

**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/РАБОТА**

Тема работы
Проект цеха получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов, производительностью 200 т/год по исходному сырью

УДК

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Эдокова Анна Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Киселёв А.Д.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Нормоконтролер	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ХТРЭ	Петлин И.В.	к.т.н.		
Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Крайденко Р.И.	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)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
P3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
P4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
P5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших 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
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
P7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

---

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

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

дипломного проекта
--------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0421	Эдокова Анна Юрьевна

Тема работы:

Проект цеха получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов, производительностью 200 т/год по исходному сырью	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 8796/с от 03.11.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	30.12.2017
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект проектирования: цех получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов. Производительность: 200 т/год по исходному сырью. Режим работы: периодический. Вид сырья: отработанные ренийсодержащие катализаторы. Данные об исходном составе сырья: [Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] – 99,05 %, [Re] – 0,45 %, [Pt] – 0,3 %, [C] – 0,2 %
---------------------------------	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p><b>Введение</b>  <b>1. Обзор литературы</b>  <b>2. Расчеты и аналитика</b>  2.1. Теория процесса  2.2. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.  2.3. Расчет материального баланса технологической схемы  2.4. Расчет теплового баланса технологической схемы  2.5. Расчет основного аппарата.  2.5.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата  2.5.2. Механический расчет основного аппарата  2.5.3. Гидравлический расчет основного аппарата  2.5.4. Энергетический расчет основного аппарата  <b>3. Результаты расчетов</b>  <b>4. План размещения оборудования</b>  4.1. Подбор основного технологического оборудования  4.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования  4.3. Энергетический расчет технологической схемы  4.4. План размещения оборудования  <b>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>  <b>6. Социальная ответственность</b>  <b>7. Автоматизация процесса</b>  <b>Заключение</b>  <b>Список использованных источников</b></p>
<p><b>Перечень графического материала</b></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>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Тухватулина Л. Р.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Акимов Д. В.</p>
<p>Автоматизация процесса</p>	<p>Вильнина А. В.</p>
<p>Нормоконтроллер</p>	<p>Петлин И. В.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>16 октября 2017 года</p>

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Киселёв А.Д.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Эдокова Анна Юрьевна		

## **Реферат**

Выпускной квалификационный проект 111 с., 3 рис., 30 табл., 47 источников литературы, 4 приложения.

Ключевые слова: ионный обмен, сорбция, отработанные катализаторы, рений, сорбционная/десорбционная колонна.

Цель дипломного проекта заключается в разработке проекта цеха получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов, производительностью 200 т/год по исходному сырью.

Объектом исследования является технологическая последовательность процесса получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов.

Предметом исследования является цех получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов.

Область применения: Химическая технология редких металлов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: производительность по исходному сырью – 200 т/год. Извлечение рения из солянокислого раствора осуществляется в двух ионообменных колоннах: первая – до проскока, вторая – до насыщения, высотой 1,6 м и диаметром 0,25 м. Сорбция проводится при комнатной температуре.

Экономическая эффективность/значимость работы: при применении солянокислого способа получения перрената аммония из отработанных платинорениевых катализаторов наблюдается снижение себестоимости за счет снижения затрат на закупку реагентов, так как на данном технологическом участке все использующиеся и образующиеся в ходе работы вещества зациклены по технологической цепочке.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В данной работе используются ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.4.072-79. ССБТ Сапоги специальные резиновые формовые, защищающие от воды, нефтяных масел, кислот, щелочей и механических воздействий. Технические условия.
4. ГОСТ 27652-88. Костюмы мужские для защиты от кислот. Технические условия.
5. ГОСТ 12.4.127-83. ССБТ. Обувь специальная. Номенклатура показателей качества.
6. ГОСТ 12.4.028-76. ССБТ. Респираторы ШБ – 1 "Лепесток". Технические условия.
7. ГОСТ 12.4.153-85. ССБТ. Очки защитные. Номенклатура показателей качества.
8. ГОСТ 12.4.010-75. ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия.
9. ГОСТ 22130-86. Детали полиэтиленовых трубопроводов. Опоры подвижные и подвески. Технические условия.
10. ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.
11. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
12. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытания на горючесть.
13. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена.

14. ГОСТ Р ИСО 3126-2007. Трубопроводы из пластмасс. Пластмассовые элементы трубопровода. Определение размеров фланцевых соединений.

15. ГОСТ 26296-84. Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры.

16. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

17. ССБТ ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

18. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация.

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

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

21. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

22. ГОСТ 17.2.3.02-2014. Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.

23. ГОСТ 21.404-85. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Десорбирующий раствор – раствор, предназначенный для проведения процесса десорбции; десорбирующий раствор готовится на основе водного раствора аммиака;

Иониты (ионообменные смолы) – высокомолекулярные органические вещества трехмерной структуры, практически нерастворимые в воде и органических средах и обратимо обменивающие ионы;

Сорбция – процесс поглощения газов, паров, растворенных веществ твердыми и жидкими поглотителями/сорбентами;

Маточный раствор – продуктивный раствор, из которого извлечен полезный компонент;

Технологическая схема – совокупность машин и оборудования, взаимосвязанных технологическими процессами, с определенной последовательностью технологических операций;

Выпаривание – концентрирование раствора частичным испарением растворителя при кипении;

Автоматизация технологического процесса – совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление самим технологическим процессом без непосредственного участия человека;

Амортизация – процесс переноса стоимости основных средств на стоимость произведенной и проданной конечной продукции по мере их износа, как материального, так и морального;

Сорбционное выщелачивание – выщелачивание драгоценного металла из руды или промежуточного продукта металлургического производства, совмещенное с извлечением растворенного драгоценного металла сорбентом.

Перечень условных обозначений:

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ППР – плановый предупредительный ремонт;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ОТ и ТБ – охрана труда и техника безопасности;

ПДОЕ – полная динамическая обменная емкость;

ПЭ – полиэтилен.

## Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературы .....	15
1.1 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием соляной кислоты.....	19
1.2 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием серной кислоты.....	21
1.3 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием плавиковой кислоты.....	22
1.4 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием смеси кислот .....	23
1.5 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием щелочи .....	23
1.6 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием фторида аммония.....	25
2 Расчеты и аналитика .....	28
2.1 Теория процесса .....	28
2.2 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.....	30
2.3 Расчет материального баланса технологической схемы.....	33
2.3.1 Расчет материального баланса стадии окислительного обжига .....	33
2.3.2 Расчет материального баланса стадии кислотного выщелачивания .....	36
2.3.3 Расчет материального баланса стадии сорбции.....	37
2.3.4 Расчет материального баланса стадии десорбции.....	39
2.3.5 Расчет материального баланса стадии упаривания .....	39
2.3.6 Расчет материального баланса стадии кристаллизации.....	40
2.3.7 Расчет материального баланса стадии фильтрации .....	41
2.4 Расчет теплового баланса технологической схемы.....	42
2.5 Расчет основного аппарата.....	44
2.5.1 Расчет геометрии и габаритов основного аппарата.....	44

2.5.1.1	Определение рабочего объема колонны .....	45
2.5.1.2	Определение продолжительности работы колонн .....	45
2.5.2	Механический расчет основного аппарата.....	46
2.5.2.1	Выбор конструкционного материала .....	46
2.5.2.2	Расчет толщины стенки аппарата.....	46
2.5.2.3	Расчет толщины стенки фланцевой крышки.....	48
2.5.2.4	Расчет опор аппарата .....	49
2.5.3	Гидравлический расчет основного аппарата.....	51
2.5.3.1	Расчет диаметра штуцера для подачи ренийсодержащего раствора ...	51
2.5.3.2	Расчет диаметра штуцера для подачи раствора аммиака .....	51
2.5.3.3	Расчет диаметра штуцера для отвода обедненного раствора.....	52
2.5.3.4	Расчет диаметра штуцера для подачи промывной воды.....	52
2.5.3.5	Расчет диаметра штуцера выгрузки смолы .....	52
2.5.4	Энергетический расчет основного аппарата .....	53
3	Результаты расчетов .....	55
4	План размещения оборудования .....	56
4.1	Подбор основного технологического оборудования.....	56
4.2	Расчет геометрии и габаритов оборудования.....	56
4.3	Энергетический расчет технологической схемы.....	56
4.4	План размещения оборудования .....	57
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	59
5.1	SWOT – анализ .....	59
5.2	Расчет численности рабочих.....	59
5.3	Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих цеха .....	62
5.4	Расчет годового фонда заработной платы ИТР и вспомогательных работников цеха.....	64
5.5	Расчет капитальных затрат.....	67
5.6	Расчет технологических затрат.....	70
5.7	Затраты на реагенты.....	72
5.8	Калькуляция себестоимости передела. ....	73

6 Социальная ответственность .....	75
6.1 Описание технологического процесса и оборудования.....	75
6.2 Анализ вредных факторов в проектируемом цехе .....	76
6.2.1 Шум .....	76
6.2.2 Микроклимат .....	77
6.2.3 Вибрация .....	78
6.2.4 Вредные вещества .....	79
6.2.5 Производственное освещение.....	81
6.3 Анализ опасных факторов, проектируемой производственной среды .....	82
6.3.1 Электробезопасность .....	82
6.3.2 Пожарная безопасность .....	83
6.4 Охрана окружающей среды .....	84
6.5 Чрезвычайные ситуации.....	85
7 Автоматизация процесса .....	87
7.1 Описание схемы автоматизации.....	87
7.2 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации.....	91
7.3 Подбор контрольно-измерительных приборов .....	92
Заключение .....	95
Список использованных источников .....	98
Список публикаций.....	102
Приложение А .....	103
Приложение Б.....	107
Приложение В.....	110
Приложение Г .....	111
Графические материалы:	
ДП ФЮРА 066134.000 Сборочный чертеж	
ДП ФЮРА 066134.000 Аппаратурно-технологическая схема	
ДП ФЮРА 066134.000 План цеха	
ДП ФЮРА 066134.000 Спецификация	

## Введение

Рений – благородный металл, являющийся одним из наиболее редких и рассеянных элементов на Земле (кларк  $7 \cdot 10^{-8}$  %) [1]. Основные производители этого металла (Чили, США, Перу, Польша) связаны с медно-молибденовой индустрией. Весь тоннаж рения, ежегодно вырабатываемый в мире из первичного сырья (не более 50 т в год, из которых 40 % от этого количества уходит на производство катализаторов), получают, большей частью, из медно-молибденового сырья. При этом первоначально из рудной составляющей получают концентрированные Cu и Mo, впоследствии из которых осуществляют выделение рения. Отсюда следует, что производительность рения зависит не только от спроса на металл на международном рынке, но и от масштаба производства Cu и Mo. Данный фактор создает затруднения в расширении выработки рения из традиционного сырья [2].

Приоритетное направление использования рения заключается в создании платино-рениевых катализаторов риформинга высокооктанового бензина, содержащие 0,5 – 2,0 % масс. металлов в сопоставимых количествах [3].

Из-за тенденции на увеличение промышленного потребления катализаторов в России (потребление на 2014 год составило 33 т/год, на 2015 год – 34 т/год, на 2016 год – 36 т/год) [4] возникает проблема утилизации отработавших свой ресурс и не пригодных к последующему использованию катализаторов. Размещение на территории, прилегающей к заводу, токсичных каталитических отходов способствует осложнению экологической ситуации. Ввиду этого, становится актуальной необходимость в переработке данного типа отходов с целью их объемного сокращения и извлечения ценных компонентов, для повторного использования в технологии получения соединений рения. В частности, рений в виде  $\text{NH}_4\text{ReO}_4$  или  $\text{HReO}_4$  подвергается рециклингу в производстве новых катализаторов и для

получения металлического рения, широко используемого в радиоэлектронной промышленности и при производстве жаропрочных сплавов [5].

В настоящем дипломном проекте рассматривается технология переработки отработанных платинорениевых катализаторов на носителях из оксида алюминия, применяемая на действующем предприятии ОАО «Красцветмет».

Основной трудностью в технологическом переделе отработанных платинорениевых катализаторов является содержание в них, одновременно с алюмооксидом и благородными металлами, множества примесных химических элементов и их соединений, большей частью, Si, Mg, Ca, Fe, Mn, Ni, Mo, Cu, углерод. Извлечение рения из каталитических отходов и его очистка от указанных примесей представляет значительные трудности и сопряжена с большими материальными и трудовыми затратами [6].

Цель дипломного проекта заключается в разработке проекта цеха получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов, производительностью 200 т/год по исходному сырью.

Объектом исследования является технологическая последовательность процесса получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов.

Предметом исследования является цех получения перрената аммония из отработанных ренийсодержащих катализаторов.

Были поставлены следующие задачи:

- провести литературный обзор существующих способов переработки отработанных ренийсодержащих катализаторов;
- составить аппаратурно-технологическую схему процесса получения перрената аммония из отработанных катализаторов;
- на основе расчетных данных материального баланса подобрать основной аппарат для сорбционного извлечения рения из рабочего раствора;
- относительно габаритных размеров основного и вспомогательного оборудования составить план цеха, обозначить организацию рабочих мест

обслуживающего персонала для безопасного ведения технологического процесса;

- произвести подбор персонала, рассчитать явочную численность рабочих, осуществить расчет годового фонда заработной платы;

- для определения рентабельности производства, осуществить технико-экономическое обоснование затрачиваемых денежных средств на переработку отработанных катализаторов;

- произвести ознакомление с основными пунктами социальной ответственности, отвечающих за создание благоприятных и безопасных условий труда для рабочего персонала на производстве;

- составить функциональную схему системы автоматического регулирования для цеха получения перрената аммония из отработанных катализаторов; осуществить подбор первичных преобразователей, относительно специфики рассматриваемой технологии.

## 1 Обзор литературы

Катализаторы – вещества, при добавлении которых в систему, происходит ускорение протекания химических реакций. Добавки катализаторов позволяют перевести сырье низкого сорта в высокосортную продукцию, не загрязняя собой готовый продукт, также способствуют увеличению производительности установок без их реконструкции [7].

Отличительной особенностью катализаторов является селективность – способность увеличения скорости реакции лишь определенных химических реакций из большинства протекающих, что позволяет находить практическое применение реакциям, протекающим при обычных условиях слишком медленно.

Некоторые вещества при стандартных условиях не могут химически взаимодействовать друг с другом, вследствие наличия прочной связи между атомами одного вещества и невозможности ее разрыва при добавлении в систему другого вещества. При добавлении в систему катализатора происходит сближение молекул рассматриваемых веществ и их перегруппировка с последующим образованием новых продуктов.

При взаимодействии одних и тех же веществ возможно образование разных продуктов реакции. Катализатор позволяет изменить направление протекания процесса в сторону образования искомого продукта [8].

В связи с вышеперечисленным, катализаторы получили широкое применение в разработке целого ряда способов получения химической, пищевой, медицинской продукции.

Распространенными примерами таких продуктов являются азотная и серная кислоты, получившие широкое применение как в народном хозяйстве, в качестве основных компонентов производства минеральных удобрений, так и в металлургической промышленности (очистка поверхности металлов от оксидов перед нанесением защитных покрытий, производство взрывчатых

веществ, красителей, пластмасс и т.д.), крупномасштабное производство которых стало возможным с применением каталитических добавок.

Значимой областью применения катализаторов является нефтепереработка. Совмещение каталитического крекинга и риформинга в сочетании с другими передовыми методами переработки моторного топлива позволяет увеличить выход высокооктанового бензина до 80 % от веса нефти.

В связи с быстрыми темпами развития промышленности, особенно в высоконаселенных городских пунктах, растет необходимость в очистке отходящих автомобильных газов и антропогенных выбросов промышленных предприятий от вредных веществ (CO, CH, NO, NO<sub>2</sub> и др.) с целью сохранения чистоты воздушного бассейна. При взаимодействии благородных металлов (Pt, Pd, Re, Rh), нанесенных на керамическую подложку сотовой структуры, покрытую алюмооксидной основой, с вредными веществами автомобильных выхлопов происходит их выжигание до экологически чистых норм [8].

На синтетических пористых углеродных материалах проводят обезвреживание сточных вод от токсичных веществ, основанное на окислении загрязнителей в жидкой фазе при давлении от 20 до 30 атм. и температуре от 200 до 250 °С на твердом катализаторе. Данный метод позволяет осуществить очистку сточных вод от аммиака с эффективностью до 99 %, сопровождающуюся образованием окисленных продуктов N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

Подбор определенного типа катализатора исходит из природы ускоряемой реакции, ее химического состава и физических свойств. По своим физическим свойствам катализаторы подразделяются на две группы: гомогенные и гетерогенные.

Гетерогенные катализаторы – это твердые вещества, содержащие в себе металлы, обладающие природной каталитической активностью (Pt) или, находящиеся в соединениях, позволяющих проявить металлу каталитические свойства (например, глинозем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)).

Отличительной особенностью большинства гетерогенных катализаторов является развитая площадь поверхности, содержащая

многочисленные поры, суммарная площадь которых может достичь  $500 \text{ м}^2$  на один грамм катализатора. Во многих случаях оксиды с развитой поверхностью применяются в качестве подложки, на которой происходит осаждение частичек металлического катализатора в виде небольших кластеров. Но в течение длительного срока эксплуатации катализаторам свойственно утрачивать свою активность в присутствии химических веществ, называемых каталитическими ядами. Данные вещества блокируют собой активные центры, снижая производительность.

Природа гомогенных катализаторов различна: в их состав могут входить как кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  или  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), так и основания ( $\text{NaOH}$ ), органические амины, металлы в форме солей и т.д.

К гомогенным катализаторам относятся природные ферменты, ускоряющие биохимические реакции в живых системах. Работоспособность высокоселективных ферментов проявляется лишь при определенных условиях и только в живых организмах. Поэтому для промышленного применения используются иммобилизованные ферменты, устойчивые при высоких температурах и давлении.

Катализаторы риформинга, крекинга, гидрирования, содержащие благородные металлы, отправляются на переработку с целью их вторичного использования в технологическом переделе. Комплексная переработка отработанных катализаторов дает возможность рециклинга оксида алюминия, являющегося основой большинства марок катализаторов [9].

Оксид алюминия в гамма-форме выпускается в виде экструдатов (изделия, полученного продавливанием вязкого расплава материала или пасты через формирующее отверстие) цилиндрической формы.

Технические характеристики окиси алюминия, применяемого в качестве оксидной каталитической основы, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика товарного гамма-оксидного алюминия

Наименование показателя	Значения
Массовые доли примесей, %:	
– железа, не более	0,020
– натрия (в пересчете на оксид натрия), не более	0,025
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> , не более	0,80
Коэффициент прочности средний, кг/мм, не менее	1,05
Диаметр экструдатов, мм	2,80 ± 0,20
Массовая доля частиц размером менее 1 мм, %, не более	0,30
Массовая доля потерь при прокаливании, %, не более	5,00
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г, не менее	195,00
Общий объем пор, см <sup>3</sup> /г, не менее	0,68

Получение активного Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в виде γ-формы осуществляется путем термического разложения дисперсного гидроксида алюминия (AlOOH · nH<sub>2</sub>O) при температуре от 500 до 600 °С. Основа катализатора получается с высокой величиной удельной поверхности (от 300 до 500 м<sup>2</sup>/г), объемом пор (от 0,8 до 1,2 см<sup>3</sup>/г) и высокой термической стабильностью.

Известно большое количество способов переработки отработанных катализаторов, содержащих благородные металлы, однако, использование данных способов для переработки катализаторов, содержащих, наряду с платиновыми металлами, еще и рений, встречает значительные технические трудности и сопряжено с большими потерями последнего [10].

Обзор способов переработки отработанных катализаторов на основе оксида алюминия показывает, что данные способы подразделяются на три основных группы [11]:

- растворение основы катализатора с образованием суспензии нерастворимых активных компонентов;
- полное растворение основы катализатора и активных компонентов с последующим разделением полученного раствора;
- плавка катализаторов на металлический коллектор.

Первые две группы способов не являются универсальными, т.к. основа катализатора наиболее распространена в двух модификациях: в альфа-форме и

в гамма-форме. Как правило, эти две формы смешаны.  $Al_2O_3$  в альфа-форме плохо растворим как в кислотах, так и в щелочах, что не позволяет получать богатые концентраты по первой группе способов.  $Al_2O_3$  в гамма-форме растворяется в кислотах, что приводит к повышенному расходу реагентов и трудностям при фильтрации пульпы, если применяются способы из 2-й группы.

В третьей группе способов весьма вероятна потеря рения, т.к. при высоких температурах рений легко окисляется, превращаясь в летучий рениевый ангидрид –  $Re_2O_7$ .

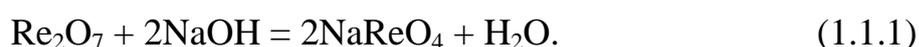
Были рассмотрены способы растворения основы катализатора кислотными, щелочными и фтораммонийными растворами с последующей переработкой растворов сорбционными методами.

### **1.1 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием соляной кислоты**

Данный способ переработки платинорениевых катализаторов условно можно подразделить на следующие группы:

- высокотемпературный обжиг с использованием соляной кислоты;
- низкотемпературный обжиг с использованием соляной кислоты;
- извлечение рения с использованием соляной кислоты без окислительного обжига.

Высокотемпературный способ переработки катализаторов с использованием  $HCl$  включает в себя стадию высокотемпературного обжига (от 1200 до 1300 °C) для перевода окиси алюминия в малорастворимую альфа-форму. Образующийся оксидный рений улавливаются с помощью щелочного раствора, согласно уравнению (1.1.1), и отправляется на извлечение благородных металлов, находящихся в огарке, выщелачиванием с использованием раствора соляной кислоты в присутствии окислителя ( $H_2O_2$ , раствор  $NaClO$  или  $Cl_2$ ) [11].



Химизм взаимодействия тетраоксорената натрия с соляной кислотой следующий:



Недостаток способа:

- высокая температура обжига, требующая большого количества энергозатрат;
- необходимость создания эффективной системы улавливания летучих оксидов рения, что усложняет технологический процесс.

Низкотемпературный обжиг осуществляется при температуре от 300 до 500 °С для выжигания углерода. Огарок катализатора выщелачивается 5 М раствором соляной кислоты при температуре от 20 до 90 °С. С помощью ионообменной сорбции осуществляют выделение благородных металлов из раствора.

Недостаток способа:

- невысокая температура обжига и для отгонки рения, и для перевода оксидного алюминия в альфа-форму. В связи с этим увеличивается концентрирование Al в растворе после выщелачивания, приводящее к увеличению расхода выщелачивающего агента, образованию труднофильтруемых пульп и снижению извлечения Pt в готовый продукт [12].

Извлечение рения с использованием HCl без окислительного обжига включает в себя стадию сорбционного выщелачивания солянокислым раствором в присутствии в нем активного хлора на макропористом слабоосновном анионите. Десорбция ренийсодержащего раствора с анионита осуществляется водным раствором аммиака.

Следующая операция – сорбционное разделение рения и платиновых металлов из аммиачного десорбата на сильноосновном анионите с последующей десорбцией рения со смолы и выделением его из десорбата в виде перрената аммония.

Недостатки этого способа:

– отсутствие окислительного обжига снижает степень извлечения рения и платиноидов, в связи с присутствующей органикой в остатке сорбционного выщелачивания;

– необходимость присутствия операции измельчения отработанного катализатора, для более удобного разделения пульпы и сорбента после сорбционного выщелачивания;

– большой расход кислоты для растворения оксида алюминия в гамма-форме;

– сорбционное выщелачивание интенсифицируется перемешиванием, что частично разрушает ионит, тем самым уменьшая содержание платины и рения в растворе после выщелачивания [13].

## **1.2 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием серной кислоты**

Известен сернокислотный способ переработки ренийсодержащих катализаторов [14], первоначальной стадией которого является обжиг при температуре от 500 до 600 °С. Обоженный продукт подвергается сернокислотному выщелачиванию. Серная кислота не взаимодействует с кислотным оксидом, но создает благоприятные условия для перехода рения в раствор в виде рениевой кислоты.

Ниже приведена химическая реакция, описывающая процесс растворения рения при кислотном выщелачивании огарка:



В образующуюся пульпу вводится влажный концентрат пыли электрофильтров афинажного производства. Проводится цементация платины на алюминиевом порошке с последующим фильтрационным разделением сернокислого раствора от нерастворимого остатка. Рений извлекается из раствора сорбцией на низкоосновном анионите, а

нерастворимый остаток просушивается и отправляется на разделительную плавку.

Недостатки данного способа:

- большие расходы  $H_2SO_4$  на растворение оксидной основы катализатора;
- трудоемкость разделения сернокислотного раствора от нерастворимого остатка из-за образующихся коллоидных осадков  $Al_2O_3$  и Pt на стадии выщелачивания;
- неполное отделение Pt и Re на стадии выщелачивания огарка, что создает необходимость в дополнительном концентрировании Pt из раствора после выщелачивания;
- большой расход Al-порошка на стадии цементации для восстановления перешедших в раствор из концентрата пыли электрофильтров благородных металлов;
- утилизация больших объемов сернокислых растворов.

### **1.3 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием плавиковой кислоты**

Согласно патенту [15] существует способ переработки алюмоосновных катализаторов, включающий в себя первоначальный обжиг отработанного катализатора в атмосфере воздуха для выжигания с рабочей поверхности органики, серы. Далее огарок обрабатывается плавиковой кислотой для перевода платины и рения в раствор. Выделение рения и платины из раствора осуществляется осаждением их в нерастворимой сульфидной форме с добавлением тиацетамида. Дальнейшие операции сводятся к выделению Pt и Re из сульфидного концентрата существующими методами.

#### **1.4 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием смеси кислот**

Рассмотренный способ включает в себя обжиг исходного сырья с последующим кислотным выщелачиванием платинорениевого огарка в раствор. Для создания кислых растворов используют: серную, соляную кислоты, смесь  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{HCl}$ , смесь  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{HBr}$ . Следующий этап состоит в выделении сульфидов  $\text{Re}$  и  $\text{Pt}$  введением серосодержащего реагента в кислый раствор. Последующие технологические операции включают в себя разделение образующихся сульфидов платины и рения от сопутствующих примесных соединений центрифугированием или фильтрацией; восстановление их в газообразной среде ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ , смесь  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ ) с получением концентрата рения и платины. Платина извлекается из сульфидных растворов на 98 %, рений – на 95 %, соответственно.

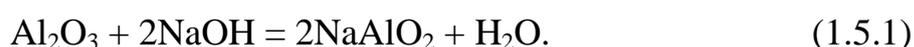
К недостаткам данного способа можно отнести:

- невысокая степень извлечения рения и платины;
- отсутствие рекомендации по количественному соотношению серосодержащего реагента и растворенных рения и платины при выделении их в сульфидной форме путем добавления в кислый раствор серосодержащего реагента [16].

#### **1.5 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием щелочи**

Были рассмотрены два способа щелочной переработки катализаторов: перколяционное и автоклавное выщелачивание.

Основной задачей перколяционной переработки отработанных платинорениевых катализаторов заключается в переводе алюмооксидной основы в раствор (например, в виде алюмината натрия):



В данном случае платина будет концентрироваться в нерастворимом остатке выщелачивания, а рений уйдет в раствор. Осуществление технологии щелочной переработки отработанных катализаторов осуществляется несколькими путями: сплавление основы катализатора с едким натром, спекание с содой, с дальнейшим водным выщелачиванием спека водой.

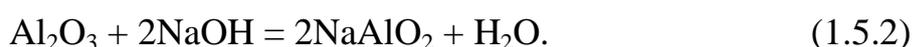
Недостатки щелочной переработки катализаторов:

– неполный переход благородных металлов (преимущественно, платины), вследствие растворения их основы, в жидкую пульповую фазу алюмината натрия;

– необходимость ввода восстановителя (металлический алюминий, гидразин, формалин) на стадии выщелачивания для уменьшения потерь благородных металлов [17].

Автоклавная переработка катализаторов была рассмотрена на основе технологии, разработанной в ЗАО «Промышленные катализаторы», включающая в себя участки автоклавного выщелачивания и растворения.

На первом участке осуществляется растворение алюмооксидной основы катализатора в щелочной среде при высокой температуре и давлении с образованием раствора алюмината натрия и драгоценных металлов в виде нерастворимого остатка:



Далее проводится ряд последовательных операций по репульсации, декантации и фильтрации остатка с получением концентрата (от 5 до 25 %) драгоценных металлов и чистого раствора  $\text{NaAlO}_2$ , который в дальнейшем используется на рассматриваемом предприятии для производства носителей катализаторов, осушителей и адсорбентов.

Ренийсодержащий концентрат перерабатывается для получения рениевой кислоты, которая используется для получения новых катализаторов:



Участок растворения используется для получения растворов платинохлористоводородной кислоты ( $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ ) с содержанием примесей не более 0,05 % в пересчете на чистый металл:

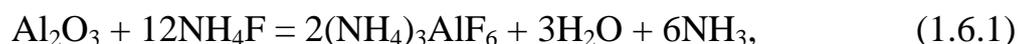


Данные типы растворов используются в производстве катализаторов риформинга и гидрирования.

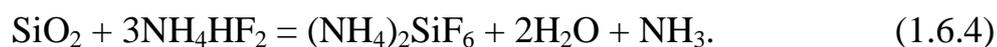
Наличие на предприятии действующей комплексной установки по переработке дезактивированных катализаторов дает возможность использовать в качестве сырья для производства новых катализаторов  $\text{NaAlO}_2$ ,  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ ,  $\text{HReO}_4$ . Благодаря рециклингу вышеупомянутых соединений снимается вопрос об утилизации и хранении отходов производства [18].

## **1.6 Способ переработки отработанных катализаторов с использованием фторида аммония**

В основе рассматриваемого способа лежат стадии фторидного спекания алюмооксидного катализатора с твердым фторирующим агентом ( $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ , техническая смесь фторидов аммония) в интервале температур от 180 до 210 °С. Нижеприведенные реакции описывают процесс образования фтораммонийного комплекса алюминия ( $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ ) на стадии спекания:



При наличии в основе катализатора  $\text{SiO}_2$ , протекает реакция образования гексафторосиликата аммония ( $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ ):



Взаимодействие оксида Re с  $\text{NH}_4\text{F}$  протекает следующим образом:



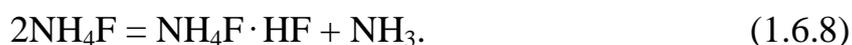
Драгоценные металлы платиновой группы (Pt, Re, Os, Ir и др.) вскрытию не подвергаются.

Образовавшийся фтораммонийный продукт подвергается водному выщелачиванию, с переводом в раствор фтораммонийного комплекса Al и Si с последующей операцией фильтрации для разделения маточного раствора от непрореагировавшего остатка. Маточник, содержащий концентрат активных компонентов катализатора, обрабатывается смесью растворов HCl и HNO<sub>3</sub>, который направляется на очистку и выделение целевого компонента.

Фтораммонийный комплекс алюминия, находящийся в фильтрате, обрабатывается раствором NH<sub>4</sub>OH (pH не менее 7). Процесс сопровождается образованием твердого нерастворимого осадка – гидроксида алюминия и примесного оксигидрата кремния с фторидом аммония.



Раствор фторида аммония упаривается в интервале температур от 60 до 80 °С под вакуумом до момента выпадения кристаллов технической смеси фторида и бифторида аммония (NH<sub>4</sub>F : NH<sub>4</sub>F·HF; 1 : 1), подлежащие фильтрации:



Таким образом, происходит регенерация фторирующего агента и рециклинг его в технологической цепочке переработки отработанных катализаторов [18].

Недостатки данного способа:

- большие расходы фторирующего агента для вскрытия основы катализатора;

- необходимость дополнительной очистки рениевого концентрата от гексафторосиликата аммония, образующегося при наличии в основе катализатора кремния, как следствие установка дополнительного оборудования, апробация и утилизация дополнительных отходов производства;

- необходимость создания системы улавливания аммиака, образующегося на стадии спекания [19].

## Вывод по главе 1

Из вышерассмотренных способов для написания дипломного проекта был взят за основу солянокислый способ переработки платинорениевых катализаторов. Его отличительные преимущества перед другими способами состоят в следующем:

- невысокой температуре обжига (от 450 до 600 °С) достаточной для удаления органики и перевода оксида алюминия в альфа-форму, что позволяет осуществлять экономию электроэнергии, в сравнении с высокотемпературной переработкой оксидной основы (от 1200 до 1300 °С);

- перевод основы катализатора в альфа-форму снижает затраты на выщелачивающий агент, по сравнению со способом переработки катализаторов без использования окислительного обжига, требующий большего объема соляной кислоты для растворения оксида алюминия в гамма-форме;

- динамический режим протекания сорбции позволяет сохранить форму ионита, не разрушая ее, тем самым не снижая качество извлечения рения и платиноидов;

- имеет место возврата обедненного раствора после сорбции на участок кислотного выщелачивания, после его доукрепления смесью окислителей и подогрева до необходимой температуры. Зацикливание раствора позволяет создать условия постоянной прокачки раствора с малым содержанием рения через слой катализатора, что дает возможность максимального извлечения рения в раствор;

- добавление в ренийсодержащий раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  способствует дополнительной очистке перрената аммония от платины, натрия и серы на стадии кристаллизационной очистки, создавая необходимое значение рН для их осаждения.

## 4 План размещения оборудования

План размещения оборудования разрабатывается для определения габаритных размеров производственного помещения, организации рабочих мест персонала, безопасного ведения технологического процесса и производства ремонтных работ [27].

### 4.1 Подбор основного технологического оборудования

Основные характеристики технологического оборудования представлены в таблице Б.1 (приложение Б).

### 4.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования

Геометрические размеры технологического оборудования представлены в таблице Б.2 (приложение Б).

### 4.3 Энергетический расчет технологической схемы

Данные о потребляемой мощности приводными устройствами приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики приводов технологического оборудования

№	Оборудование	Характеристики привода
1	Туннельная печь, Термокерамика, ТК.82.1300.3Ф	Мощность привода до 5,2 кВт; напряжение сети питателя 220 В; скорость движения ленты 0,05 м/мин
2	Ленточный фильтр, BHS-Sonthofen GmbH, BRF 120	Мощность привода до 7,9 кВт; напряжение сети питателя 220 В; скорость движения ленты 0,015 м/мин
3	Выпарной аппарат, Илтек-Пром	Мощность привода до 42,5 кВт; напряжение сети питателя 220 В

Продолжение таблицы 14

4		Мощность привода до 1,1 кВт; напряжение сети питателя 220 В; число оборотов вала мешалки от 20 до 40 об/мин, номер привода МН 5855-66; тип I; с концевой опорой, мотор-редуктором типа МПО2 и электродвигателем серии АО2
5	Барабанно-вращающийся фильтр, Nitoper, RBWL1	Мощность привода до 1,1 кВт; напряжение сети питателя 220 В; скорость вращения барабана 1 об/мин
6	Шнековый транспортер, Центр пластика	Мощность привода 0,6 кВт; напряжение сети питателя 220 В, скорость вращения вала шнека от 6 до 20 об/мин
7	Насос центробежный лопастной, Ампики, ЦНЛ 15/60-0,09/2	Мощность 0,09 кВт на 3000 об/мин; питание 220 В
8	Насос вакуумный, Ампики, VE-115	Мощность 0,18 кВт; питание 220 В
9	Насос горизонтальный центробежный, Ампики, 1КС 20-50	Мощность 0,9 кВт; питание 220 В

#### 4.4 План размещения оборудования

На основе рассчитанного и подобранного технологического оборудования, удовлетворяющего производственным мощностям, был спроектирован план цеха ДП ФЮРА 066134.000 ПЦ.

Цех переработки отработанных катализаторов имеет следующие параметры: несущая конструкция – каркас ЛМК (легкие металлические конструкции), длиной – 24 м, шириной – 12 м, высотой – 3,5 м. Производственная площадь – 288 м<sup>2</sup>. Полный объем цеха составляет 1008 м<sup>3</sup>.

Проектируемый цех содержит четыре участка, три из которых находятся в одном помещении (рабочая зона, склад исходного и конечного сырья), огражденные железной сеткой, для зонирования рабочего пространства. Операторная находится в отдельном закрытом помещении для снижения негативного шумового воздействия на рабочий персонал, производимый от работы основного и вспомогательного оборудования.

Несущие стены и кровля цеха изготовлены из огнеупорного, экологически строительного автоклавного газобетона (на основе цемента),

толщиной 300 мм, обеспечивающий хорошую звуко- и теплоизоляцию. Внутренние стены выполнены толщиной в 200 мм, согласно ГОСТ 31360-2007.

В цехе установлено три окна, размерами 1500 × 1300 мм и три, размерами – 2500 × 1400 мм. Предусмотрено наличие двух раздвижных утепленных ворот складского типа, размерами 3000 × 3000 мм, для удобства автотранспортного завоза исходного сырья и реагентов, монтажа оборудования, также, естественной циркуляции воздуха в случае превышения норм ПДК в воздухе рабочего помещения. Установка распашных металлических утепленных дверей, в количестве двое штук, размерами 900 × 2000, осуществляется в соответствии документации СНиП «Пожарная безопасность сооружений и зданий» [28].

#### **Вывод по главе 4**

В данной главе был осуществлен подбор вспомогательного оборудования, относительно специфики рассматриваемого процесса переработки отработанных катализаторов; определены габаритные размеры, удовлетворяющие производственным мощностям, относительно которых был спроектирован план цеха, наглядно показывающий размещение оборудования, организацию рабочих мест персонала.

Цех переработки отработанных катализаторов имеет следующие параметры: несущая конструкция – каркас ЛМК (легкие металлические конструкции), длиной – 24 м, шириной – 12 м, высотой – 3,5 м. Производственная площадь – 288 м<sup>2</sup>. Полный объем цеха составляет 1008 м<sup>3</sup>. Проектируемый цех содержит четыре участка разных площадей и назначений.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Главной целью экономического расчета является поиск резервов повышения финансово-экономической составляющей цеха переработки отработанных катализаторов и исследование оптимальных условий, для достижения экономически оправданного функционирования предприятия [29].

### **5.1 SWOT – анализ**

В таблице В.1 (приложение В) представлена матрица SWOT – анализа, направленная на объективную оценку сильных и слабых сторон проектируемого цеха, как показателей внутренней среды, а также возможностей и угроз, создаваемых внешней обстановкой.

### **5.2 Расчет численности рабочих**

Цех переработки отработанных катализаторов будет работать в непрерывном режиме без выходных и праздничных дней, с остановками для выполнения технического и ППР, производимых относительно регламентированного графика разово в месяц в течение трех дней.

Проектируемый участок будет осуществлять работу в две смены продолжительностью по 12 рабочих часов (ночная и дневная смены). Работа осуществляется четырьмя производственными бригадами, приступающими к работе в цеху, согласно установленному действующему графику сменности, представленному в таблице 15.

Таблица 15 – График сменности бригад

дни смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	с 08.00 до 20.00 ч	А	А	А	В	В	В	Б	Б	Б	Г	Г	Г	А	А	А	В	В	В	Б	Б	Б	Г	Г
с 20.00 до 08.00 ч	Б	Б	Б	Г	Г	Г	А	А	А	В	В	В	Б	Б	Б	Г	Г	Г	А	А	А	В	В	В
Выход ные	В	В	В	А	А	А	Г	Г	Г	Б	Б	Б	В	В	В	А	А	А	Г	Г	Г	Б	Б	Б
	Г	Г	Г	Б	Б	Б	В	В	В	А	А	А	Г	Г	Г	Б	Б	Б	В	В	В	А	А	А

Расчет длительности сменоборота бригад:

$$T_{с.об.} = n_i \cdot T_c, \quad (5.2.1)$$

где  $T_{с.об.}$  – длительность сменоборота, дни;

$n_i$  – число бригад;

$T_c$  – количество дней, в которые бригада ходит в смену.

$$T_{с.об.} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ дней.}$$

Относительно графика сменности были определены: длительность сменоборота ( $T_{с.об.}$ ) – 12; количество ночных смен в году ( $T_{с.н.}$ ) – 95, количество дней отдыха в году ( $T_{отд.}$ ) – 150. Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, представленного в таблице 16.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

№	Элементы времени	Количество	
		дней	часов
1	Календарное число дней	365	8760
2	Нерабочие дни: выходные	150	3600
3	Номинальный фонд рабочего времени	215	6576
4	Планируемые выходные:		
	а) очередные и дополнительные отпуска	20	480
	б) отпуска за вредность	7	168
	в) выполнение общественных обязанностей	3	72
	г) отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	7	28
	д) невыходы по болезни	3	72
	Итого:	40	960
5	Эффективный фонд рабочего времени	175	2100

Определение численности рабочего персонала определяется исходя из производимого цехом объема продукции и необходимости обеспечения контроля за рабочими местами, число которых определяется, исходя из необходимого количества точек наблюдения и количества обслуживающих операций за технологическим процессом.

Расчет явочной численности рабочих:

$$N_{\text{явочн.}} = \frac{1}{N_{\text{ап.}}} \cdot N \cdot C, \quad (5.2.2)$$

где  $N_{\text{явочн.}}$  – явочная суточная численность рабочих, чел.;

$N_{\text{ап.}}$  – число аппаратов, подлежащих обслуживанию одним рабочим, штук;

$N$  – количество установок, штук;

$C$  – количество смен в сутки, штук.

$$N_{\text{явочн.}} = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 2 = 8 \text{ чел.}$$

Высокий уровень автоматизации оборудования цеха позволяет рассчитанному количеству персонала вести технологический процесс в данном количестве. Примем явочное количество персонала, равным восьми человек (четыре человека в дневную смену и четыре – в ночную).

Расчет списочной численности основного персонала:

$$N_{\text{сп.}} = N_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб}}}, \quad (5.2.3)$$

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

$T_{\text{эф.обор.}}$  – проектируемое число дней работы оборудования в год;

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

$$N_{\text{сп.}} = 8 \cdot \frac{300}{175} = 11,16 \text{ чел.}$$

Штат основных рабочих проектируемого цеха составляет 11 человек.

Определяем категорию работников обслуживающего персонала, который будет состоять из: дежурного механика – 1 чел., дежурного электрика – 1 чел., дежурного КИПиА – 1 чел.

$$N_{\text{яв.}} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ чел.}, \quad (5.2.4)$$

$$N_{\text{сп.}} = 6 \cdot \frac{300}{175} = 8,37 \text{ чел.} \quad (5.2.5)$$

Принимаем в штат дежурного персонала 9 человек.

Численность ИТР, занимающихся организацией и руководством производственного процесса, представлена в виде: начальника цеха – 1 человек, старшего технолога – 1 человек, мастера смены – 2 человека.

Расчет списочной численности ИТР (без учета начальника цеха и старшего технолога, так как они работают в одну смену в течение пяти дней):

$$N_{\text{яв.}} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ чел.}, \quad (5.2.6)$$

$$N_{\text{сп.}} = 2 \cdot \frac{300}{175} = 3 \text{ чел.} \quad (5.2.7)$$

Принимаем в штат ИТР 5 человек.

Суммарное количество рабочего персонала, ИТР и вспомогательных рабочих сведено в таблице 17.

Таблица 17 – Суммарное количество рабочего персонала, ИТР, вспомогательных рабочих

№	Наименование профессии	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	$N_{\text{яв.}}$ , в сутки	$N_{\text{сп.}}$ , в сутки
1	Аппаратчик	4	2	8	11
3	Начальник цеха	1	1	1	1
4	Старший технолог	1	1	1	1
5	Мастер смены	1	2	2	3
6	Дежурный механик	1	2	2	3
7	Дежурный электрик	1	2	2	3
8	Дежурный КИПиА	1	2	2	3
Итого		10	-	18	25

### 5.3 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих цеха

Вычисление расчетного фонда осуществляется по формуле:

$$Z_{\text{год.}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}, \quad (5.3.1)$$

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

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

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

Расчет основного фонда заработной платы:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{пр.дн.}} + D_{\text{пр.}} + D_{\text{вред.}}, \quad (5.3.2)$$

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

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

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

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

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

Расчет тарифного фонда заработной платы осуществляется относительно тарифных ставок, исходя из отработанного времени:

$$Z_{\text{тар.}}^i = N_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф.раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i, \quad (5.3.3)$$

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

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

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

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

Для проектируемого цеха к работе будут привлекаться аппаратчики 5-го разряда, что связано со сложностью производимых работ, требующих высокую квалификацию обслуживающего персонала. Часовая тарифная ставка для аппаратчиков 5-го разряда составляет – 150 руб./ч (с учетом районного коэффициента, разряда рабочего).

$$Z_{\text{тар.}}^5 = 11 \cdot 2100 \cdot 150 = 3465000 \text{ руб./год.}$$

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

$$D_{\text{н.вр.}} = 11 \cdot 95 \cdot 12 \cdot 150 \cdot 0,4 = 752400 \text{ руб./год.}$$

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

$$D_{\text{пр.дн.}} = 11 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 150 = 178200 \text{ руб./год.}$$

Доплата премий составляет 30 % от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр.}} = 3465000 \cdot 0,3 = 1039500 \text{ руб./год.}$$

Доплата за вредность составляет 12 % от тарифной ЗП:

$$D_{\text{вред.}} = 3465000 \cdot 0,12 = 415800 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, основной фонд заработной платы (ЗП) составит:

$$\begin{aligned} Z_{\text{осн.}} &= 3465000 + 752400 + 178200 + 1039500 + 415800 = \\ &= 5850900 \text{ руб./год.} \end{aligned}$$

Дополнительный фонд ЗП рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп.}} = Z_{\text{осн.}} \cdot P_{\text{д.зп.}}, \quad (5.3.4)$$

где  $P_{\text{д.зп.}}$  – процент доплаты, равный 10 %.

$$Z_{\text{доп.}} = 5850900 \cdot 0,1 = 585090 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, расчетный годовой фонд ЗП будет равен:

$$Z_{\text{год.}} = 5850900 + 585090 = 6435990 \text{ руб./год.}$$

Заработная плата основного рабочего составляет 48758 руб.

#### **5.4 Расчет годового фонда заработной платы ИТР и вспомогательных работников цеха**

Произведем расчет тарифного фонда оплаты по формуле:

$$Z_{\text{тар.}} = P_{\text{мес.}} \cdot T_{\text{окл.}}, \quad (5.4.1)$$

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

$P_{\text{мес.}}$  – число месяцев, отработанных в год каждым работником (11 месяцев);

$T_{\text{окл.}}$  – штатный месячный оклад, руб.

Расчет тарифного фонда заработной платы для вспомогательных рабочих осуществляется аналогично расчету для основного персонала.

Состав ИТР и вспомогательного персонала приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Состав ИТР и вспомогательного персонала

Наименование должности	Месячный оклад, руб.
Начальник цеха	127644
Старший технолог отделения	89351
Мастер смены	70204
Дежурный механик	12765
Дежурный электрик	12765
Дежурный КИПиА	12765

Основная заработная плата служащих и прочего персонала рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{пр.дн.}} + D_{\text{вред.}}, \quad (5.4.2)$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (T_{\text{окл.}} / 20,25) \cdot N \cdot N_{\text{явочн.}}, \quad (5.4.3)$$

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

$N$  – количество праздничных дней в году;

20,25 – среднемесячное число рабочих дней.

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

Произведем расчет годового фонда ЗП для ИТР.

**1. Для начальника участка (пятидневная рабочая неделя):**

$$Z_{\text{тар.}} = 11 \cdot 100000 = 1100000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{вред.}} = 1100000 \cdot 0,12 = 132000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (100000 / 20,25) \cdot 9 \cdot 1 = 44444 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 1100000 + 132000 + 44444 = 1276444 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{доп.}} = 1276444 \cdot 0,1 = 127644 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{год.}} = 1276444 + 127644 = 1404088 \text{ руб./год.}$$

**2 Для старшего технолога отделения (пятидневная рабочая неделя):**

$$Z_{\text{тар.}} = 11 \cdot 70000 = 770000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{вред.}} = 770000 \cdot 0,12 = 92400 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (70000 / 20,25) \cdot 9 \cdot 1 = 31111 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 770000 + 92400 + 31111 = 893511 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{доп.}} = 893511 \cdot 0,1 = 89351 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{год.}} = 893511 + 89351 = 982862 \text{ руб./год.}$$

### 3 Для мастера смены:

$$Z_{\text{тар.}} = 11 \cdot 55000 \cdot 3 = 1815000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{вред.}} = 1815000 \cdot 0,12 = 217800 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (55000 / 20,25) \cdot 9 \cdot 3 = 73333 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 1815000 + 217800 + 73333 = 2106133 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{доп.}} = 2106133 \cdot 0,1 = 210613 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{год.}} = 2106133 + 210613 = 2316746 \text{ руб./год.}$$

### 4 Для вспомогательного персонала:

Часовая тарифная ставка составляет 120 руб./ч.

$$Z_{\text{тар.}}^5 = 9 \cdot 2100 \cdot 120 = 2268000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{н.вр.}} = 9 \cdot 95 \cdot 12 \cdot 120 \cdot 0,4 = 492480 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = 9 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 120 = 116640 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.}} = 2268000 \cdot 0,3 = 680400 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{вред.}} = 2268000 \cdot 0,12 = 272160 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 2268000 + 492480 + 116640 + 680400 + 272160 = 3829680 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{доп.}} = 3829680 \cdot 0,1 = 382968 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{год.}} = 3829680 + 382968 = 4212648 \text{ руб./год.}$$

Так как вспомогательные рабочие могут работать не только в рассматриваемом цеху, то для них ЗП вычисляется с учетом коэффициента полезного участия, принятым 0,3.

$$Z_{\text{год.}} = 4212648 \cdot 0,3 = 1263794 \text{ руб./год.}$$

Полный годовой фонд ЗП составляет:

$$\Phi_{\text{зп}} = 6435990 + 1404088 + 982862 + 2316746 + 1263794 = 12403480 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{соц.}} = 12403480 \cdot 0,3 = 3721044 \text{ руб./год.}$$

## 5.5 Расчет капитальных затрат

Цех переработки отработанных катализаторов имеет следующие параметры: несущая конструкция – каркас, длиной – 24 м, шириной – 18 м, высотой – 3,5 м. Производственная площадь – 288 м<sup>2</sup>. Полный объем здания составляет 1008 м<sup>3</sup>.

Расчет стоимости здания производится по формуле:

$$C = C_{1м^3} \cdot V_{зд.}, \quad (5.5.1)$$

где  $C_{1м^3}$  – стоимость затрат на постройку 1 м<sup>3</sup> здания, руб.;

$V_{зд.}$  – объем здания, м<sup>3</sup>.

$$C = 1200 \cdot 1008 = 1209600 \text{ руб.}$$

В таблице 19 приведены денежные затраты на санитарно-технические работы ( $C_{с.р.}$ ).

Таблица 19 – Затраты на санитарно-технические работы

Затраты	% от затрат на постройку здания	Цена, руб.
Отопление	5	60480
Вентиляция	5	60480
Водопровод	3	36288
Канализация	3	36288
Освещение	2	24192
Итого	18	217728

Общая стоимость здания составит:

$$C_{зд.} = C + C_{с.р.}, \quad (5.5.2)$$

$$C_{зд.} = 1209600 + 217728 = 1427328 \text{ руб.}$$

Расчеты капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования представлены в таблицах 20, 21.

Таблица 20 – Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Цена, руб.
Туннельная печь	1	550500	550500
Ленточный фильтр	1	490100	490100
Сорбционная/десорбционная колонна	2	190800	381600
Выпарной аппарат	1	250000	250000
Барометрический конденсатор	1	115000	115000
Ловушка	1	25000	25000
Кристаллизатор	1	65900	65900
Барабанно-вращающийся фильтр	1	75950	75950
Насос центробежный лопастной	4	4600	18400
Насос вакуумный	1	5000	5000
Насос горизонтальный центробежный	1	4450	4450
Разгрузочный бункер со шнековым транспортером (1) на 28 кг	1	15000	15000
Приемный бункер с охлаждаемым шнековым транспортером (4) на 28 кг	1	19000	19000
Приемный бункер (7) на 35 кг	1	10000	10000
Приемный бункер (22) на 24 кг	1	9500	9500
Приемная емкость (8, 11) на 210 л	2	3900	7800
Приемная емкость (12) на 230 л	1	7550	7550
Приемная емкость (15) на 24 л	1	550	550
Приемная емкость (23) на 89 л	1	3470	3470
Приемная емкость (24) на 200 л	1	3750	3750
Приемная емкость (26) на 150 л	1	2850	2850
Итого			2061370

Таблица 21 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

Затраты	% от стоимости оборудования	Цена, руб.
Устройство фундаментов	10	206137
Технологические трубопроводы	10	206137
Антикоррозионные работы	5	103069
Кабельные разводки	5	103069
КИПиА	10	206137
Монтаж оборудования	15	309206
Вспомогательное оборудование	5	103069
Итого	65	1236824

Общие капитальные затраты (без стоимости помещения) составят:

$$C_{\text{кап.}} = C_{\text{обор.}} + \Sigma C_{\text{затр.}}, \quad (5.5.3)$$

где  $C_{\text{обор.}}$  – суммарные расходы на основное оборудование, руб.;

$\Sigma C_{\text{затр.}}$  – суммарные расходы на наладку и монтаж оборудования, руб.

$$C_{\text{кап.}} = 2061370 + 1236824 = 3298194 \text{ руб.}$$

Полные капитальные затраты на здание и оборудование представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Полные капитальные затраты

Наименование	Капитальные затраты	
	Руб.	%
Здание	1427328	30,2
Оборудование	3298194	69,8
Итого	4725522	100,0

Техническое эксплуатирование зданий подразумевает проведение мероприятий по его содержанию, включающих в себя:

Затраты на содержание здания – 2 % от его стоимости:

$$Z_{\text{сод.}} = 1427328 \cdot 0,02 = 28547 \text{ руб./год.}$$

Затраты на текущий ремонт здания – 2 % от его стоимости:

$$Z_{\text{т.р.}} = 1427328 \cdot 0,02 = 28547 \text{ руб./год.}$$

Амортизационные отчисления на здание:

$$A_{зд.} = C_{зд.} \cdot \alpha, \quad (5.5.4)$$

где  $A_{зд.}$  – амортизационные отчисления на здание, руб./год;

$\alpha$  – коэффициент срока службы здания (40 лет).

$$A_{зд.} = 1427328 \cdot 1/40 = 35683 \text{ руб./год.}$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\Sigma Z_1 = Z_{сод.} + Z_{т.р.} + A_{зд.}, \quad (5.5.5)$$

где  $\Sigma Z_1$  – суммарные затраты на содержание и эксплуатацию здания, руб./год.

$$\Sigma Z_1 = 28547 + 28547 + 35683 = 92777 \text{ руб./год.}$$

В расходы на содержание и эксплуатацию оборудования входят:

Ремонтный фонд – 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{т.р.} = 2061370 \cdot 0,15 = 309206 \text{ руб./год.}$$

Расходы на содержание оборудования – 5 % от его стоимости:

$$Z_{сод.} = 2061370 \cdot 0,05 = 103069 \text{ руб./год.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования (20 % от стоимости):

$$A_{об.} = 2061370 \cdot 0,2 = 412274 \text{ руб./год.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\Sigma Z_2 = \Phi_{т.р.} + Z_{сод.} + A_{об.}, \quad (5.5.6)$$

где  $\Sigma Z_2$  – суммарные затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, руб./год.

$$\Sigma Z_2 = 309206 + 103069 + 412274 = 824549 \text{ руб./год.}$$

Тогда общие производственные расходы составят:

$$Z_{общ.} = \Sigma Z_1 + \Sigma Z_2, \quad (5.5.7)$$

где  $Z_{общ.}$  – общепроизводственные затраты, руб./год.

$$Z_{общ.} = 92777 + 824549 = 917326 \text{ руб./год.}$$

## 5.6 Расчет технологических затрат

Затраты на электрическую энергию рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{эл.эн.}} = T_{\text{эл.эн.}} \cdot N_{\text{T}} \cdot T_{\text{р.об.}}, \quad (5.6.1)$$

где  $Z_{\text{эл.эн.}}$  – затраты на электроэнергию, руб./год;  
 $T_{\text{эл.эн.}}$  – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, руб., (4,54 руб.);  
 $N_{\text{T}}$  – суммарная мощность, кВт, (58,81 кВт);  
 $T_{\text{р.об.}}$  – время работы оборудования в год, ч, (7200 ч).

$$Z_{\text{эл.эн.}} = 4,54 \cdot 58,81 \cdot 7200 = 1922381 \text{ руб./год.}$$

Расчет затрат на воду:

$$Z_{\text{вод.}} = T_{\text{вод.}} \cdot T_{\text{р.об.}} \cdot B, \quad (5.6.2)$$

где  $Z_{\text{вод.}}$  – затраты на воду, руб./год;  
 $T_{\text{вод.}}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> воды, руб., (13,17 руб./м<sup>3</sup>);  
 $B$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup> (1,5 м<sup>3</sup>/ч).

$$Z_{\text{вод.}} = 13,17 \cdot 7200 \cdot 1,5 = 142236 \text{ руб./год.}$$

Затраты на освещение:

$$Z_{\text{осв.}} = \frac{15 \cdot S_{\text{п}} \cdot M \cdot T_{\text{р.об.}}}{1000} \cdot T_{\text{э}}, \quad (5.6.3)$$

где  $Z_{\text{осв.}}$  – затраты на освещение, руб./год,  
15 – количество Ватт на 1 м<sup>2</sup> пола;  
 $S_{\text{п}}$  – площадь пола, м<sup>2</sup>, (288 м<sup>2</sup>);  
 $M$  – количество часов искусственного освещения в сутки (24 ч);  
 $T_{\text{э}}$  – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, руб., (4,54 руб.);  
 $T_{\text{р.об.}}$  – число дней работы производства в году, (300 дней).

$$Z_{\text{осв.}} = (15 \cdot 288 \cdot 24 \cdot 300 / 1000) \cdot 4,54 = 141212 \text{ руб./год.}$$

Затраты на вентиляцию:

$$Z_{\text{вент.}} = (P_{\text{э.д.}} \cdot T_{\text{кал}}) \cdot T_{\text{эл.эн.}}, \quad (5.6.4)$$

где  $Z_{\text{вент.}}$  – затраты на вентиляцию, руб./год;  
 $T_{\text{кал}}$  – календарный фонд времени, ч;  
 $P_{\text{э.д.}}$  – мощность электродвигателя вентиляции, кВт. В цехе установлены вентилирующие устройства, в количестве 8 штук, ( $P_{\text{э.д.}} = 10$  кВт).

$$Z_{\text{вент.}} = (10 \cdot 8 \cdot 24 \cdot 300) \cdot 4,7 = 2707200 \text{ руб./год.}$$

Затраты на отопление:

$$Z_{\text{отопл.}} = \frac{\alpha \cdot T \cdot V_{\text{о.п.}}}{1000} \cdot T_{\text{э}}, \quad (5.6.5)$$

где  $Z_{\text{отопл.}}$  – затраты на отопление, руб./год;

$\alpha$  – количество тепла на 1 м<sup>3</sup> помещения, кВт, (4,4 кВт);

$T$  – продолжительность отопительного сезона, ч, (4896 ч);

$V_{\text{о.п.}}$  – объем отапливаемого помещения, м<sup>3</sup>, (1008 м<sup>3</sup>);

$T_{\text{э}}$  – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб., (2,93 руб.).

$$Z_{\text{отопл.}} = (4,4 \cdot 4896 \cdot 1008 \cdot 2,93) / 1000 = 63624 \text{ руб./год.}$$

Затраты на ОТ и ТБ:

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12 % от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{\text{от. тб.}} = 12403480 \cdot 0,12 = 1488418 \text{ руб./год.}$$

## 5.7 Затраты на реагенты

Затраты на реагенты и исходное сырье приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Затраты на реагенты и исходное сырье

Наименование	Цена за единицу, руб./т	Количество на весь годовой выпуск, ед./т	Итоговые затраты, руб./год
Отработанные катализаторы	4800000	200,000	960000000
HCl	2000	200,000	400000
Смола	140000	35,300	4942000
NH <sub>3</sub> (aq)	18000	13,620	245160
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	59000	0,274	16166
CaCl <sub>2</sub>	3000	0,030	90
Итого			967042100

## 5.8 Калькуляция себестоимости передела

В таблице 24 приведены значения условно-постоянных и условно-переменных затрат.

Таблица 24 – Сводная таблица результатов

Статьи затрат	Сумма руб./год
Затраты на реагенты и исходное сырье:	
– отработанные катализаторы	960000000
– HCl	400000
– смола	4942000
– NH <sub>3(aq)</sub>	245160
– Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	16166
– CaCl <sub>2</sub>	90
Затраты на технологическую электроэнергию	1922381
Затраты на технологическую воду	142236
Затраты на производственное освещение	141212
Затраты на вентиляцию	2707200
Затраты на отопление	63624
<b>Итого условно-переменные затраты</b>	<b>971877541</b>
Фонд ЗП:	12403480
Отчисления на соц. нужды	3721044
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	
– амортизация оборудования	412274
– тек. и кап. ремонты	309206
– содержание оборудования	103069
Цеховые расходы:	
– амортизация здания	35683
– содержание здания	28547
– тек. и кап. ремонты	28547
– расходы на ОТ и ТБ	1488418
<b>Итого условно-постоянные затраты</b>	<b>18530268</b>
<b>Себестоимость производственных затрат</b>	<b>990407809</b>

## Вывод по главе 5

Составление SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны цеха, определить возможные угрозы и перспективы развития.

Был произведен расчет численности персонала, требуемого для ведения технологического процесса ( $N_{\text{яв.}} = 16$  человек в день за две смены, без учета начальника цеха и старшего технолога, работающих в одну смену); расчет годового фонда заработной платы основных, вспомогательных рабочих цеха и инженерно-технических работников (12403480 руб./год); расчет капитальных и технологических затрат как для оборудования, так и всего здания в целом; затраты на реагенты.

Относительно вышеперечисленных величин была рассчитана себестоимость конечного полупродукта, составляющая 990407809 рублей. При этом, основная доля затрат приходится на закупку реагентов – 96,4 %. На содержание и эксплуатацию оборудования направляется 0,3 %, на долю оплаты труда и социальные нужды – 2,5 %. Затраты на технологические нужды (электроэнергия, отопление, вентиляция, производственное освещение, технологическая вода) составили 0,7 %. Цеховые расходы составили 0,1 % от общей себестоимости производственных затрат.

Условная себестоимость одного грамма черного рения по рассмотренной технологии составляет 175,4 рублей при цене на рынке, равной 260 рублей за чистый перренат аммония. Добавочная стоимость (себестоимость передела без учета затрат на закупку исходного отработанного катализатора) на один грамм выпускаемого полупродукта составила 23 рубля.

## **7 Автоматизация процесса**

### **7.1 Описание схемы автоматизации**

Схема автоматизации выполнена в соответствии с ГОСТ 21.404-85 и приведена в приложении Г (рисунок Г.1).

Внедрение современных методов автоматизации на проектируемом участке дает возможность стабилизировать технологический процесс, сделать его более гибким, безопасным, улучшить качество регулирования, что положительно сказывается на качестве и себестоимости продукции; позволяет освободить рабочего от непосредственного участия в производственных процессах, увеличивая безопасность труда, способствует снижению трудовых затрат обслуживающего персонала, уменьшению численности основных рабочих [47].

Переработка отработанных катализаторов осуществляется с выгрузки исходного сырья из бункера 1 при помощи шнека 2 в туннельную печь 3. Масса исходного сырья измеряется датчиком веса (позиция 1-1). Для окислительного обжига исходное сырье с помощью шнека 2 подается транспортную ленту туннельной печи 3. На валу шнекового питателя 3 установлен преобразователь частот (позиция 2-1) для равномерной подачи исходных веществ. Движение ленты осуществляется с заданной скоростью и начинается после нажатия оператором кнопки на щите. Регулирование степени окисления исходного материала осуществляется кислородом воздуха, расход которого измеряется расходомером (позиция 8-1) и регулируется исполнительным механизмом 9. Процесс обжига ведется в температурном диапазоне от 400 до 600 °С для выжигания органики. Образующиеся печные газы отводятся трубопроводом в заводскую систему газоочистки. Для измерения давления на трубопроводе установлен датчик давления (позиция 7-1). Измерение температуры в печи осуществляется при помощи датчика температуры (позиция 5-1), а регулирование – ТЭНами 6.

Огарки с движущейся ленты высыпаются в приемный бункер 4, оснащенный датчиком веса (позиция 7-1), откуда транспортируются на ленточный фильтр 6 при помощи шнека 5. Равномерность подачи материала регулируется мотор-редуктором 12, связанным с преобразователем частот 11-1. На шнеке 5 установлена рубашка охлаждения для снижения температуры огарков до 25 °С для предупреждения поломки фильтрационной ленты. Охлаждение осуществляется за счет воды, расход которой измеряется расходомером (позиция 14-1) и регулируется вентилем 15. На корпусе шнека 4 установлен датчик температуры (позиция 13-1), который, в случае несоответствия температуры огарков на выходе, будет сигнализировать оператору об этом. Оператор остановит подачу сырья на ленточный фильтр 6.

Пуск ленточного фильтра 6 осуществляется путем нажатия оператором кнопки на щите. Для проведения процесса кислотного выщелачивания с начала на фильтр 6 подается соляная кислота, затем для полного извлечения остатков рения в раствор огарки промываются водой. Количество окислителя и воды измеряется расходомерами (позиция 17-1, 19-1) и регулируются вентилями 18, 20, соответственно. Твердая фаза ссыпается с ленты в приемный бункер 7, оснащенный датчиком веса (позиция 21-1), а кислый раствор сливается в приемную емкость 8, уровень заполнения которой измеряется уровнемером (позиция 22-1) и контролируется вентилем 23. Перед подачей в первую сорбционную/десорбционную колонну 9' раствор необходимо охладить до комнатной температуры. Отслеживание уровня охлаждения раствора осуществляется за счет термометра (позиция 24-1).

Количество подающегося охлажденного ренийсодержащего раствора в первую сорбционную/десорбционную колонну до проскока 9' измеряется расходомером (позиция 25-1), связанным с лопастным центробежным насосом 26. Частично обедненный по рению раствор при помощи центробежного насоса 33 транспортируется во вторую сорбционную/десорбционную колонну до насыщения 9, в которой осуществляется доизвлечение целевого компонента из раствора. По окончании сорбции в первую колонну 9' подается

десорбирующий 5 % раствор аммиака, расход которого измеряется расходомером (позиция 27-1) и регулируется вентилем 28. Десорбирующий раствор из первой колонны 9' центробежным лопастным насосом 32 транспортируется во вторую сорбционную колонну 9 для максимального извлечения рения со смолы. Обедненный раствор самотеком стекает в приемную емкость 10, оснащенную датчиком измерения уровня (позиция 66-1), который регулируется вентилем 67, откуда направляется на подкисление и возврат в технологическое производство. После чего осуществляется промывка колонн водой, расход которой измеряется расходомером 29 и регулируется исполнительным механизмом 30. Технологическая вода подается в первую колонну до проскока 9', откуда при помощи насоса 33 транспортируется во вторую колонну до насыщения 9. После промывки вода объединяется с обедненным раствором и направляется на подкисление для возврата в цикл. Важным показателем является уровень заполнения колонн: если поступающего раствора будет мало, то его не хватит полностью покрыть слой ионита, тем самым содержащийся в растворе рений не будет максимально извлечен из него, также смола будет пересыхать и терять сорбционную способность. Уровень заполнения колонн измеряется уровнемерами (позиция 31-1, 34-1). Необходимое значение концентрации десорбата измеряется при помощи датчика концентрации (позиция 35-1). В случае несоответствия концентрации раствора (малое содержание рения) на выходе из колонны 9, при помощи вентиля 36 останавливают слив раствора в приемную емкость 11. Раствор остается в колонне 9 и донасыщается рением, после чего происходит открытие вентиля 36 и сбор десорбата в приемной емкости 11, уровень заполнения которой отслеживается при помощи уровнемера (позиция 37-1).

Десорбат при помощи насоса 39 подается в выпарной аппарат, состоящий из теплообменника 12' и выносной камеры 12. При достижении аммиачным раствором в выносной камере 12 верхнего значения уровня, измеряемого уровнемером (позиция 38-1), насос 39 подачи раствора

отключается. Для проведения процесса концентрирования аммиачного раствора необходимо поддерживать температуру в греющей камере не более 90 °С. Данное значение температуры поддерживается подачей греющего пара, за которую отвечает вентиль 41 и измеряется датчиком температуры (позиция 40-1). Перед процессом упаривания в десорбат добавляют безводный сульфит натрия вручную, который образует растворимые в воде амминосульфитные комплексы.

При достижении в выпарном аппарате 12 заданного значения концентрации ренийсодержащего раствора, измеряемого датчиком концентрации (позиция 42-1), открывается вентиль 43 и данный раствор самотеком стекает в приемную емкость упаренного раствора 13. Отслеживание уровня заполнения емкости осуществляется за счет уровнемера (позиция 44-1). Если концентрация упаренного раствора мала, происходит перекрытие вентиля 43 и повторное его упаривание. Вакуум в выпарном аппарате 12 создается за счет конденсации вторичных паров, поступающих в низ выпарного аппарата, при их охлаждении водой в барометрическом конденсаторе 14 и отсоса неконденсирующихся газов вакуум-насосом 63. Давление на выходе из барометрического конденсатора измеряется датчиком давления (позиция 50-1). Для исключения попадания в вакуум-насос 63 капель воды перед ним устанавливается ловушка 15. Смесь охлаждающей воды и конденсата выводится из конденсатора 14 при помощи барометрической трубы с гидрозатвором в емкость 19. Для устранения возможного разлива раствора на емкость устанавливается датчик уровня (позиция 60-1), а подача раствора регулируется вентилем 61.

Для выделения из раствора кристаллов черного  $\text{NH}_4\text{ReO}_4$  упаренный раствор транспортируется в кристаллизатор 16. Уровень заполнения которого измеряется уровнемером (позиция 45-1) и регулируется при помощи лопастного центробежного насоса 46, усиливающего или уменьшающего подачу сконцентрированного раствора. Аппарат оснащен якорной мешалкой, приводящуюся в движение от нажатия оператором кнопки на пульте. Процесс

ростообразования кристаллов начинается при температуре 20 °С. Для создания данных условий аппарат оснащен охлаждающей рубашкой с водяным агентом. В кристаллизатор 16 параллельно добавляется раствор  $\text{CaCl}_2$ , расход которого измеряется расходомером (позиция 48-1) и регулируется вентилем 49. Снижение температуры до 20 °С осуществляется за счет термометра (позиция 51-1). Тогда оператор вручную перекрывает вентиль подачи охлаждающей воды. Параллельно открывается вентиль 52 и раствор подается на горизонтальный центробежный насос 54.

Как только расходомер (позиция 53-1) начал показывать движение пульпы по трубопроводу, происходит включение барабанно-вращающегося фильтра 17 от нажатия оператором кнопки на пульте. На фильтре установлен датчик уровня (позиция 56-1), связанный с горизонтальным центробежным насосом 54, регулирующий уровень заполнения корыта фильтра. Содержимое фильтра промывается двухкратным объемом воды, расход которой измеряется расходомером (позиция 64-1) и регулируется вентилем 65. Твердый остаток черновых кристаллов перрената аммония срезается с ленты барабана и ссыпается в приемный бункер 18. Масса контролируется установленным на бункере приема датчиком массы (позиция 57-1). Маточный раствор самотеком стекает в приемную емкость 23, снабженную датчиком уровня (позиция 58-1), во избежание разлива раствора, вследствие переполнения емкости. Далее раствор при помощи лопастного насоса 59 транспортируется на участок сорбционного извлечения.

## **7.2 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации**

Контролю подлежат следующие параметры:

– расход жидких реагентов, поступающих в аппараты, технологической воды на охлаждение, воздуха в туннельной печи и греющего пара в выпарном аппарате, температура огарков на входе на ленточный фильтр;

– температура в туннельной печи, температура соляной кислоты на входе на ленточный фильтр, температура в выпарном аппарате, температура огарков на входе на ленточный фильтр;

– частота вращения шнековых транспортеров;

– концентрация раствора на выходе из сорбционной/десорбционной колонны и выпарного аппарата;

– уровень раствора в сборниках растворов, и аппаратах;

– масса продуктов в приемных и разгрузочных емкостях;

– давление в вакуумной линии.

Регулированию подлежат следующие параметры:

– концентрация раствора на выходе из сорбционной/десорбционной колонны и выпарного аппарата;

– уровень раствора в сборниках растворов, и аппаратах;

– масса продуктов в приемных и разгрузочных емкостях;

– температура огарков на входе на ленточный фильтр;

– давление в вакуумной линии.

Сигнализации подлежат следующие параметры:

– концентрация раствора на выходе из сорбционной/десорбционной колонны и выпарного аппарата;

– уровень раствора в сборниках растворов, и аппаратах;

– масса продуктов в приемных и разгрузочных бункерах;

– температура огарков на входе на ленточный фильтр;

– давление в вакуумной линии.

### **7.3 Подбор контрольно-измерительных приборов**

Основные характеристики датчиков и преобразователей, используемых в проектируемом цехе, представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Характеристики датчиков и преобразователей

Позиция	Название	Параметры
21-1, 22-1, 31-1, 34-1, 37-1, 38-1, 44-1, 45-1, 58-1, 60-1, 62-1, 66-1	Ультразвуковой уровнемер, РусАвтоматизация, модель EchoTREK	Точность измерения $\pm 0,2$ %; Диапазон измерения до 25 м; Диапазон рабочих температур от $-30$ до $+100$ °С; Рабочее давление: от 0,5 до 3 бар; Сигнальный выход от 4 до 20 мА; Реле SPDT AC 250 В /3 А и SPDT DC 30 В/1 А; Погрешность 0,02 %; Взрывозащищенное исполнение
1-1, 21-1, 57-1	Тензорезисторный датчик веса, Тензом, модель Т4	Диапазон измерения от 5 до 1000 кг; Погрешность 0,04 %; Диапазон рабочих температур от $-20$ до $+90$ °С; Защита IP 68; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В; Номинальное значение до 300 кг
10-1	Тензорезисторный датчик веса, Уралвес, модель К-С-18Д	Диапазон измерения от 10 до 1000 кг; Погрешность 0,02 %; Диапазон рабочих температур от $-30$ до $+500$ °С; Выходной сигнал от 5 до 25 мА, от 0 до 15 В; номинальное значение до 300 кг
2-1, 11-1	Преобразователь частот, PROSTAR, модель PR6000	Сетевое напряжение 380 В; Диапазон мощностей от 0,75 до 315 кВт; Выходная частота от 0 до 400 Гц; Тип защиты IP 20
5-1	Термометр сопротивления цифровой, НПО Промавтоника, модель ТЦЩ-5	Диапазон температур от 0 до $+1000$ °С; Защита IP 54; Точность $\pm 0,5$ К; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В; Погрешность в 1 °С
13-1, 24-1, 40-1, 51-1	Термометр сопротивления, Пульсар, модель Pt100	Диапазон температур от 0 до $+180$ °С; Платиновое сопротивление (Pt100); Защита IP 54; Точность $\pm 0,2$ К; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В; Погрешность в 1 °С
50-1	Датчик разрежения (вакууметрического давления), Метроник, модель Курант ДР	Диапазон температур от $-40$ до $+80$ °С; Рабочее давление от $-0,16$ до $-100$ кПа; Выходной сигнал от 4 до 20 мА (2-х проводная линия) или от 0,5 до 0,20 мА (3-х проводная линия); Погрешность 1 %; Точность измерения $\pm 0,5$ %; Защита IP65
7-1	Датчик давления, Овен, ПД111-ДИ	Рабочее давление от 16 кПа до 25 МПа; выходной сигнал от 4 до 20 мА; Погрешность 1 %; Точность измерения $\pm 0,5$ %; Защита IP65
35-1, 42-1	Концентратомер, ЦентрРосОборудование, модель АЖК-3101.К	Диапазон температур от 5 до $+100$ °С; Рабочее давление не более 1,6 МПа; Выходной сигнал от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА; Погрешность 2 %; Точность измерения $\pm 0,2$ %
14-1, 17-1, 19-1, 25-1, 27-1, 29-1, 48-1, 53-1, 64-1	Вихревой расходомер, ЭМИС, модель ВИХРЬ 205	Погрешность $\pm 1,5$ % при измерении расхода жидкостей, 2,5 % – расхода газа; Рабочее давление до 25 МПа; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, частотный до 10000 Гц; Защита IP67; Диапазон рабочих температур от $-40$ до $+250$ °С.

## **Вывод по главе 7**

При разработке системы автоматического регулирования для цеха получения перрената аммония из отработанных катализаторов, производительностью 200 т/год по исходному сырью, были определены параметры технологического процесса, подлежащие контролю, регулированию и сигнализированию.

Был разработан проектный документ – функциональная схема автоматизации, позволяющая определить структуру и связи между технологическим процессом и средствами контроля и управления. Были подобраны первичные преобразователи, основные характеристики которых удовлетворяют специфике рассматриваемого технологического процесса: высокий температурный диапазон (на стадии окислительного обжига), агрессивная кислая среда ренийсодержащего раствора. Низкие погрешности измерения контролируемых параметров позволяют осуществлять считывание информации измерительными приборами с наивысшей точностью.

## Список публикаций

1. Эдокова А. Ю. Исследование процесса ионообменной сорбции вольфрамат-иона на смоле АВ 17 – 8 / А. Ю. Эдокова, Ю.П. Шестакова; науч. рук. А. Д. Киселёв // 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. 145 – 147.

2. Шестакова Ю.П. Аммонийное выщелачивание вольфрамсодержащего продукта, полученного с использованием фтораммонийной технологии / Ю.П. Шестакова, А. Ю. Эдокова; науч. рук. А. Д. Киселёв // 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. 153 – 154.