергоемких пирометаллургических процессах, которые оказывают негативное влияние на биосферу и оставляют после себя

значительное количество отходов, которые не используются в дальнейшем производстве, а отправляются в отвал.

Таким образом, когда требуется создавать рентабельные и малоотходные производства, которые могли бы осуществлять комплексную переработку минерального и техногенного сырья, применение фторидов может быть крайне целесообразным. В результате могут быть получены промежуточные или конечные продукты с применением одного основного реагента. Применение фторидов может быть основой для переработки вольфрамовых концентратов.

Изучение практического применения гидрофторида аммония, как вскрывающего агента, для лежалых хвостов, содержащих вольфрам, имеет огромную значимость для ОАО «Закаменск». Исходя из вышесказанного, целью данной работы является разработка проекта цеха фторирования вольфрамового концентрата с заданной производительностью по минеральному сырью.

В настоящем дипломном проекте приведены технологические расчеты, рассмотрены вопросы организации работы участка разложения вольфрамового концентрата.

1 Обзор литературы

1.1 Вольфрам. Паравольфрамат аммония. Руды и месторождения

Вольфрам – это тугоплавкий металл с температурой плавления около 3400 °С и кипения 5500 °С. Металл устойчив на воздухе при обычной температуре и начинает окисляться в диапазоне температур от 300 до 400 °С. Не взаимодействует с водородом даже при достижении температуры плавления. До 2000 °С не реагирует с азотом. При температуре от 800 до 1000 °С реагирует с углеродом и углеродсодержащими газами с образованием карбида. Вольфрам обладает высокой стойкостью к коррозии: на холоду устойчив к действию HCl, H_2SO_4, HNO_3, HF (всех концентраций) и царской водки. Реагирует только с расплавленными щелочами при доступе воздуха [4].

Нормальный вольфрамат аммония $(NH_4)_2WO_4$ существует только в водных растворах. При выпаривании или нейтрализации раствора (удалении аммиака) выпадают кристаллы ПВА $5(NH_4)_2O{\cdot}12WO_3{\cdot}xH_2O$, где x = 11 (из холодных растворов) или 7 (из нагретых растворов). Растворимость ПВА сильно зависит от температуры.

Вольфрам и его соединения находят широкое применения в электротехнике, производстве сплавов, лакокрасочной и текстильной промышленности.

Содержание вольфрама в земной коре составляет 0,007 %, не встречается в самородном состоянии. Различают два типа месторождений по минералогическому составу: шеелитовые и вольфрамитовые. Все минералы за исключением тунгстенита представляют собой соли вольфрамовой кислоты. $FeWO_4$ – ферберит, $MnWO_4$ – гюбнерит, а изоморфная смесь $(Fe, Mn)WO_4$ – вольфрамит. Шеелит $CaWO_4$ содержит в виде изоморфной примеси $CaMoO_4$, а при облучении УФ-лучами флюоресцирует сине-голубым цветом. В щелочной среде преимущественно образуется минерал шеелит, а в кислой среде вольфрамовая кислота связывается с более слабыми основаниями – Ca и Fe [5].

1.2 Существующие способы переработки вольфрамовых концентратов

В промышленной практике для разложения вольфрамитовых концентратов используют спекание или сплавление с содой и обработку водными растворами едкого натра. Для шеелитовых концентратов применяют спекание или сплавление с содой и песком, обработку водными растворами соды в автоклавах, разложение кислотами [4]. Конечными соединениями процессов переработки сырья обычно являются вольфрамовая кислота или паравольфрамат аммония $5(NH_4)_2O \cdot 12WO_3 \cdot 5H_2O$, при термическом разложении которых получают трехокись вольфрама.

Выбор схемы переработки зависит от состава и типа концентратов, масштабов производства, требований к чистоте и физическим характеристикам трехокиси вольфрама и ряда конкретных условий, определяющих стоимость переработки сырья. Известные способы разложения можно подразделить на три группы:

1. Конечный результат разложения – растворы вольфрамата натрия Na_2WO_4. К этой группе относятся процессы разложения с использованием соды, щелочей. Из растворов (после очистки от примесей) выделяют малорастворимые соединения вольфрама (H_2WO_4, $CaWO_4$) или извлекают вольфрам методами экстракции или ионного обмена.

2. Конечный результат разложения – осадки технической вольфрамовой кислоты. К этой группе относятся способы разложения концентратов минеральными кислотами (HCl, HNO_3). Полученную техническую вольфрамовую кислоту растворяют в аммиачной воде (реже в растворах соды и щелочи) 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.

Гидролитическим разложением конденсата галогенидов и оксигалогенидов получают вольфрамовую кислоту [6].

Перспективные способы, не нашедшие применения в промышленности:

1. Сплавление вольфрамитовых концентратов с Na_2SO_4;

2. Спекание или сплавление вольфрамита с CaO или $CaCO_3$ в присутствии $CaCl_2$ или NaCl [5].

1.2.1 Спекание или сплавление вольфрамитовых концентратов с содой

Процесс вскрытия ведут при температуре от 800 до 900 °С в присутствии кислорода воздуха в отражательных или трубчатых вращающихся печах, футерованных шамотным кирпичом, избыток соды составляет от 10 до 15 %. Уравнения основных, протекающих реакций:

$$2FeWO_4 + 2Na_2CO_3 + 1/2O_2 = 2Na_2WO_4 + Fe_2O_3 + 2CO_2, \quad (1)$$

$$3MnWO_4 + 3Na_2CO_3 + 1/2O_2 = 3Na_2WO_4 + Mn_3O_4 + 3CO_2 \text{ [4]}. \quad (2)$$

Полученный спек направляется на стадию дробления, а затем на выщелачивание в цилиндрические аппараты с конусным днищем или в выщелачиватель барабанного типа [6].

1.2.2 Разложение вольфрамита растворами едкого натра

Преимуществ этого способа заключается в сокращении числа операций технологической схемы, а также устраняются затраты, связанными с проведением процесса при высоких температурах.

Процесс ведется при атмосферном давлении и температуре 100 °С с избытком порядка 50 %, при этом достигается достаточно полное разложение концентрата. При разложении протекают следующие реакции:

$$FeWO_4 + 2NaOH = Na_2WO_4 + Fe(OH)_2, \quad (3)$$

$$MnWO_4 + 2NaOH = Na_2WO_4 + Mn(OH)_2. \quad (4)$$

Замечено, что гюбнерит разлагается труднее, чем ферберит. Разложение проводят в стальных герметичных реакторах с мешалками. Также на полноту разложения оказывает непосредственное влияние степень измельчения концентрата [5].

1.2.3 Сплавление шеелита с содой и кварцевым песком

Процесс сплавления протекает при температуре от 850 до 900 °С в отражательных или трубчатых вращающихся печах:

$$CaWO_4 + Na_2CO_3 + SiO_2 = Na_2WO_4 + CaSiO_4 + CO_2. \quad (5)$$

При такой температуре равновесие реакции сдвинуто в сторону образования Na_2WO_4, но при дальнейшем выщелачивании плава равновесие реакции сдвигается в сторону образования исходных продуктов, что в свою очередь оказывает негативное влияние на извлечение вольфрама даже при значительных избытках соды в шихте.

$$CaWO_4 + Na_2CO_{3(р\text{-}р)} = Na_2WO_{4(р\text{-}р)} + CaCO_3. \quad (6)$$

Таким образом, для упреждения обратимости процесса на стадии выщелачивания, в шихту добавляют диоксид кремния для связывания кальция, а содержание соды доводят до трехкратного избытка по сравнению со стехиометрическим количеством [5].

1.2.4 Автоклавное разложение шеелита раствором соды

Процесс разложения ведут в диапазоне температур от 200 до 225 °С и давлении 25 атм в автоклавах горизонтального или вертикального типа с обогревом острым паром. Основная реакция:

$$CaWO_4 + Na_2CO_{3(р\text{-}р)} = Na_2WO_{4(р\text{-}р)} + CaCO_3. \quad (7)$$

В зависимости от содержания вольфрама в концентрате, избыток соды варьируется от 3 до 4,5 кратного избытка по сравнению со стехиометрическим. В свою очередь это приводит к большим расходам кислоты на стадии нейтрализации растворов [5].

Полученные после разложения растворы вольфрамата натрия подвергают очистке от примесей (Si, P, F, Mo, As) и отправляют на стадию осаждения вольфрамата кальция. Отмытый осадок поступает на стадию разложения соляной кислотой, полученная вольфрамовая кислота содержит от 0,2 до 0,3 % примесей и может быть использована для получения триоксида вольфрама путем прокаливания в диапазоне температур от 500 до 600 °С или же направлена на дальнейшую аммиачную очистку. Из аммиачных растворов выделяют кристаллический ПВА путем выпаривания и последующего охлаждения. Из полученного ПВА путем термического разложения получают триоксид вольфрама [5].

1.2.5 Разложение шеелита соляной кислотой

Основная протекающая реакция:

$$CaWO_4 + 2HCl = H_2WO_4 + CaCl_2. \quad (8)$$

Разложение ведут в железных реакторах в диапазоне температур от 100 °С до 110 °С, футерованных кислотоупорной плиткой и снабженных мешалками. Вольфрам остается в осадке в виде вольфрамовой кислоты. Избыток кислоты составляет 200-300 % от стехиометрически необходимого [7].

1.3 Гидрофторид аммония

1.3.1 Физические и химические свойства

NH_4HF_2 – бесцветное, не имеющее запаха кристаллическое вещество. Оно считается гигроскопичным, хотя не образует кристаллогидратов. Температура плавления NH_4HF_2 составляет 126,45 °С, энтальпия плавления 19,096 кДж/моль. Температура кипения 239,5 °С Энтальпия образования кристаллического NH_4HF_2 при 298 К составляет -810,26 кДж/моль [3].

При температуре 160,3 °С NH_4HF_2 начинает разлагаться с образованием аммиака и фтористого водорода, при температуре выше 300 °С происходит полное разложение [8].

В химических реакциях NH_4HF_2 напоминает NH_4F и проявляет либо восстановительные свойства аммония, либо свойства фторид-иона и фтористого водорода. Наиболее специфичными для гидрофторида являются реакции фторирования [3].

Реакции присоединения можно разделить на две группы: присоединение NH_4F и присоединение HF. В первом случае происходит образование фторметаллатов аммония:

$$mNH_4HF_{2(к)} + MF_{n(к)} = (NH_4)_mMF_{n+m(к)} + mHF_{(г)}, \quad (9)$$

а во втором гидрофторидов щелочных металлов:

$$NH_4HF_2 + MF = MHF_2 + NH_3. \quad (10)$$

Важной особенностью гидрофторида аммония является то, что процесс присоединения может протекать в расплаве.

Рассматривая реакции фторирования, можно заметить, что оксиды переходных металлов со степенью окисления ниже 5 образуют полностью фторированные соединения, а оксиды металлов со степенью окисления 6 образуют оксофторметаллаты.

Температура кипения NH_4HF_2 составляет 239,5 °С, поэтому реакции фторирования «газообразным» гидрофторидом проводят в диапазоне температур от 250 до 300 °С.

В узком диапазоне температур от 350 до 400 °С WO_3 в токе «паров» гидрофторида может быть превращен в летучие продукты фторирования. Далее происходит конденсация оксифторида (при этом он превращается в оксофторвольфрамат аммония), обработка парами воды, что в конечном итоге позволяет из шеелита получать WO_3 и CaF_2.

Взаимодействие шеелита с раствором NH_4HF_2:

$$CaWO_{4(к)} + 2NH_4HF_{2(р\text{-}р)} = NH_4WO_3F_{(к)} + CaF_2 + NH_4F_{(р\text{-}р)} + H_2O. \quad (11)$$

Если NH_4HF_2 находится в избытке, то фторирование продолжается и образуется растворимое соединение вольфрама:

$$NH_4WO_3F_{(к)} + 2NH_4HF_{2(р\text{-}р)} = (NH_4)_2WO_2F_{4(р\text{-}р)} + NH_4F + H_2O_{(ж)}. \quad (12)$$

При близком к стехиометрическому расходе гидрофторида может быть достигнуто полное извлечение W в раствор [9].

Все переходные элементы, лантаноиды, актиноиды и многие непереходные элементы образуют фторметаллаты или оксофторметаллаты.

Для титана (IV) известны соединения $(NH_4)_2TiF_6 \cdot NH_4F$, $(NH_4)_2TiF_6$, NH_4TiF_5, $(NH_4)_2TiOF_4$, для титана (III) – NH_4TiF_4.

Соединения вольфрама охарактеризованы NH_4WF_7, $(NH_4)_3WO_2F_5$, $(NH_4)_2WO_2F_4$, $(NH_4)_3W_2O_4F$, $NH_4WO_2F_3$, $(NH_4)_3WO_3F_3$, $(NH_4)_2WO_3F_2$, $(NH_4)_9W_5O_{15}F_9$, NH_4WO_3F, оксофторвольфрамат (V) $NH_4W_2O_2F_7$, соединения вольфрама (IV) $(NH_4)_5W_3O_4F_9 \cdot 3H_2O$.

Марганец (III) образует $(NH_4)_3MnF_6$, $(NH_4)_2MF_5 \cdot H_2O$, $(NH_4)_2MnF_5$, NH_4MnF_4, а марганец (II) – NH_4MnF_3.

Железо (III) образует $(NH_4)_3FeF_6$, $(NH_4)_2FeF_5$, NH_4FeF_4, железо (II) – NH_4FeF_3, железо в двух состояниях окисления – $NH_4Fe_2F_6$.

В безводной форме существуют только два фтораммониевых соединения кремния – $(NH_4)_2SiF_6$ и $(NH_4)_2SiF_6 \cdot NH_4F$. Двойная соль разлагается при температурах выше 190 °С с образованием в нелетучем остатке $(NH_4)_2SiF_6$ [3].

1.3.2 Получение гидрофторида аммония

При производстве фторида-бифторида аммония, как правило, промежуточным продуктом является раствор фторида аммония. Раствор фторида аммония подают в выпарной аппарат, где процесс упаривания протекает при температуре 85 °С и атмосферном давлении. Затем в другом выпарном аппарате, работающем под вакуумом и температуре 125 °С, раствор концентрируется до 56 % содержания по фтору. Параллельно с удалением

воды, в аппаратах происходит термическая диссоциация фторида аммония и образование бифторида аммония. Полученный плав NH_4F-NH_4HF_2 кристаллизуется в виде чешуек при температуре 50 °С.

В случае, если требуется высокая чистота продукта (для препаративных целей или специальных производств), бифторид получают непосредственным взаимодействием аммиака и газообразного фтороводорода [8].

1.4 Разложение вольфрамового концентрата гидрофторидом аммония

Способы переработки концентратов, рассмотренные выше, характеризуются негативным воздействием на окружающую среду, т.к. в них применяются концентрированные минеральные кислоты, сода, гидроксид натрия, и требуют сложного и дорогого аппаратурного оформления процесса.

Для разложения вольфрамового концентрата может быть использован гидрофторид аммония, который извлекает вольфрам из шеелитовых $CaWO_4$ и вольфрамитовых $(Fe, Mn)WO_4$ концентратов. Преимущество данного метода заключается в том, что гидрофторид аммония является безопасным и не требует специальных средств для его транспортировки, а также существует возможность регенерации и повторного использования фторирующего агента.

Процесс разложения может быть осуществлен во вращающейся барабанной печи при температуре 190 ºС и массовом отношении вольфрамового концентрата к гидрофториду аммония 1:(1,5-2,3), и длительностью процесса около 1,5 часов. Соотношение бифторида аммония к вольфрамовому концентрату меньше, чем 1,5:1 приводит к неполному фторированию сырья.

По достижению температуры около 130 °С гидрофторид аммония переходит в расплав, высвобождая фторирующий агент – HF. В процессе образуется большой объем газов (фтороводород, аммиак) [10].

При вскрытии вольфрамового концентрата гидрофторидом протекают следующие реакции:

$$MnWO_4 + 5NH_4HF_2 = (NH_4)_3WO_2F_5 + NH_4MnF_3 + 2H_2O + 2HF + NH_3, \quad (13)$$

$$FeWO_4 + 8NH_4HF_2 = (NH_4)_3FeF_5 + (NH4)_3WO_2F_5 + 2H_2O + 6HF + 2NH_3, \quad (14)$$

$$CaWO_4 + 4NH_4HF_2 = (NH_4)_3WO_2F_5 + CaF_2 + NH_3 + HF + 2H_2O, \quad (15)$$

$$CaF_2 + NH_4HF_2 = \text{не протекает}, \quad (16)$$

$$SiO_2 + 4NH_4HF_2 = (NH_4)_2SiF_6 + 2NH_3 + 2HF + 2H_2O, \quad (17)$$

$$TiO_2 + 4NH_4HF_2 = (NH_4)_2TiF_6 + 2NH_3 + 2HF + 2H_2O, \quad (18)$$

$$Fe_2O_3 + 6NH_4HF_2 = 2(NH_4)_3FeF_6 + 3H_2O. \quad (19)$$

Фторида кальция не образует фтораммонийных соединений и остается в неизменном виде в процессе вскрытия концентрата [10].

1.5 Обзор существующего аппаратурного оформления процесса

1.5.1 Барабанные вращающиеся печи

В промышленности процессы фторирования редких и рассеянных элементов осуществляются в барабанных вращающихся печах, шнековых печах и пламенных реакторах (реакторах с кипящим слоем). В силу особенностей проведения реакций (исходные вещества являются твердыми реагентами, а сам процесс протекает в расплаве гидрофторида аммония) пламенные реактора не могут быть применены для реализации поставленной задачи.

Шнековые реактора представляют собой неподвижные трубы или лотки, внутри которых вращается винтовая мешалка (шнек), являющаяся рабочим органом. Ось мешалки крепят с помощью сальниковых уплотнений на торцах корпуса. Во избежание провисания и заклинивания шнека его крепят при помощи промежуточных подшипников. Отверстия для подачи, выгрузки материала и отвода газов могут быть выполнены в любой части реактора. Положительным аспектом применения шнековых печей является тщательная герметизация процесса по сравнению с вращающимися печами. Подводить

тепло к печи можно с помощью жидкого теплоносителя, однако, чаще используют внешние электронагревательные элементы. В зависимости от характеристик перерабатываемого материала могут быть использованы сплошные, ленточные, лопастные или фасонные шнеки.

К основным недостаткам шнековых реакторов относятся: повышенный расход энергии на единицу продукции; сильное истирание шнека и корпуса материалом и, как следствие, загрязнение продукта; громоздкость аппаратуры; сложность в обслуживании (высокая трудоемкость).

Вращающиеся трубчатые печи перешли в технологию и производство цветных и редких металлов из цементной промышленности, однако агрегаты этого типа заметно отличаются от печей силикатных производств. Различны не только размеры (производительность современных обжиговых цементных печей огромна, а длина их может достигать нескольких десятков и даже сотен метров), но и способ подвода и отвода тепла.

При переработке концентратов редких элементов материал нагревается и охлаждается только через стенку печи с помощью контактного теплообмена, а в силикатных производствах и цветной металлургии – преимущественно за счет тепла, сжигаемого непосредственно в барабане печи жидкого или газообразного топлива. В связи с осуществлением теплопередачи через стенку печь не футеруют изнутри огнеупорным материалом; источником энергии служат обычно электрические печи сопротивления, располагаемые во внешней футеровке агрегата.

При таком способе подвода тепла, а также из-за трудности контроля температуры слоя твердого материала в печи возможно появление значительных градиентов температуры в слое. Особенно опасны перегревы материала, которые при проведении некоторых экзотермических реакций достигают значений от 200 до 300 °С. При этом материал может оплавляться, слипаться в крупные агрегаты и образовывать на стенках трубчатой реторты гарнисаж, что еще более ухудшает тепло- и массопередачу и ведет к резкому нарушению технологического режима и понижению качества продукта.

Основные достоинства вращающихся - простота, надежность, высокая производительность и возможность осуществления непрерывного полностью автоматизированного процесса.

В отличие от шнековых и многоподовых скребковых печей (типа печи Герресгофа) трубчатые печи не имеют перемешивающих устройств, но в отдельных случаях могут применяться шары для измельчения и перемешивания материала.

Основные части вращающейся трубчатой печи – металлическая труба (реторта), поддерживаемая роликами опорных станций, и головки печи, называемые также камерами (загрузочная, куда поступает материал из питающего бункера, и разгрузочная, находящаяся в более низко расположенной части печи). Камеры служат также для подачи и отвода газов. Для обеспечения горизонтального перемещения материала ось трубы немного наклонена к горизонтали. Внутренняя поверхность реторты может быть гладкой или имеет специальные насадки, гребки и цепи, которые изменяют характер движения материала и тем самым улучшают условия фазового контакта, а иногда и теплопередачи.

Материал на гребке удерживается до тех пор, пока плоскость последнего не образует с горизонталью угол, равный углу α естественного откоса материала. Для более равномерного пересыпания форма лопастей может быть усложнена. Выбор формы насадки зависит от величины кусков или частиц материала и его физических свойств. Форма насадки определяет высоту, с которой происходит падение или скатывание материала. Для влажных кусковых материалов, не склонных к раскалыванию, высота падения может быть принята максимальной, близкой к диаметру реторты. При переработке хрупких кусковых материалов для уменьшения высоты падения применяют секторные насадки, а для мелкозернистых, склонных к образованию пыли материалов, – перевалочные насадки. Условия отстаивания пыли в таких насадках из-за хорошо развитой поверхности улучшаются, однако их применяют

лишь при конвективном подводе тепла, поэтому возможности для использования их в урановой промышленности ограничены.

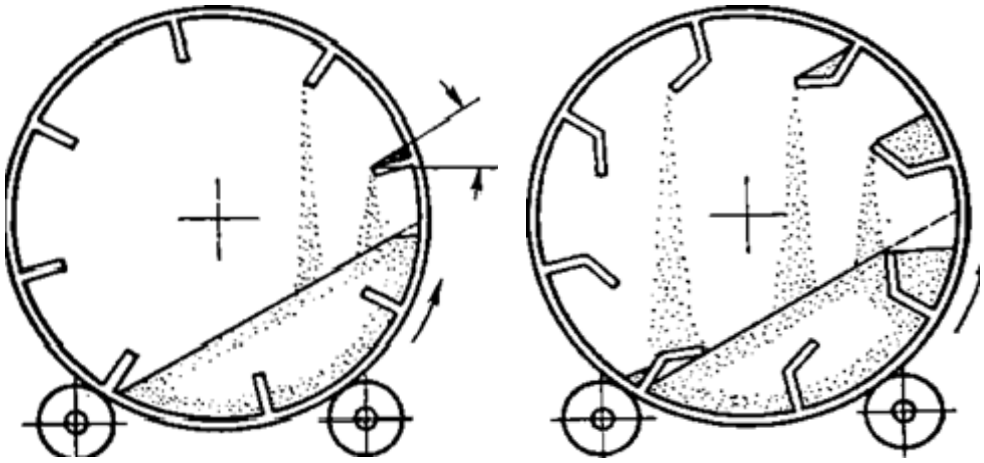

Рисунок 1 – Схемы перемешивания материала в реторте с гребками

Нередко в полую реторту для улучшения перемешивания материала помещают подвижные насадки (слева – простые гребки; справа – ковшевидные гребки). Длина этих незакрепленных насадок равна длине трубы или несколько меньше ее; насадки могут быть Г-, Т-, Н-образной формы в сечении или могут иметь более сложную конфигурацию. Размеры насадки выбирают такими, чтобы примерно половина ее выступала из слоя твердого материала в печи; при вращении реторты насадки свободно вращаются в ней, захватывая и пересыпая часть материала [11].

Коэффициент заполнения барабана находится в пределах от 0,1 до 0,2 и очень редко превосходит значение 0,25.

Массивные стальные кольца, охватывающие корпус печи, опирающиеся на ее ролики и при вращении печи, катящиеся по ним, называются бандажами. Бандажи служат для передачи давления от всех вращающихся частей аппарата на опорные ролики. Бандажи представляют собой кольца прямоугольного, квадратного или коробчатого сечения (изготавливают из углеродистых сталей). Бандажи надеваются на 20-24 чугунных башмака, повернутых головками в разные стороны для предупреждения аксиального смещения бандажа. Под

башмаки подкладываются усиливающая и две-три регулирующие прокладки. Башмаки крепятся к барабану болтами с простыми или потайными головками.

Ролики опорных станций принимают на себя нагрузку от всех вращающихся частей. Каждый из пары роликов, образующей опору для бандажа, устанавливается на одинаковом расстоянии от вертикали, проходящей через центр сечения печи. Опорный ролик состоит из четырех частей: стального цилиндрической формы тела ролика, кованой оси и двух упорных колец, свободно насаженных на ось. Опорные ролики изготавливаются на 40-100 мм шире опирающихся на них бандажей. Для разгрузки опорных роликов их иногда делают двойными. Ролики изготавливаются из материала менее прочного, чем бандаж (Ст.5, Ст.6) Для предотвращения аксиального перемещения барабана применяются упорные или контрольные ролики, которые бывают сферические или конические [12].

Один из важных узлов вращающейся печи – уплотнение между ее камерами и подвижной ретортой [13]. Разработка надежных в эксплуатации уплотнительных устройств связана с большими трудностями, т.к. при работе корпус печи смещается вверх или вниз, удлиняется или укорачивается; вращение концов корпуса часто сопровождается «биением» [14]. Уплотнения выполняют в виде сальников с асбестовыми прокладками. Известны лабиринтные, радиальные и торцовые уплотнения. Иногда в зазор между подвижной и неподвижной частью уплотнения подают под небольшим избыточным давлением инертный газ. Добиться полной герметизации, однако, очень трудно, поэтому при наличии в печи взрывоопасных, ядовитых и коррозионноактивных газов над камерами устанавливают местные отсосы. Трудность создания достаточно надежных уплотнений между вращающимися и неподвижными частями печи возрастает при увеличении габаритных размеров реактора, поэтому необходимо учитывать это обстоятельство при выборе числа агрегатов для обеспечения заданной производительности цехов, отделений.

Лабиринтовое уплотнение состоит из двух рядов концентрически расположенных колец, из которых один ряд прикреплен неподвижно к

стальной шайбе дымовой или горячей камеры, а второй – к шайбе корпуса. Кольца, сваренные из стального листа (толщиной от 3 до 5 мм), отстоят на одинаковом расстоянии один от другого. Проникновение наружного воздуха в камеру препятствует длинный извилистый путь его движения через щель между кольцами. Чем уже эта щель, тем больше ее аэродинамическое сопротивление, тем выше эффективность действия уплотнения. Отличается простой конструкцией, небольшим весом и надежностью в работе при наличии пыли.

При работе вращающихся печей из рабочего пространства вместе с газовым потоком выносится значительное количество сырьевой смеси в виде пыли. Унос составляет в среднем от 1 до 10 % сырьевой смеси, поданной в печь, считая по сухому сырью.

Количество пыли, выносимой из печи зависит от скорости газового потока, степени наполнения печи сырьевым материалом. Вынос пыли несколько уменьшается с увеличением длины печи.

При выборе типа пылеулавливающих устройств для печей учитывают гранулометрический состав пыли, температуру отходящих газов, их влагосодержание, степень запыленности газов и их количество.

В качестве пылеуловителей для вращающихся печей применяют электрофильтры, групповые циклоны и редко центробежные скрубберы. В последние годы стали применять обыкновенные циклоны. Осаждение пыли в камере, при прохождении через нее запыленных газов, происходит не только под действием силы тяжести частиц, но и в следствие ударов частиц пыли о стенки циклонов [15].

Исходя из поставленной задачи и рассмотренных способов реализации процесса вскрытия, было решено использовать вращающуюся барабанную печь, наполненную мелющими шарами и двумя колосниками. Функция шаров заключается в удалении внешнего диффузионного слоя, что в свою очередь будет способствовать обновлению поверхности реагирования, а в результате облегчать подвод регентов и отвод продуктов.

1.5.2 Газоочистное оборудование

С физической точки зрения процессы пылеулавливания могут быть разделены на пять групп: процессы электрической природы – электрофильтры; захват аэрозолей каплями – мокрые пылеуловители; захват пористым материалом – фильтры; инерционные и центробежные процессы – циклоны, жалюзийные аппараты; гравитационное осаждение – пылевые камеры [16].

Сухая инерционная очистка газов от пылевых частиц осуществляется в пылеосадительных (или пылеотстойных) камерах, жалюзийных пылеуловителях, циклонах. Исполнение аппаратов может быть, как одиночным, так и групповым. В пылеосадительных камерах осаждаются сравнительно крупные частицы размером от 40 до 50 мкм, жалюзийных – до 20 мкм. К недостаткам данных аппаратов можно отнести значительные габариты [17].

Последнее время широкое распространение получили аппараты циклонного типа. К достоинствам можно отнести простую конструкцию, компактность, низкая стоимость и затраты на эксплуатацию. При улавливании сильно слипающейся пыли на циклон устанавливается вибратор, который предотвращает забивание аппарата пылью [17]. Принцип действия циклона основан на использовании центробежных сил, действующих на частицу пыли при вращении газового потока в цилиндрическом корпусе аппарата. Частица пыли движется в радиальном направлении от центра аппарата к его периферии, т.е. к внутренней стенке аппарата. Достигнув стенки, частица выводится из аппарата под действием силы тяжести [16].

Аппараты мокрого пылеулавливания обладают сравнительно небольшой стоимостью изготовления, высокой эффективностью, возможностью использования при высокой температуре и повышенной влажности очищаемых газов, а также в случаях опасности самовозгорания или взрыва газов, или улавливаемой пыли.

К преимуществам мокрых аппаратов относится возможность одновременного осуществления очистки газов от взвешенных твердых частиц

(пылеулавливание), извлечение газообразных примесей (абсорбция) и охлаждение очищаемых газов (контактный теплообмен).

В случае одновременной очистки газов от пыли и химических газообразных веществ выбор орошающей жидкости (абсорбента) определяется процессом абсорбции. В целях уменьшения объемного расхода орошающей жидкости все большее развитие получили частичная ее рециркуляция и замкнутая система орошения [17].

Для улавливания фторсодержащих газов на многих предприятиях широкое распространение получили распыливающие абсорберы. На основании термодинамического анализа системы «аммиак-фтороводород» определено, что продуктами улавливания HF из горячих газов аммиаком являются фторид и бифторид аммония. Степень очистки от HF достигает 95 %. Рабочая часть распыливающих абсорберов имеет форму расходомерной трубы Вентури, поэтому такие аппараты называют абсорберами (скрубберами) Вентури. Они состоят из сужающейся части (конфузора), узкой части (горловины) и распыливающей части (диффузора). Абсорберы Вентури довольно эффективны, т.к. обеспечивают тонкое распыливание жидкости и хороший контакт газообразной и жидкой фаз, но требуют больших энергетических затрат, поскольку перепад давления при их использовании значителен [8].

2.2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является цех переработки вольфрамового концентрата, основным аппаратом которого является барабанная вращающаяся печь с заданной производительностью: 800 тонн в год по минеральному сырью.

Расчет изменения энергии Гиббса химических реакций и нахождение констант равновесия осуществляется согласно методу Темкина-Шварцмана (используются стандартные мольные энтропии и энтальпии при 25 ºС, а также мольные теплоемкости веществ) [19]. Расчет материальных потоков осуществляется на основе закона сохранения масс [20].

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Прежде чем начинать реализацию какого-либо проекта, необходимо провести его экономическую оценку, которая позволит выявить основную группу затрат, обозначить положительные и отрицательные стороны проекта. Также немаловажным является оценка ресурсоэффективности проекта, что в свою очередь на стадии поиска потребителя, может стать ключевым фактором

5.1 SWOT-анализ

Представленная в таблице В.1 (приложение В) матрица SWOT-анализа проекта цеха переработки вольфрамового концентрата, позволяет выявить сильные и слабые стороны, определить возможности и угрозы [21].

Приведенная таблица позволяет комплексно изучить проект цеха переработки вольфрамового концентрата с использованием гидрофторида аммония, т.е. составить общее представление о сильных или слабых сторонах данного проекта и, таким образом, определить наиболее перспективные тенденции реализации данной идеи.

5.2 Расчет затрат

5.2.1 Затраты на строительство

Площадь цеха составляет 432 м^2, периметр - 84 м, высота - 6 м. Цена земли на расстоянии от 5 до 10 км от г. Томска - 400 руб./м^2. Стоимость заливки плитного фундамента и подготовки почвы составляют 5000 руб./м^2.

1. Расходы на приобретение земельного участка:

$$Р_з = 432 \cdot 400 = 172800 \text{ руб.}$$

2. Расходы на фундамент и подготовку почвы:

$$Р_{ф,п} = 432 \cdot 5000 = 2160000 \text{ руб.}$$

Стоимость конструкции здания из ЛМК (легкие металлические конструкции) составляет 1947000 руб., стоимость стен из огнестойких сэндвич-панелей толщиной 200 мм – 912000 руб., стоимость кровли – 541000 руб.

3. Расходы на строительство цеха:

$$Р_ц = 172800+2160000+3400000 = 5732800 \text{ руб.}$$

4. Затраты на санитарно-технические работы приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Затраты на санитарно-технические работы

Наименование	% от затрат на строительство здания	Цена, тыс. руб.
Отопление	5	286,64
Вентиляция	5	286,64
Водопровод	3	171,98
Канализация	3	171,98
Освещение	2[22]	114,66
Итого	18	1031,90

5. Полная стоимость строительства цеха:

$$Р_п = 5732800+1031904 = 6764704 \text{ руб.}$$

5.2.2 Затраты на приобретение оборудования

1. Величины затрат на приобретение оборудования представлены в таблице 14.

Таблица 14 Затраты на приобретение оборудования

Наименование	Кол-во	Марка	Цена за шт., тыс. руб.	Цена, тыс. руб.
Барабанная вращающаяся печь	1	-	9000,00	9000,00
Пылеуловитель	1	-	492,58	492,58
Циклон	3	ЦН-15-500 УП	46,20	138,60
Емкость для растворов	2	VERT 4500	34,60	69,21
	1	VERT 12000	74,45	74,45
Скруббер Вентури	1	MDSJ VY1000	700,00	700,00
Чиллер	1	Lessar LUC-FHDA65CAW	1038,87	1038,87
Эксгаустер	1	CMPT/4-25	70,80	70,80
Насос	2	Argal TMP 04.04	41,00	82,00
Насос	2	ESPA Aspri45 3 N	21,02	42,04
Теплообменник	1	Elecro SST 75	41,98	41,98
Итого	12	-	-	11750,54

2. Затраты на доставку и установку оборудования представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Затраты на доставку и установку оборудования

Наименование	% от стоимости оборудования	Стоимость, тыс. руб.
Транспортные расходы	5	587,53
Устройство фундаментов	10 (только для печи)	900,00
Кабельная разводка	5	587,53
Монтаж оборудования	10	1175,05
КИПиА	22[22]	2585,12
Итого	52	5835,22

3. Итоговые затраты на оборудование:

$$Р_{об} = 11750535 + 5835224,8 = 17585759,8 \text{ руб.}$$

Полные капитальные затраты на строительство и приобретение оборудования представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Полные капитальные затраты

Наименование	Затраты, тыс. руб.
Строительство цеха	6764,70
Оборудование	17585,76
Итого	24350,46

5.2.3 Затраты на содержание оборудования, здания и амортизационные отчисления

Расчет был произведен согласно формуле [21]:

$$А = Р \cdot а/100, \quad (105)$$

где А – расходы на содержание или амортизацию, руб./год;

Р – первоначальная стоимость основных средств, руб.;

а – норма амортизации, %.

1. Затраты на ремонт здания составляют 2 % от стоимости строительства цеха:

$$А_{рем\ зд} = 6764704 \cdot 0,02 = 135294,1 \text{ руб./год.}$$

2. Затраты на содержание здания (отопление, освещение, вентиляция) составляют 5 % от затрат на строительство цеха:

$$А_{сод\ зд} = 6764704 \cdot 0,05 = 338235,2 \text{ руб./год.}$$

3. Амортизационные отчисления составляют 8 % для здания:

$$А_{амор\ зд} = 6764704 \cdot 0,08 = 541176,3 \text{ руб./год.}$$

Суммарные затраты на эксплуатацию и содержание здание составляют 1014705,6 руб/год.

4. Затраты на ремонт оборудования составляют 15 % от стоимости:

$$А_{рем\ об} = 11750535 \cdot 0,15 = 1762580,3 \text{ руб./год.}$$

5. Содержание оборудования обходится в 3 % от стоимости:

$$А_{сод\ об} = 11750535 \cdot 0,03 = 352516,1 \text{ руб./год.}$$

6. Амортизационные отчисления на оборудование принимаем 15 %:

$$А_{амор\ об} = 11750535 \cdot 0,15 = 1762580,3 \text{ руб./год.}$$

Общие затраты на эксплуатацию и содержание оборудования составляют 3877676,7 руб./год.

Таким образом, затраты на содержание и амортизационные отчисления на здание и оборудования составляют 4892382,3 руб./год.

5.2.4 Технологические затраты

1. Затраты энергопотребления основного оборудования [22]:

$$З_{об} = П \cdot N \cdot t, \quad (106)$$

где $З_{об}$ – затраты на электрообеспечение основного оборудования, руб./год;

П – тариф 1кВт/ч (3,25), руб;

t – время работы основного оборудования (7200), ч.

$$З_{об} = 3,25 \cdot 243,55 \cdot 7200 = 5699070 \text{ руб./год.}$$

2. Затраты на освещение:

$$З_{осв} = (15 \cdot S \cdot t \cdot Т \cdot П)/1000, \quad (107)$$

где $З_{осв}$ – затраты на освещение, руб./год;

S – площадь цеха, $м^2$;

t - время искусственного освещения в стуки (24), ч;

Т – количество рабочих дней, шт.

$$З_{осв} = (15 \cdot 432 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 3,25)/1000 = 184485,6 \text{ руб./год.}$$

3. Затраты на вентиляцию:

$$З_{вен} = Р \cdot Т \cdot П, \quad (108)$$

где $З_{вен}$ – затраты на вентиляцию, руб./год.

Принимаем, что в цехе установлено 5 вентиляторов мощностью 1,5 кВт/час каждый.

$$З_{вен} = 5 \cdot 1,5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3,25 = 213525 \text{ руб./год.}$$

4. Затраты на отопление:

$$З_{отоп} = f \cdot Т_{отоп} \cdot V \cdot П/1000,$$

где $З_{отоп}$ –затраты на отопление, руб./год;

f – количество тепла на 1 $м^3$ цеха, кВт;

$Т_{отоп}$ – продолжительность отопительного сезона, ч;

V – объем, отапливаемого помещения, $м^3$.

$$З_{отоп} = 10 \cdot 4320 \cdot 2592 \cdot 3,25/1000 = 363916,8 \text{ руб/год;}$$

5. Затраты на воду:

$$З_{вод} = П_в \cdot Т \cdot Q, \quad (109)$$

где $П_в$ - стоимость 1 $м^3$ воды (24,66), руб.;

Q – расход, $м^3$/ч.

$$З_{вод} = 24,66 \cdot 7200 \cdot 0,063 = 11175,8 \text{ руб./год.}$$

5.2.5 Затраты на приобретение исходных веществ

Затраты на вольфрамовый концентрат, гидрофторид аммония и 25 % раствор аммиака (является исходным раствором, которой разбавляют до заданной концентрации по аммиаку) для участка переработки концентрата представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Затраты на исходные компоненты

Наименование	Норма расхода в час, кг/ч	Цена за тонну, т	Тонн в год, т	Затраты в год, тыс. руб./год
Вольфрамовый концентрат	111,1	540000	800	432000,00
Гидрофторид аммония	255,6	120000	1840	220800,00
Раствор аммиака 25 %	3,3	70000	23,76	1663,20
Итого	-	-	-	654463,20

В данном разделе рассчитаны затраты на приобретение исходных веществ процесса переработки.

5.3 Заработная плата

5.3.1 Расчет численности работников

Проектируемы участок работает в непрерывном режиме. Остановки процесса будут происходят только для проведения ППР и осмотров оборудования [21].

В цехе работают 3 смены по 8 часов каждая, а количество бригад – 4. В таблице 18 приведен график сменности бригад.

Таблица 18 – График смен

Дни / Смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0-8	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
8-16	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B
16-24	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C
Вых.	D	D	B	B	A	A	C	C	B	B	D	D	C	C	A	A

Длительность сменооборота:

$$T_{см\ об} = n \cdot N, \quad (110)$$

где $T_{см\ об}$ – длительность сменооборота, дни;

n – число бригад, шт.;

N – число дней, когда бригада ходит в смену, шт.

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

Таким образом, длительность сменооборота составляет 16 дней, выходных в год – 96 дней, а ночных смен – 84. Баланс эффективного времени одного среднесписочного рабочего представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного рабочего

№	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	2920
2	Не рабочие дни, выходные	96	768
3	Номинальный фонд рабочего времени	269	2152
4	Планируемые невыходы: -очередной и доп. отпуска -невыходы по болезни -выполнение общественных обязанностей -отпуск в связи с учебой	 31 10 1 3	 248 80 8 24
5	Эффективный фонд рабочего времени	224	1792

На основе данных, представленных в таблице 19, рассчитана списочная и явочная численность основного и воспитательного персонала цеха.

1. Численность основного персонала

Работа данной категории персонала связана с наблюдением и слежением за тем, чтобы соблюдались установленные параметры процесса фторирования.

Явочная численность основных работников в сутки:

$$Н_{яв} = F \cdot C / Н_{абс}, \quad (111)$$

где $Н_{яв}$ - явочная численность основных работников в сутки, чел./сут.;

F – количество аппаратов;

C – количество смен;

$Н_{абс}$ – количество аппаратов, которые может обслужить один работник, шт.

$$Н_{яв} = 6 \cdot 4 / 2_{абс} = 12 \text{ чел./сут.}$$

Списочная численность основных работников:

$$Н_{сп} = Н_{яв} \cdot Т_{эф.обор} / Т_{эф.раб}, \quad (112)$$

где $Н_{сп}$ - списочная численность основных работников, чел.;

$Т_{эф.обор}$ – запланированное число дней работы оборудования в год, дни;

$T_{эф.раб}$ - запланированное время работы одного рабочего в год, дни.

$$Н_{сп} = 12 \cdot 300/224 = 16 \text{ чел.}$$

Таким образом, количество основных работников в штате – 16 человек. Характеристики рабочего персонала представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Состав основного персонала

Наименование	Разряд	Число в смену	Число смен в сутки	Няв в сутки	Нсп в сутки	Кол-во рабочих дней в году	Кол-во дней работы оборудования
Аппаратчик	5	2	3	6	8	224	300
Оператор	5	2	3	6	8	224	300

2. Численность вспомогательного персонала

Исходя из специфики работы данного производственного участка, необходимо укомплектовать цех вспомогательным персоналом: дежурный механик, дежурный электрик и дежурный КИПиА.

Явочная численность вспомогательных работников в сутки:

$$Н_{яв.вспом} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ чел.}$$

Списочная численность вспомогательных работников:

$$Н_{сп.вспог} = 9 \cdot 300/224 = 12 \text{ чел.}$$

Таким образом, в штате должно быть 12 человек дежурного персонала. В таблице 21 представлен состав вспомогательного персонала.

Таблица 21 – Вспомогательный персонал

Наименование	Разряд	Число в смену	Число смен в сутки	$Н_{яв}$ в сутки	$Н_{сп}$ в сутки	Кол-во рабочих дней в году	Кол-во дней работы оборудования
Механик	5	1	3	3	4	224	300
Электрик	5	1	3	3	4	224	300
КИПиА	5	1	3	3	4	224	300

3. Численность ИТР, МОП и служащих

Количество работников (ИТР, МОП, служащих) выбрано исходя из потребностей цеха, особенностей производства и представлено в таблице 22.

Таблица 22 – Состав ИТР, МОП и служащих

Должность	Категория	Количество	Оклад, руб./мес.
Начальник цеха	ИТР	1	52000
Мастер смены	ИТР	3	39000
Инженер-технолог	ИТР	1	31000
Уборщица	Служащий	2	13000
Секретарь цеха	Служащий	1	17500

Таким образом, в данном разделе определена численность работников.

5.3.2 Расчет годового фонда заработной платы

1. Основной персонал

Расчет заработной платы основного и вспомогательного персонала ведется согласно следующим формулам [21,22]:

$$З = (З_{осн} + З_{доп}) \cdot 1{,}3, \quad (113)$$

где З – заработная плата за год, руб./год;

$З_{осн}$ – основная заработная плата, руб./год;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб./год;

1,3 – районный коэффициент.

$$З_{осн} = З_{тар} + Д_{пр} + Д_{н.вр} + Д_{празд} + Д_{вред}, \quad (114)$$

где $З_{тар}$ – тарифный фонд, руб./год;

$Д_{пр}$ – премиальный фонд, руб./год;

$Д_{н.вр}$ – доплата за ночное время работы, руб./год;

$Д_{празд}$ – доплата за работу в праздничное время, руб./год;

$Д_{вред}$ – доплата за вредность, руб./год.

$$З_{тар} = Н_{сп} \cdot Т_{эф.раб} \cdot Т_{ст}, \quad (115)$$

где $Т_{ст}$ – ставка работника, руб./ч.

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot П_{д.зп}/100, \quad (116)$$

где $П_{д.зп}$ – процент основной заработной платы, %.

$$Д_{празд} = Н_{яв} \cdot N \cdot Т, \quad (117)$$

где N – количество праздничных дней, шт.;

Т – время, ч.

а) Тарифный фонд (для пятого разряда принимаем ставку – 165 руб./ч):

$$З_{тар} = 16 \cdot 1792 \cdot 165 = 4730880 \text{ руб./год.}$$

б) Премиальный фонд (принимаем 30 % от тарифного фонда):

$$Д_{пр} = 0{,}3 \cdot 4730880 = 1419264 \text{ руб./год.}$$

в) Доплата за работу в ночное время (40 % от тарифной ставки):

$$Д_{н.вр} = 16 \cdot 84 \cdot 8 \cdot 165 \cdot 0{,}4 = 709632 \text{ руб./год.}$$

г) Доплата за работу в праздничное время (принимаем количество праздничных дней – 12, двойной тариф):

$$Д_{празд} = 12 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 165 \cdot 2 = 380160 \text{ руб./год.}$$

д) Доплата за вредность (5 % от тарифной ставки):

$$Д_{вред} = 16 \cdot 1792 \cdot 165 \cdot 0{,}05 = 236544 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, $З_{осн} = 7476480$ руб./год.

е) Дополнительная заработная плата ($П_{д.зп} = 10$ %):

$$З_{доп} = 7476480 \cdot 0{,}1 = 747648 \text{ руб./год.}$$

ж) Полная заработная плата основного персонала в год:

$$З = (7476480 + 747648) \cdot 1{,}3 = 10691366{,}4 \text{ руб./год.}$$

2. Вспомогательный персонал

а) Тарифный фонд (принимаем размер ставки – 110 руб./ч):

$$З_{тар} = 162 \cdot 1792 \cdot 110 = 2365440 \text{ руб./год.}$$

б) Премиальный фонд (принимаем 30 % от тарифного фонда):

$$Д_{пр} = 0{,}3 \cdot 2365440 = 709632 \text{ руб./год.}$$

в) Доплата за работу в ночное время (40 % от тарифной ставки):

$$Д_{н.вр} = 12 \cdot 84 \cdot 8 \cdot 110 \cdot 0{,}4 = 354816 \text{ руб./год.}$$

г) Доплата за работу в праздничное время (принимаем количество праздничных дней – 12, двойной тариф):

$$Д_{празд} = 9 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 110 \cdot 2 = 190080 \text{ руб./год.}$$

д) Доплата за вредность (5 % от тарифной ставки):

$$Д_{вред} = 12 \cdot 1792 \cdot 110 \cdot 0{,}05 = 118272 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, $З_{осн} = 3738240$ руб/год.

е) Дополнительная заработная плата ($П_{д.зп}$ = 10 %):

$$З_{доп} = 3738240 \cdot 0,1 = 373824 \text{ руб./год.}$$

ж) Полная заработная плата вспомогательного персонала в год:

$$З = (3738240 + 373824) \cdot 1,3 = 5345683,2 \text{ руб./год.}$$

3. ИТР, МОП и служащие

Ставка работников представлена в таблице 22, число месяцев работы для инженерно-технического персонала, младшего обслуживающего персонала и служащих принимаем – 11 месяцев. Расчет ведем согласно следующим формулам:

$$З_{тар} = \Sigma Р \cdot n, \quad (118)$$

где Р – оклад работника, руб./мес.;

n – количество месяцев работы, шт.

$$Д_{празд} = Н_{яв} \cdot N \cdot Р/21, \quad (119)$$

где 21 – среднемесячное количество рабочих часов.

а) Основной фонд заработной платы:

$$З_{тар} = 52000 \cdot 11 + 3 \cdot 39000 \cdot 11 + 31000 \cdot 11 + 2 \cdot 13000 \cdot 11 + 17500 \cdot 11 =$$

$$= 2678500 \text{ руб./год.}$$

б) Доплата за работу в праздничное время (принимаем количество праздничных дней – 12, двойной тариф):

$$Д^{нач.цеха} = 1 \cdot 12 \cdot 52000/21 = 29714 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{мас.смены} = 3 \cdot 12 \cdot 39000/12 = 66857 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{и\text{-}тех} = 1 \cdot 12 \cdot 31000/21 = 17714 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{убор} = 2 \cdot 12 \cdot 13000/21 = 14857 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{секр} = 1 \cdot 17500 \cdot 12/21 = 10000 \text{ руб./год.}$$

в) Доплата за вредность (5 % от оклада):

$$Д^{нач.цеха}\ 52000 \cdot 11 \cdot 0,05 = 28600 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{мас.смены} = 3 \cdot 39000 \cdot 0,05 = 64350 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{и\text{-}тех} = 31000 \cdot 11 \cdot 0,05 = 17050 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{убор} = 2 \cdot 13000 \cdot 11 \cdot 0,05 = 14300 \text{ руб./год;}$$

$$Д^{секр} = 1 \cdot 17500 \cdot 11 \cdot 0,05 = 9625 \text{ руб./год.}$$

г) Доплата за работу в ночное время (40 % от ставки для оператора пятого разряда мастера смены):

$$Д^{мас.смены} = 3 \cdot 84 \cdot 165 \cdot 8 \cdot 0,4 = 133056 \text{ руб./год.}$$

Таким образом $З_{осн} = 3084623$ руб./год.

д) Дополнительная заработная плата ($П_{д.зп} = 10$ %):

$$З_{доп} = 3084623 \cdot 0,1 = 308462,3 \text{ руб./год.}$$

$$З = (3084623+308462,3) \cdot 1,3 = 4411010,9 \text{ руб./год.}$$

Исходя из полученных данных, общий фонд заработной платы в год составляет: $Ф_{общ} = 16478060,5$ руб./год.

4. Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды составляют 30 % от годового фонда заработной платы:

$$О_{соц} = 0,3 \cdot Ф_{общ}, \quad (120)$$

где $О_{соц}$ – отчисления на социальные нужды, руб./год;

$Ф_{общ}$ – фонд заработной платы, руб./год.

$$О_{соц} = 16478060,5 \cdot 0,3 = 4943418,15 \text{ руб./год.}$$

5. Затраты на ОТ и ТБ

Затраты на организацию труда и технику безопасности составляют 10 %:

$$З_{ОТ,ТБ} = 0,1 \cdot Ф_{общ}, \quad (121)$$

где $З_{ОТ,ТБ}$ – затраты на ОТ и ТБ, руб./год.

$$З_{ОТ,ТБ} = 0,1 \cdot 16478060,5 = 1647806,05 \text{ руб./год.}$$

5.4 Калькуляция себестоимости передела

В результате проведенных расчетов составлена таблица 23, которая отражает затраты на строительство цеха, электроэнергию, отопление, приобретение оборудования, сырья и химических веществ, на выплату заработной платы как основных, так и вспомогательных работников цеха переработки вольфрамового концентрата с использованием гидрофторида аммония в качестве фторирующего агента.

Таблица 23 – Себестоимость передела

№	Статья	Количество в год	Цена в год, млн. руб./год
1	Исходные компоненты	2663,76 т	654,463
	Энергозатраты основного оборудования	1,75 ГВт	5,699
	Итого переменные издержки	-	660,162
2	**Здание**		
	Строительство	-	6,765
	Амортизационные отчисления	-	0,541
	Содержание и ремонт	-	0,474
3	**Технологические затраты**		
	Освещение, вентиляция, отопление, вода	-	0,773
4	**Оборудование**		
	Приобретение, доставка, монтаж	-	17,586
	Амортизационные отчисления		1,762
	Содержание и ремонт		2,115
5	**Заработная плата**		
	Общий фонд заработной платы	-	16,478
	Социальные нужды, ОТ и ТБ	-	6,591
6	Итого постоянные издержки	-	53,085
7	Итого себестоимость передела		713,247
8	Стоимость переработки одной тонны вольфрамового концентрата без регенерации	-	0,891
9	Стоимость переработки одной тонны вольфрамового концентрата с регенерацией	-	0,621

Таким образом, себестоимость строительства, содержания и функционирования передела составляет 713247,51 тыс. рублей в год без учета регенерации фторирующего агента, а стоимость переработки одной тонны руды составляет 891,56 тыс. рублей.

Принимаем, что регенерация фторирующего агента осуществляется на 98 %, тогда затраты на переработку 800 тонн руды будут составлять 496863,51 тыс. рублей в год или 621,08 тыс. рублей на одну тонну руды.

5.5 Ресурсоэффективность

Промышленность неотъемлемо связана с воздействием на окружающую среду. Классические способы переработки вольфрамовых концентратов (щелочной, кислотный, содовый) имеют ряд технологических особенностей,

которые приводят к нестехиометрическому расходу реагентов, т.е. для осуществления разложения концентрата необходим избыток вскрывающего реагента в 2-2,5 раза. В свою очередь это приводит к неэкономному расходованию ресурсов без возможности их дальнейшей регенерации. Переработка вольфрамового концентрата с использованием гидрофторида аммония позволяет регенерировать вскрывающий агент и направить его на повторное разложение концентрата, тем самым, способствуя повышению экономической эффективности.

С технологической точки зрения, процесс переработки с применением гидрофторида протекает в барабанной вращающейся печи при температуре 190 °С и атмосферном давлении, что при правильном проектировании оборудования снижает риск травм для персонала. Обратная картина наблюдается, если взглянуть на содовый способ вскрытия, где процесс осуществляется в автоклаве при температуре от 200 до 225 °С и давлении от 20 до 25 атм, или кислотный способ, который проходит при температуре от 100 до 110 °С и атмосферном давлении. Кислоты и щелочи при высоких давлениях и температурах ведут себя крайне агрессивно в отношении оборудования, что в свою очередь может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций.

5.6 Выводы по главе

В данной главе были рассмотрены затраты, связанные со строительством цеха, покупкой оборудования и приобретением исходных компонентов. Произведен расчет общего фонда заработной платы работников цеха, расчет затрат на содержание цеха и оборудования, ремонт цеха и оборудования. Определены амортизационные отчисления основных средств производства. Составлена таблица себестоимости передела и дано экономическое обоснование ресурсоэффективности данного производства.

7 Автоматизация процесса

7.1 Описание схемы автоматизации

Схема автоматизации выполнена в соответствии с ГОСТ 21.404-85. Автоматизация процесса фторирования вольфрамового концентрата позволит увеличить эргономичность производства, уменьшит вероятность чрезвычайных ситуаций и позволит снизить вредное воздействие химических соединений на человека. Реализуется процесс переработки концентрата в барабанной вращающейся печи, снабженной омическим нагревом. В качестве вспомогательного оборудования выступают: пылеуловитель, три циклона и скруббер Вентури.

Для контроля количества материала, оставшегося в бункерах загрузки вольфрамового концентрата и гидрофторида аммония, каждый из них снабжен датчиком веса 1-1 и 4-1 соответственно. Двигатель 3-1 связан с преобразователем частот 2-1, а двигатель 6-1 связан с преобразователем частот 5-1, что в свою очередь позволяет оператору осуществить подачу исходных материалов в печь в заданном соотношении 1/2,3. Частота вращения шнека, связанного с двигателем 10-1, регулируется оператором с помощью преобразователя частот 9-1 и зависит от заданного соотношения «сырье/фторирующий реагент». Процесс фторирования осуществляется при температуре 190 °С в связи с этим необходимо контролировать три зоны нагрева печи. В первой зоне установлен датчик 11-1, который связан с нагревательным элементом 12-1, во второй 13-1, связанный с 14-1 и в третей датчик 15-1, связанный с нагревателем 16-1. Для более щадящего вывода печи на заданные технологические параметры, частота вращения двигателя 18-1 регулируется преобразователем частот 17-1. Во избежание переполнения емкости с фторированным продуктом она снабжена датчиком веса 19-1. При эксплуатации печи в ней образуются газообразные продукты реакций, которые удаляются в систему газоочистки, попутно увлекая с собой частички твердой

фазы. На входе в первую ступень газоочистки (перед пылеуловителем) и на выходе из каскада циклонов (перед скруббером) установлены датчики давления 7-1 и 20-1, сравнивая показания, которых оператор может убедиться в том, что не произошел проскок твердой фазы в скруббер. В пылеуловителе задерживается около 90 % твердой фазы из пылегазового потока, поэтому он снабжен вибрационным уровнемером 8-1. Газ, содержащий фтороводород и аммиак, после второй ступени газоочистки (каскада циклонов) попадает в скруббер Вентури, где происходит процесс абсорбции газов. Для того, чтобы получить раствор фторида аммония в аммиаке, который будет использоваться на последующих технологических участках, в теплообменный аппарат (хладагент подается из чиллера) изначально подается аммиачный раствор. Абсорбция аммиака и фтороводорода процесс экзотермический, поэтому раствор, прошедший скруббер, направляется в теплообменник для охлаждения. На выходе из теплообменника установлен датчик температуры 21-1, связанный с вентилями 22-1, 25-1 и насосами 23-1, 24-1, для контроля и регуляции температуры раствора, выходящего из него. Чтобы получить более концентрированный раствор, процесс «скруббер-теплообменник» зациклен до тех пор, пока pH не достигнет значения менее 11,5, поэтому на выходе раствора из скруббера установлен датчик pH, связанный с вентилями 28-1, 29-1 и 30-1 и насосами 27-1 и 31-1. При концентрировании раствора вентиля 28 и 30 закрыты, а вентиль 29 открыт. Когда pH становится меньше 11,5, то вентиль 29 закрывается и открывается вентиль 28, позволяющий раствору попасть в накопительную емкость. Параллельно открывается вентиль 30 и осуществляется подача свежего раствора аммиака в теплообменник, а затем и вскруббер. Емкость, содержащая раствор фторида аммония в аммиаке снабжена датчиком уровня 33-1 для того, чтобы избежать переполнения и предотвратить разлив раствора. Расход аммиака и контроль уровня, оставшегося в емкости раствора аммиака, происходят за счет расходомера 32-1 и уровнемера 34-1. Для измерения уровня очищенной воды в емкости установлен уровнемер 35-1.

7.2 Измеряемые параметры

Для автоматизации процесса фторирования и корректной работы газоочистного оборудования необходимо контролировать следующие параметры:

1. температуры первой, второй и третьей зоны нагрева барабанной вращающейся печи (показывать, регистрировать, регулировать);

2. массу исходных регентов и конечных продуктов в бункерах загрузки и разгрузки (показывать, регистрировать, сигнализировать);

3. уровень пыли в пылеуловителе (показывать, регистрировать, сигнализировать);

4. давление в системе газоочистки на входе в пылеуловитель и на выходе из каскада циклонов (показывать, регистрировать);

5. скорости вращения шнеков отвечающих за подачу исходных реагентов и скорость вращения реторты печи (показывать, регулировать, регистрировать);

6. температуру раствора на выходе из телообменника (показывать, регистрировать, сигнализировать);

7. концентрацию ионов водорода на выходе из скруббера Вентури (показывать, регистрировать, регулировать);

8. расход раствора аммиака, поступающего в контур газоочистки (показывать, регистрировать);

9. уровень раствора в емкости с фторидом аммония в аммиаке (показывать, регулировать, регистрировать);

10. уровень раствора аммиака в емкости (показывать, регулировать, регистрировать);

11. уровень очищенной воды в емкости (показывать, регулировать, регистрировать).

7.3 Основные характеристики датчиков и преобразователей

Позиции 1-1, 4-1 и 19-1 оснащены тензорезисторными датчиками веса Тензом Т50 и обладают следующими характеристиками: диапазон измерений от 10 до 1000 кг; рабочие температуры от минус 30 до плюс 80 °С; защита IP 68; выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В.

Для осуществления контроля частот вращения электродвигателей позиции 2-1, 5-1, 9-1 и 19-1 оборудованы преобразователем частот Siemens Sinamics G110. Основные характеристики: сетевое напряжение от 120 до 240 В; диапазон мощностей от 0,12 до 3 кВт; выходная частота от 0 до 650 Гц; КПД составляет 95 %; типа защиты IP 20. А для регулировки частоты вращения барабана печи используется преобразователь частот Веспер Е2-8300-030Н (17-1) со следующими характеристиками: сетевое напряжение 380 В, диапазон мощностей от 0,5 до 22 кВт; выходная частота от 1 до 400 Гц; тип защиты IP 20.

Вибрационный уровнемер РусАвтоматизация Mononivo 4000 (8-1) работает в температурном диапазоне от минус 40 до плюс 200 °С, длина зонда 4 м, рабочее давление до 16 бар, защита IP 67, погрешность 0,02 %.

Для измерения температур позиций 11-1, 13-1 и 15-1 оснащены датчиками термосопротивления Vecing модель OF3/E. Характеристики датчиков: диапазон температур от минус 35 до плюс 400 °С; платиновое сопротивление (Pt100); защита IP 54; погрешность 3 % от диапазона измерений; выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В.

Индуктивные датчики давления с керамическим основанием для агрессивных сред DMK 331 установлены на позициях 7-1 и 20-1 и обладают следующими характеристиками: диапазон давлений от 0 до 600 бар; погрешность 0,5 %, диапазон рабочих температур от минус 25 до 190 °С; защита IP 65; выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В.

Ввинчиваемый датчик термосопротивления ЕМ4/Е (21-1) имеет следующие характеристики: рабочий диапазон температур от минус 50 до плюс

150 °С, платиновое сопротивление (Pt100), защита IP 54, погрешность 0,6 % от диапазона измерений; выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В.

Датчик pH Pro140 установлен на позиции 26-1. Основные характеристики: диапазон измеряемых pH от 0 до 14; диапазон рабочих температур от минус 5 до плюс 135 °С; защита IP 68; выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В.

Расходомер ЭМИС ВИХРЬ 200 (32-1): погрешность 0,5 % при измерении расхода жидкостей; рабочие давление до 25 МПа; выходной сигнал от 4 до 20 мА; защита IP 67; диапазон рабочих температур от минус 40 до плюс 460 °С.

Емкостный датчик уровня FineTek EB (33-1, 34-1, 35-1): рабочий диапазон температур от минус 25 до плюс 200 °С; питание 12 или 36 В; защита IP 65; выходной сигнал от 4 до 20 мА; длина чувствительного элемента до 50 м.

7.4 Выводы по главе

Поддержание оптимальных технологических параметров процесса фторирования вольфрамового концентрата с использованием гидрофторида аммония 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, представленная в приложение Д.