

**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»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

| Тема работы   |
|---|
| <b>Исследование процесса кучного обогащения титаномагнетитовой руды</b> |

УДК 661.88:622.7:622.342/349.001.5632

Студент

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 0422   | Медведев Родион Олегович |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Сачкова А.С. | к.б.н., доцент         |         |      |

**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.

**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:

|                  |
|------------------|
| дипломной работы |
|------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                      |
|--------|--------------------------|
| 0422   | Медведев Родион Олегович |

Тема работы:

|  |                     |
|--|---------------------|
| Исследование процесса кучного обогащения титаномагнетитовой руды |                     |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                      | 8796/с от 3.11.2017 |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 30.12.2017 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Исходные данные к работе</b><br/><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Необходимо исследовать возможность обогащения титаномагнетитовой руды методом кучного выщелачивания. Титаномагнетит – перспективный источника титана, ванадия и железа. Задачи: Изучить физико-химические свойства, минералогический, химический и фазовый состав титаномагнетитовой руды; исследовать закономерности взаимодействия компонентов титаномагнетитовой руды с реагентами выщелачивающего раствора; предложить возможные технологические схемы реализации процесса гидromеталлургического обогащения титаномагнетитового рудного сырья.</p> |
|--|--|

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>                 | <p><b>1. Введение</b><br/> <b>2. Обзор литературы</b><br/> <b>3. Объект и методы исследования</b><br/> 3.1. Объект исследования<br/> 3.2. Описание экспериментальных установок<br/> 3.3. Методики проведения исследований<br/> 3.4. Приборы и методы анализа<br/> <b>4. Результаты проведенного исследования</b><br/> <b>5. Расчеты и аналитика</b><br/> 5.1. Теория процесса (термодинамика, кинетика)<br/> 5.2. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.<br/> 5.3. Расчет материального баланса исследуемого процесса<br/> 5.4. Расчет теплового баланса исследуемого процесса<br/> 5.5. Расчет основного аппарата.<br/> 5.5.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата.<br/> 5.5.2. Механический расчет основного аппарата.<br/> 5.5.3. Гидравлический расчет основного аппарата.<br/> 5.5.4. Энергетический расчет основного аппарата.<br/> <b>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b><br/> <b>7. Социальная ответственность</b><br/> <b>8. Автоматизация процесса</b><br/> <b>9. Заключение</b><br/> <b>10. Список использованных источников</b></p> |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>1. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83)<br/> 2. Аппаратурно-технологическая схема<br/> 3. Презентация Power Point Presentation</p>  |

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

| Раздел  | Консультант   |
|---|---|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | к.ф.н., доцент кафедры менеджмента <b>Тухватулина Л.Р.</b>      |
| Социальная ответственность                                      | ассистент кафедры ХТРЭ <b>Акимов Д. В.</b>                      |
| Автоматизация процесса  | к.т.н., доцент кафедры ЭАФУ, <b>Вильнина А. В.</b>              |
| Нормоконтролер  | к.т.н., старший преподаватель кафедры ХТРЭ, <b>Петлин И. В.</b> |

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

Все разделы должны быть написаны на русском языке. Реферат – на русском и английском языках.

|  |                   |
|--|-------------------|
| <p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p> | <p>16.10.2017</p> |
|--|-------------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность           | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ХТРЭ | Сачкова А.С. | к.б.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 0422   | Медведев Родион Олегович |         |      |

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 240601**  
**«Химическая технология материалов современной энергетики»,**  
**специалитет**

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   |
|-------------------------------------|---|
| <i>Профессиональные компетенции</i> |   |
| P1                                  | Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности   |
| P2                                  | Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики  |
| P3                                  | Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат   |
| P4                                  | Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО   |
| P5                                  | Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших 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   |

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 88 с., 8 рис., 30 табл., 78 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: титаномагнетит, фторид аммония, перколяционное обогащения, перколятор, кучное выщелачивание.

Объектом исследования является гидрометаллургическая технология обогащения титаномагнетитовой руды Чинейского месторождения.

Предметом исследования является – титаномагнетитовая руда.

Цель работы – исследовать возможность комплексной гидрометаллургической переработки титаномагнетитовой руды Чинейского месторождения.

В процессе работы подбирали оптимальные концентрации выщелачивающих реагентов. Исследовали состав руды и её физические свойства.

Сделаны расчеты материального и теплового балансов проведения опытно-промышленных испытаний методом перколяции. В результате работы показана оптимальная концентрация фторида аммония и разработана установка для проведения испытаний в опытно-промышленных масштабах.

Представленная технология может быть использована для переработки титаномагнетитовых руд с высоким содержанием титана и при проведении опытно-промышленных испытаний на предприятии ОАО «Забайкалстальинвест».

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

### **Нормативные ссылки.**

В настоящей дипломной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 4518-75. Реактивы. Аммоний фтористый. Технические условия.
2. ГОСТ 10484-78. Реактивы. Кислота фтористоводородная. Технические условия.
3. ГОСТ 3760-79. Реактивы. Аммиак водный. Технические условия.
4. ГОСТ 9147-80. Посуда и оборудование лабораторные фарфоровые. Технические условия.
5. ГОСТ 25336-82. Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры.
6. ГОСТ 22524-77. Пикнометры стеклянные. Технические условия.
7. ГОСТ 1770-74. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия.
8. ГОСТ 27562-87. Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Определение гранулометрического состава методом ситового анализа.
9. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
10. ГОСТ 12.0.003. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
11. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
12. СНиП 41–01. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

13. ГОСТ 12.4.121. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Противогазы фильтрующие. Общие технические условия.
14. ГОСТ 27651-88. Костюмы женские для защиты от механических воздействий, воды и щелочей. Технические условия.
15. ГОСТ 27653-88. Костюмы мужские для защиты от механических воздействий, воды и щелочей. Технические условия.
16. ГОСТ 20010-93. Перчатки резиновые технические. Технические условия.
17. ГОСТ Р 12.4.013-97. Система стандартов безопасности труда. Очки защитные. Общие технические условия.
18. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования.
19. ГОСТ 12.4.275-2014. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Методы испытаний.
20. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
21. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
22. ГОСТ ИЕС 61140-2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования.
23. ГОСТ 12.4.307-2016 Система стандартов безопасности труда. Перчатки диэлектрические из полимерных материалов. Общие технические требования и методы испытаний.
24. ГОСТ 13385-78 Обувь специальная диэлектрическая из полимерных материалов. Технические условия.
25. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.



## **Обозначения и сокращения.**

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ТБ – техника безопасности;

ИТР – инженерно-технический работник;

ОТ – охрана труда.

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 12 |
| 1 Обзор литературы .....  | 14 |
| 1.1 Титаномагнетитовые руды.....  | 14 |
| 1.2 Комплексная переработка ванадийсодержащих титаномагнетитов.....                     | 19 |
| 1.2.1 Пирометаллургическая схема переработки.....                                       | 19 |
| 1.2.2 Гидрометаллургическая схема переработки .....                                     | 24 |
| 2 Объект и методы исследования .....  | 26 |
| 2.1 Объект исследования .....   | 26 |
| 2.2 Описание экспериментальных установок .....  | 26 |
| 2.3 Методика проведения исследования.....   | 27 |
| 2.4 Приборы и методы анализа.....   | 29 |
| 3 Результаты проведенного исследования .....  | 30 |
| 3.1. Состав титаномагнетитовой руды .....   | 30 |
| 3.2 Изучение физических характеристик руды.....   | 33 |
| 3.3. Влияние концентрации выщелачивающих реагентов на эффективность<br>переработки..... | 34 |
| 4 Расчеты и аналитика .....   | 37 |
| 4.1 Теория процесса .....   | 37 |
| 4.2 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. ....                       | 37 |
| 4.3 Материальный расчет .....   | 39 |
| 4.4 Тепловой баланс .....   | 42 |
| 4.5 Расчёт основного аппарата.....  | 47 |
| 4.5.1 Расчёт геометрии и габаритов основного аппарата.....                              | 47 |
| 4.5.2 Механический расчёт основного аппарата.....                                       | 48 |
| 4.5.3 Гидравлический расчет основного аппарата.....                                     | 51 |
| 4.5.4 Энергетический расчет основного аппарата .....                                    | 53 |
| 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 54                   |    |
| 5.1 Определение баланса времени одного рабочего.....                                    | 54 |
| 5.2 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих участка ...                 | 57 |
| 5.3 Расчёт годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих<br>участка.....      | 59 |
|   | 10 |

|  |    |
|--|----|
| 5.4 Расчёт капитальных затрат.....   | 59 |
| 5.5 Потенциальные потребители результатов исследования .....                                     | 62 |
| 6 Социальная ответственность .....   | 63 |
| 6.1 Описание технологического процесса и оборудования.....                                       | 63 |
| 6.2 Анализ выявленных вредных факторов в цехе .....  | 64 |
| 6.2.1 Опасность поражения химически токсичными веществами .....                                  | 64 |
| 6.2.2 Микроклимат .....  | 65 |
| 6.2.3 Производственное освещение.....  | 66 |
| 6.2.4 Шум .....  | 67 |
| 6.3 Анализ выявленных опасных факторов в цехе .....  | 67 |
| 6.3.1 Электробезопасность .....  | 67 |
| 6.3.2 Пожарная безопасность .....  | 68 |
| 6.4 Охрана окружающей среды .....  | 70 |
| 6.5 Защита в чрезвычайных ситуациях .....  | 70 |
| 7. Автоматизация процесса .....  | 72 |
| 7.1 Описание функциональной схемы автоматизации.....   | 72 |
| 7.2 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю,<br>регулированию, сигнализации..... | 74 |
| 7.3 Подбор контрольно-измерительных приборов .....   | 75 |
| 7.4 Заключение по разделу .....  | 77 |
| Заключение .....   | 78 |
| Список публикаций студента.....  | 79 |
| Список использованных источников .....   | 80 |
| Приложение А   |    |

Графический материал на отдельных листах:

ДП ФЮРА.066713.001 Сборочный чертеж

ДП ФЮРА.066713.002 Аппаратурно-технологическая схема

ДП ФЮРА.066713.003 Спецификация

## Введение

Титаномагнетитовые руды – важный источник титана, ванадия и железа. Во многих странах мира они довольно широко распространены. Запасы титаномагнетитовых руд коренных месторождений значительны и достигают нескольких миллиардов тонн [1]. В России существует более 40 разведанных месторождений руд этого типа (Урал, Сибирь, Дальний Восток, Карелия, Кольский полуостров) [1].

Важным фактором, в значительной степени способствовавшим вовлечению титаномагнетитовых руд в промышленную переработку, стало присутствие в них оксидов ванадия, обычно в количестве от 0,1 до 1,5 %  $V_2O_5$ , и возможность его попутного извлечения [2]. В настоящее время титаномагнетиты используют в качестве сырья в черной металлургии для производства качественных сталей и феррованадия. Крупные металлургические предприятия в основном перерабатывают бедные по диоксиду титана титаномагнетитовые руды или используют их в качестве добавок, в связи со сложностью переработки руд с содержанием титана свыше 4 %. Проблема их переработки заключается в снижении производительности обычных методов металлургической доменной плавки [2].

В России ввиду постепенного истощения запасов магнетитовых руд предполагается начать использование в металлургии руды соотношением  $Fe/TiO_2 = (2\div 8)/1$ . С поэтапным вовлечением в металлургическую переработку титанистого железорудного сырья, вопрос максимального извлечения в товарные продукты не только железа и ванадия, но и титана представляется все более актуальным.

Целью данной работы является исследование возможности комплексной гидрометаллургической переработки титаномагнетитовой руды Чинейского месторождения.

### Задачи работы:

- исследовать влияние концентрации фторида аммония на процесс;
- произвести измерения физических характеристик руды;
- разработать технологическую схему опытно-промышленной установки для исследований возможности переработки титаномагнетита методом кучного выщелачивания;
- рассчитать затраты на проведения испытаний титаномагнетита Чинейского месторождения.

## **1 Обзор литературы**

Титан является одним из наиболее распространенных химических элементов как по содержанию в земной коре, так и по наличию минералов этого металла в разнообразных горных породах [3]. Благодаря хорошему сочетанию механических и технологических свойств, а также высокой коррозионной стойкости титан находит широкое применение в самых различных отраслях промышленности, таких как, авиационное, ракетное машиностроение, морское судостроение и др. Технический титан идет на изготовление емкостей, химических реакторов, трубопроводов, арматуры, насосов, клапанов и других изделий, работающих в агрессивных средах [4]. Использование титана в производстве является показателем уровня экономического развития, степени использования высоких технологий и обеспечения на высоком уровне обороноспособности страны [4]. В России самой большой компанией, занимающейся получением титана, является «ВСМПО-Ависма». Она считается крупнейшим поставщиком титана в мире. Компания производит пятую часть от металлического титана, однако мировое потребление металла выглядит иначе: около 5 % расходуется на изделия и приготовление сплавов, а 95 % – на получение диоксида. В 2015 году «ВСМПО-Ависма» реализовала 28672 тонн титана [5].

### **1.1 Титаномагнетитовые руды**

Ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды считаются одним из наиболее перспективных видов нетрадиционных руд и важным источником титана, ванадия и железа [2,6]. Содержание этих компонентов в руде является достаточным для промышленного извлечения и может широко варьироваться [7].

Титаномагнетитовые руды содержат около 6,5 % доказанных запасов железной руды, более 90 % запасов  $V_2O_5$  и около 60 % запасов  $TiO_2$ . В России

запасы  $V_2O_5$  и  $TiO_2$  составляют 80 % и 18,54 %, соответственно. Мировые общие запасы титаномагнетитов составляют десятки миллиардов тонн [6, 7] и около 50 % запасов железной руды этого типа принадлежат Российской Федерации. Более 40 месторождений в России обнаружены и оценены в разной степени. В настоящее время все эксплуатируемые ранее месторождения остались на Украине, поэтому создание и развитие горнодобывающей титановой промышленности позволит обеспечить экономическую самостоятельность Российской Федерации [4].

Из титановых минералов наибольшее промышленное значение имеют ильменит, титаномагнетит и рутил [10]. Ильменит генетически часто связан с титаномагнетитами. Магнетит ( $Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4$ ) является главной рудой для железа. Состав его очень сложен, всегда есть изоморфные примеси разных элементов: титана, алюминия, магния, хрома, ванадия, марганца и т.д. [10]. В минерале при высоких температурах  $Fe(II)$  может замещаться на титан, а  $Fe(III)$  – на ванадий [11], именно таким образом образуются ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды.

Классификация титаномагнетитовой руды по содержанию  $TiO_2$  состоит из трех разновидностей: малотитанистая (от 1 до 4 %), среднетитанистая (от 5 до 9 %) и высокотитанистая (от 10 до 20 %  $TiO_2$ ) [1].

Начиная со второй половины XX века, титаномагнетитовые руды многих месторождений стали расцениваться как один из ведущих промышленных типов железорудного и ванадиевого сырья, а отдельные типы этих руд – как важный источник получения титана [12]. Титаномагнетитовые руды во многих странах мира пользуются довольно широким распространением (РФ, ЮАР, Танзания, Норвегия, Швеция, США и др.). Запасы титаномагнетитовых руд коренных месторождений значительны и могут достигать нескольких миллиардов тонн. В России резервы этих руд также весьма внушительны (Урал, Сибирь, Дальний Восток, Карелия, Кольский п-ов). Крупные месторождения титаномагнетита давно известны на Урале (Гусевогорское, Качканарское и др.). Месторождения

титаномагнетитовых руд магматической формации, учитываемы Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2006 г. по железным рудам, титану и ванадию представлены в таблице 1.1 [13]. Знаком «+» отмечены компоненты, которые содержатся в руде в промышленных концентрациях.

Таблица 1.1 – Месторождения титаномагнетитовых руд

| Месторождение                             | Fe | Ti | V |
|---|----|----|---|
| Пудожгорское (№4, Рисунок 1.1)            | +  |    | + |
| Собственно-Качканарское (№6, Рисунок 1.1) | +  |    |   |
| Гусевогорское (№7, Рисунок 1.1)           | +  |    | + |
| Первоуральское (№12, Рисунок 1.1)         | +  |    | + |
| Висимское (№5, Рисунок 1.1)               | +  |    |   |
| Гора Малый Куйбас (№11, Рисунок 1.1)      | +  |    |   |
| Чинейское (№20, Рисунок 1.1)              | +  | +  | + |
| Медведевское (№8, Рисунок 1.1)            |    | +  |   |
| Куранахское (№19, Рисунок 1.1)            |    | +  |   |
| Копанское (№13, Рисунок 1.1)              |    | +  |   |
| Кручинское (№22, Рисунок 1.1)             |    | +  |   |

Как видно из таблицы Чинейское месторождения содержит железо, титан и ванадий в промышленных концентрациях. Размещение месторождений, представленных в таблице 1.1, титаномагнетитовых руд на территории России представлены на рисунке 1.1.





Рисунок 1.1 – Размещение месторождений титаномагнетитовых руд на территории России

С 1963 г. на базе Гусевогорского месторождения работает крупнейший в Европе Качканарский Горно-обогатительный комбинат (ГОК) [14]. Извлекаемый на обогатительной фабрике Качканарского ГОКа титаномагнетитовый концентрат является главным сырьем для ванадия в РФ и странах СНГ [14]. Месторождения титаномагнетитовых руд имеют преимущественно магматическое происхождение, пространственно-генетически связаны с ультрамафитами и мафитами в основном нормального ряда [14].

Одним из перспективных месторождений титаномагнетитовых руд является Чинейское (Рисунок 1.2), участок «Магнитный».



Рисунок 1.2 – Местоположение Чинейского месторождения

Чинейское рудное поле – уникальный объект Северного Забайкалья, характеризующийся разнообразием и богатством эндогенного оруденения. В настоящее время залежи Чинейского поля рассматриваются как источник многих рудных элементов [15]. Содержание и запасы данных компонентов в рудах выводят данное месторождение в разряд уникальных. По запасам ванадия оно является самым крупным месторождением мира, при этом около 75 % запасов могут быть отработаны открытым способом [16].

Участок «Магнитный» месторождения является юго-восточной частью Чинейского габбронорит-анортозитового интрузива. Вмещающие породы Чинейского месторождения представлены доломитами, известняками, песчаниками, ороговикованными и скарнированными алевролитами. Кроме титаномагнетита в породах и рудах Чинейского массива изредка встречается магнетит, образующий рассеянные зерна в ассоциации с новообразованным ильменитом или пиритом. Ильменит также образует сложные сростания с титаномагнетитом, часто отличается небольшими размерами при низком содержании в рудах, что не позволяет получать в достаточном количестве самостоятельный ильменитовый концентрат хорошего качества по классическим технологиям [17]. Второстепенные минералы представлены пиритом, халькопиритом, пирротинном, реже пентландитом. Разнообразен состав акцессорных

минералов: миллерит, кобальтин, линнеит, кубанит, герсдорфит, виоларит, потарит, гопеит, мелантерит, краузит, ванденбрандеит, целлерит, ретгерсит. Общее число минералов-примесей составляет не более 2 %. Из нерудных минералов в составе ильменит-титаномагнетитовых руд установлены пироксен и плагиоклаз [15]. Рудные элементы, которые являются попутными компонентами ванадиеносных ильменит-титаномагнетитовых руд, представлены цветными (Cu, Ni, Co) и благородными (Pt, Pd, Au, Ag) металлами. Содержание меди достигает 0,4 мас. %, никеля – 0,078 мас. %, кобальта – 0,028 мас. %, платины - 2,7 г/т, палладия – 0,83 г/т, золота – 0,5 г/т, серебра – 2 г/т. Наибольшие содержания элементов платиновой группы характеризуют бедные вкрапленные, а золото – богатые сплошные руды. Основным минералом-концентратом примесей цветных и благородных металлов является халькопирит. Значительная часть кобальта и золота связана с пиритом, а палладия – с пирротинном [15, 18].

## **1.2 Комплексная переработка ванадийсодержащих титаномагнетитов**

К настоящему времени в мировой практике сформировались два основных способа комплексной переработки ванадийсодержащих титаномагнетитов с извлечением ванадия: пирометаллургический и гидрOMETаллургический [19, 20]. Наибольшее распространение получила первая схема, предусматривающая многостадийную переработку сырья до стали по традиционным металлургическим переделам с попутным извлечением ванадия [19].

### **1.2.1 Пирометаллургическая схема переработки**

Крупные металлургические предприятия в основном перерабатывают бедные по диоксиду титана титаномагнетитовые руды или используют их в

качестве добавок, в связи со сложностью переработки руд с содержанием титана свыше 4 %. Аномальное поведение по сравнению с оксидами других химических элементов при восстановительной проплавке сырья, значительно затрудняет процессы выплавки чугуна, особенно в доменных печах большого объема [21, 22]. По современным представлениям, трудности проплавки титаномагнетитового и ильменит-титаномагнетитового сырья в доменных печах обусловлены не столько влиянием оксидов титана на вязкость шлака (которая при температуре от 1450 до 1550 °С может быть даже ниже, чем при выплавке предельного чугуна), сколько специфическими свойствами шлаковых расплавов, содержащих диоксид титана  $TiO_2$  [22, 23]. В условиях промышленных доменных печей эти свойства приводят к развитию целого ряда негативных для технологии плавки процессов: ухудшается дренаж продуктов доменной плавки в горне, на стенках горна отлагаются неплавкие массы, присутствие карбонитридов и их комплексов в продуктах плавки повышает их вязкость за счет образования гетерогенных систем [19].

Впервые промышленную переработку титаномагнетитовых руд в доменных печах начали осуществлять в первой половине XIX века на металлургических заводах в США и в Швеции, а затем и в других странах [22]. Однако освоение процессов доменной плавки титаномагнетитов, особенно в печах крупного объема, сопровождалось значительными технологическими осложнениями. Их объясняли, прежде всего, повышенной тугоплавкостью титанистых шлаков, образующихся при восстановительной проплавке сырья. Многочисленные промышленные эксперименты, а затем и производственная практика показали, что титаномагнетиты, по сравнению с передельным железорудным сырьем, представляют собой весьма трудный объект для металлургии [21].

Известны и в настоящее время успешно реализуются при переработке титаномагнетитов два технологических варианта пирометаллургической схемы: коксодоменная и бескоксая [19].

Коксодоменные варианты пирометаллургической схемы включают, как правило, ряд последовательных этапов [8]:

- Добыча, дробление, измельчение и обогащение ванадийсодержащей титаномагнетитовой руды с получением железованадиевых концентратов;
- Окускование (при необходимости) концентрата с получением агломерата и/или окатышей;
- Восстановительная проплавка окускованного сырья в доменной печи с получением ванадиевого чугуна и известково-титанистого шлака;
- Окислительная обработка ванадиевого чугуна в конвертере при температуре не выше 1450 °С с получением углеродистого металлического полупродукта и кондиционного малоизвесткового низкофосфористого ванадиевого шлака;
- Передел металлического полупродукта на сталь, как правило, в кислородном конвертере с добавлением необходимого количества извести и других шлакообразующих материалов для обеспечения требуемой степени дефосфорации и десульфурации металла.

Действующая в России коксодоменная схема переработки качканарских титаномагнетитов с получением стали и извлечением ванадия представлена на рисунке 1.3.

В случае переработки высокотитанистого сырья для сдерживания восстановления титана в доменной печи несколько снижают температуру чугуна и увеличивают содержание оксидов железа в шлаке. В результате технологическое извлечение ванадия из исходных материалов в чугун несколько уменьшается (до 65 %) [19].

При работе по бескоксовым технологическим схемам железорудный концентрат или окускованное сырье подвергают предвосстановлению. Последующую выплавку ванадиевого чугуна осуществляют в руднотермических электропечах. Чугун перерабатывают дуплекс-

процессом: проводят деванадацию чугуна в ковше при температуре не выше 1450 °С, отделяют малоизвестковый ванадиевый шлак и затем направляют полупродукт на производство стали в кислородных конвертерах [8, 9].



Рисунок 1.3 – Коксодоменная схема переработки качканарских титаномагнетитов

Существует способ переработки титаномагнетитовых руд [24], состоящий из подогрева шихты перед загрузкой в плавильную камеру отходящими из плавильной камеры газами, имеющими температуру в

интервале от 1850 до 1900 °С, загрузки шихты в плавильную камеру со скоростью от 0,5 до 1,5 тонны в час на 1 МВт тепловой мощности топливо-кислородных горелок, отапливающих плавильную камеру, загрузки углеродистого восстановителя в количестве от 20 до 21 % углерода от массы оксидов железа шихты кусками на поверхность расплава и в количестве от 4 до 5 % углерода от массы оксидов железа шихты вдувают в виде порошка инжекторами в расплав. Выдержку расплава делают после наплавления полной ванны и прекращения загрузки шихты на 12 минут, продолжая вводить углеродистый восстановитель в расплав инжекторами. Закончив выдержку, сливают отдельно из плавильной камеры от 50 до 70 % титанистого шлака и от 60 до 75 % накопившегося чугуна, после этого возобновляют загрузку шихты [24].

Недостатком представленного выше способа являются большие материальные и энергетические затраты на переработку титаномагнетита и значительное содержание титана в чугуне, что ухудшает его качество и снижает цену.

В качестве примера варианта комплексной переработки титаномагнетитов как железо-титан-ванадиевого сырья можно назвать использование руд Кусинского месторождения, введенного в эксплуатацию в 1930-е годы. При обогащении этих руд получали магнетитовый и ильменитовый концентраты. Магнетитовый концентрат направлялся в аглодомное производство Чепецкого механического завода (ЧМЗ, г. Глазов) с получением ванадиевого чугуна и его переработкой на сталь с попутным извлечением ванадия, а ильменитовый концентрат применяли для получения пигментного диоксида титана [8].

Известен способ переработки ванадийсодержащих титаномагнетитовых концентратов [25], в ходе которого получают окатыши из смеси титаномагнетитового концентрата с твердыми углеродсодержащими и кальцийсодержащими материалами и со связующим. Далее осуществляют металлизацию в печи с вращающимся подом с

завершением процесса при температуре 1540°C для плавления и коагуляции металлического железа и образования титанованадиевого шлака, в котором содержание FeO и соотношение CaO/SiO<sub>2</sub> поддерживают в пределах от 8 до 25 % и от 1,25 до 4,00 % соответственно. Способ позволяет получить железные гранулы с низким содержанием углерода (от 0,01 до 0,05 %) и титанованадиевый шлак с высокой степенью (от 95 до 99 %) извлечения ванадия из концентрата [25].

Недостаток – неэкономичность и неэффективность, обусловленные технологией: плавление продуктов металлизации – восстановленного железа и образовавшегося шлака, а также проведение операций охлаждения, дробления металлизированных окатышей и отделение металла от шлака в твердом состоянии.

### **1.2.2 Гидрометаллургическая схема переработки**

Гидрометаллургическая схема предполагает химическое извлечение ванадия непосредственно из титаномагнетитового концентрата или окатышей. Ванадий в этих материалах находится в практически малорастворимом в водных средах трехвалентном состоянии, поэтому сначала организуют окислительный обжиг измельченной руды или окатышей в смеси с реакционными добавками для перевода ванадия в растворимую пентавалентную форму. Затем осуществляют выщелачивание ванадия в растворы, осаждение его в виде метаванадата аммония NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>, поливанадатов аммония или других ванадатов, и прокалку ванадатов с последующим получением чистого пентаоксида ванадия. Гидрометаллургический способ может в принципе применяться ко многим рудам, однако он оказался экономически эффективен только для переработки титаномагнетитового сырья с повышенным содержанием оксидов ванадия и пониженным оксидов кальция и кремния [19].



Уралмеханобр разработал гидрометаллургическую технологию извлечения ванадия из титаномагнетитовых чинейских концентратов с получением чистого пентаоксида ванадия. Так, был испытан чинейский концентрат следующего химического состава, %: 57,2 Fe<sub>общ</sub>; 11,70 TiO<sub>2</sub>; 1,23 V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,60 SiO<sub>2</sub>; 0,30 CaO. Благодаря низкому содержанию в чинейских концентратах оксидов кальция и кремния расход щелочных соединений был относительно невысокий – около 50 кг/т концентрата. Извлечение ванадия в водный раствор (вскрытие ванадия) составляло в пределах 75 % [26]. Гидрометаллургическую схему экономически целесообразно применять при условии содержания в титаномагнетитовом концентрате [19]:

- менее 0,5 % CaO – чтобы не допускать образования труднорастворимых ванадатов кальция;

- менее 1,0 % SiO<sub>2</sub> – для исключения спекания шихты (при ее окислительном обжиге) из-за образования значительных количеств силикатов натрия; снижение же температуры обжига ведет к уменьшению степени окисления ванадия и выхода его растворимых соединений.

Также в работе W.Н. Хiao и др. [27] исследовался способ переработки ванадийсодержащего титаномагнетита путем выщелачивания руды соляной кислотой при нагревании. Недостатком метода является многостадийность и высокие энергетические затраты при обработке большого количества руды.

Известен также способ экстракции ванадия из раствора выщелачивания соляной кислоты, в которых содержание ванадия находится на низком уровне, но с высокими концентрациями железа и примесей Ca, Mg и Al [28].

Особый интерес представляет фторидный гидрометаллургический способ обогащения титаномагнетитовой руды [30]. Метод основан на выщелачивании титаномагнетитовой руды соединениями содержащими ионы аммония ((NH<sub>4</sub>)<sup>+</sup>) и фтора (F<sup>-</sup>). Метод позволяет произвести комплексную переработку титаномагнетитовой руды, а также получение железного и титано-ванадиевого концентрата хорошего качества [30].

## **2 Объект и методы исследования**

### **2.1 Объект исследования**

В исследованиях использовали образцы титаномагнетитовой руды участка «Магнитный» Чинейского месторождения Читинской области. Руда представляла собой кусковой материал крупностью -100 мм. В качестве выщелачивающих реагентов использовали фторид аммония ЧДА [31], кислота фтористоводородная ЧДА [32], аммиак водный ЧДА [33].

### **2.2 Описание экспериментальных установок**

Дробление руды осуществляли на вибрационной конусной мельнице-дробилке ВКМД-10 (Россия). Гранулометрический состав руды определяли на анализаторе ситовом вибрационном АСВ-500 в комплекте с ситами (Россия). Массы образцов измерялись аналитическими весами AND HR-250AZ.

Выщелачивание в агитационном режиме проводили в агитаторах из полиэтилена объемом 1000 мл при постоянном механическом перемешивании с помощью мешалки Senco S312-120 (Китай) при комнатной температуре (рисунок 2.1). Разделение твердой и жидкой фракций проводилось с помощью воронки Бюхнера [34] и колбы Бунзена [35].

Для определения плотности минеральной части руды использовался пикнометр стеклянный [36]. Сушку твердых образцов осуществляли в электропечи ПКЗ-1,0-7 (Россия). Для определения насыпной плотности использовался мерный цилиндр объемом 1000мл [37].

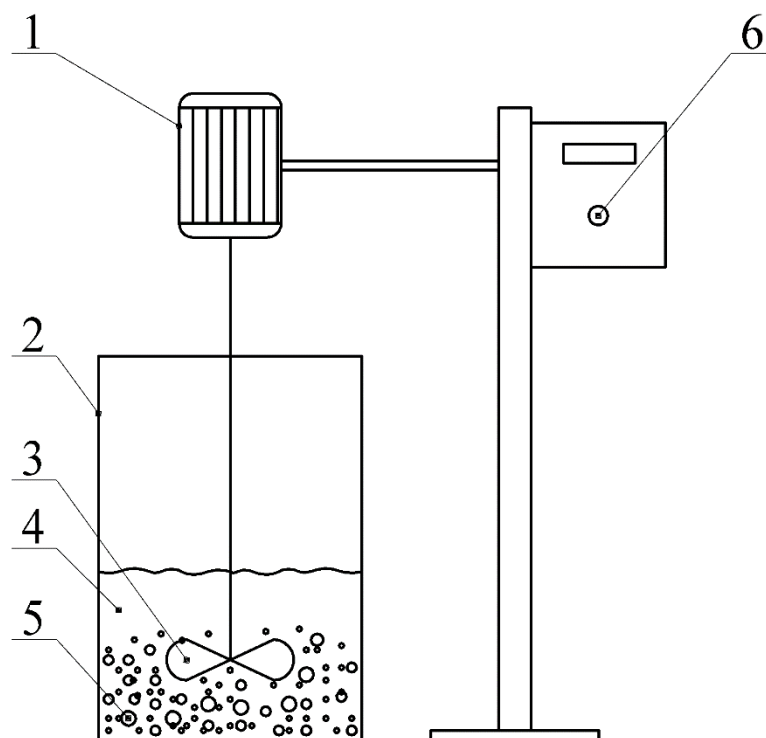


Рисунок 2.1 – Схема установки агитационного выщелачивания руды:  
 1 – мотор мешалки; 2 – полиэтиленовый агитатор; 3 – пропеллерная мешалка; 4 – выщелачивающий раствор; 5 – титаномагнетитовая руда; 6 – регулятор оборотов мешалки

### 2.3 Методика проведения исследования

Схема исследований представлена на рисунке 2.2.

Для проведения агитационного выщелачивания осуществлялось дробление исходного рудного материала до крупности -3 мм для максимального раскрытия сростков минералов. Процесс выщелачивания титана из титаномагнетитовой руды проводили в агитаторах. Выщелачивание осуществляли водными растворами, содержащими ионы аммония ( $(\text{NH}_4)^+$ ) и фтора ( $\text{F}^-$ ). Концентрация ионов аммония и фтора обеспечивалась введением в раствор фторида аммония ( $\text{NH}_4\text{F}$ ), гидроксида аммония ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) и кислоты фтористоводородной ( $\text{HF}$ ). Концентрация ионов аммония в растворах варьировалась от 0,08 до 4,20 моль/л, ионов фтора от 0,08 до 8,40 моль/л.

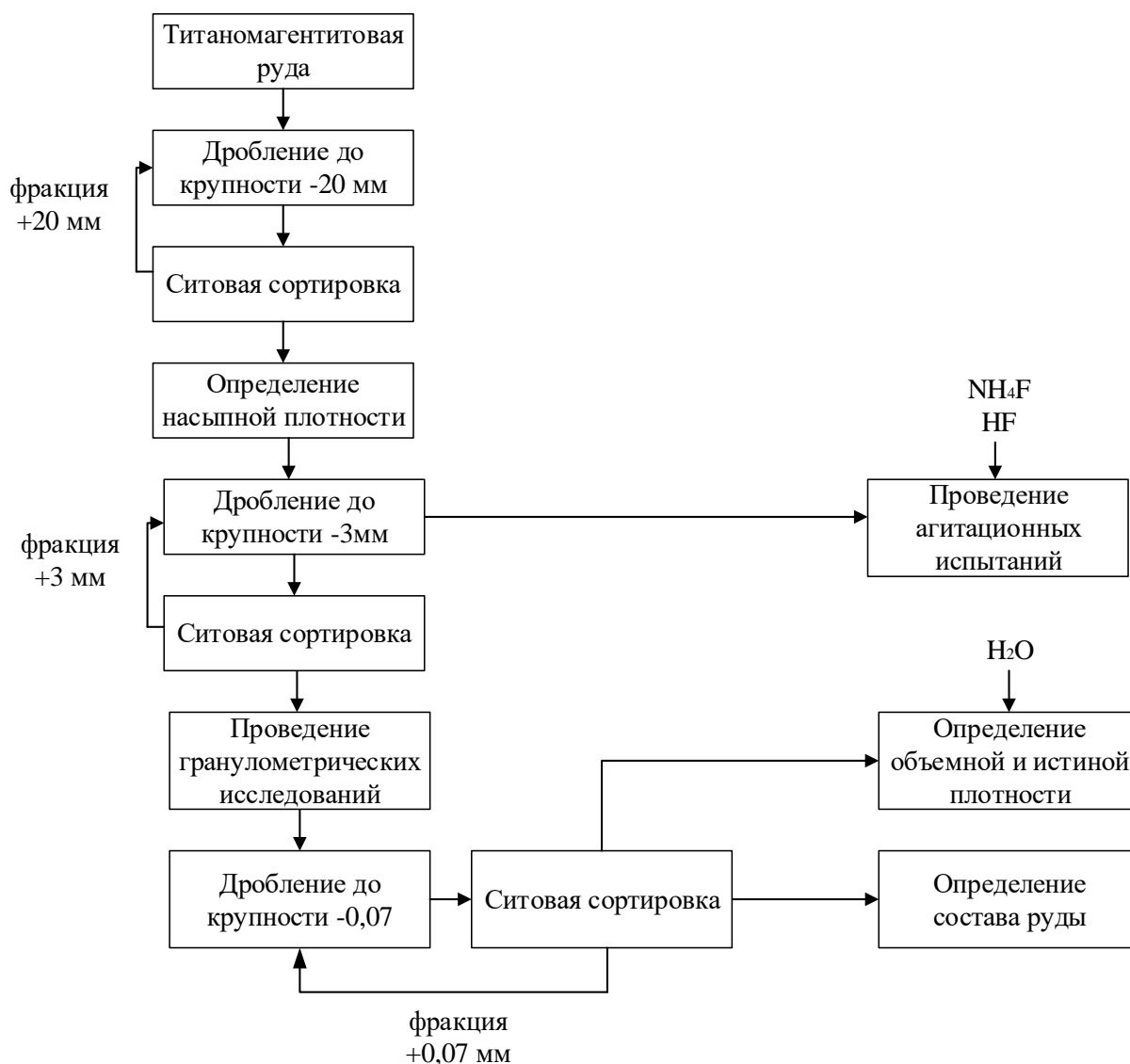


Рисунок 2.2 – Схема проведения исследования

Контроль уровня водородного показателя (рН) раствора осуществляется путем добавления в раствор кислого или основного реагентов. Массы исследуемых образцов составляли 150 г. Соотношение масс твердой и жидкой фаз при агитационном выщелачивании составляло Т:Ж=1:3.

Разделение твердой и жидкой фракций проводилось с помощью воронки Бюхнера и колбы Бунзена. Осадок промывался дистиллированной водой и сушился при температуре 80 °С.

Гранулометрический состав дробленой руды определяли методом ситового анализа согласно [38].

Плотность минеральной части горной породы (скелета) была измерена методом описанным в [39]. Объемная и насыпная плотность руды определялся методом, описанным в ГОСТе 25732-88.

## **2.4 Приборы и методы анализа**

Исследования фазового состава и структурных параметров образцов выполняли в Материаловедческом центре коллективного пользования ТГУ, г. Томск, на дифрактометре XRD-6000 (Япония) на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Анализ фазового состава проводили с использованием баз данных PDF 4+, а также программы полно профильного анализа POWDER CELL 2.3. Фазовый, рентгенофазовый качественный и количественный анализ позволяет идентифицировать различные кристаллические фазы и определить их относительные концентрации в смесях на основе анализа дифракционной картины, регистрируемой от исследуемых порошковых образцов. Прецизионное определение параметров элементарной ячейки известного вещества позволяет обнаружить изоморфные примеси.

Концентрации титана и железа в растворе определяли методом атомно–эмиссионной спектроскопии с индуктивно–связанной плазмой на спектрометре ICP 6200 Duo (США). Атомно–эмиссионная спектроскопия – способ определения элементного состава вещества по оптическим линейчатым спектрам излучения атомов и ионов анализируемой пробы, возбуждаемым в источниках света.

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью экономического расчёта данной работы является расчёт затрат на опытно-промышленные испытания по переработке титаномагнетитовой руды методом перколяционного выщелачивания.

### 5.1 Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней подлежащих отработке одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы участка и продолжительности работы участка, и продолжительности рабочего дня. Участок будет работать в три смены продолжительностью по 8 часов. Работа производится четырьмя производственными бригадами. График представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – График сменности бригад, где: А, Б, В, Г – бригады.

| 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 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| с 0 до 8    | А | А | А | А | Б | Б | Б | Б | В | В  | В  | В  | Г  | Г  | Г  | Г  | А  | А  | А  | А  | Б  | Б  | Б  | Б  | В  | В  | В  | В  | Г  | Г  | Г  |
| с 8 до 16   | Б | Б | Б | В | В | В | В | Г | Г | Г  | Г  | А  | А  | А  | А  | Б  | Б  | Б  | Б  | В  | В  | В  | В  | Г  | Г  | Г  | Г  | А  | А  | А  | А  |
| с 16 до 24  | В | В | Г | Г | Г | Г | А | А | А | А  | Б  | Б  | Б  | Б  | В  | В  | В  | В  | Г  | Г  | Г  | Г  | А  | А  | А  | А  | Б  | Б  | Б  | Б  | В  |
| Выходные    | Г | Г | В | Б | А | А | Г | В | Б | Б  | А  | Г  | В  | В  | Б  | А  | Г  | Г  | В  | Б  | А  | А  | Г  | В  | Б  | Б  | А  | Г  | В  | В  | Б  |

Длительность сменоборота:

$$T_{см.о.} = n_{\sigma} \cdot T_{н}, \quad ((5.1))$$

где:  $n_{\sigma}$  – число бригад;

$T_{н}$  – количество дней, в которые бригада ходит в смену.

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

За 16 дней, т.е. за длительность сменоборота, бригада отдыхает 4 дня, за год 91 день.

По данному графику сменности на одного среднесуточного рабочего приходится 91 выходной день. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

| № | Элементы времени                                      | Количество |       |
|---|---|------------|-------|
|   |   | дней       | часов |
| 1 | Календарное число дней                                | 365        | 8760  |
| 2 | Нерабочие дни: выходные                               | 91         | 2184  |
| 3 | Номинальный фонд рабочего времени                     | 274        | 6576  |
| 4 | Планируемые выходные:                                 |            |       |
|   | а) очередные отпуска                                  | 24         | 576   |
|   | б) невыходы по болезни                                | 12         | 288   |
|   | в) выполнение общественных обязанностей               | 1          | 24    |
|   | г) отпуск в связи с учебой без отрыва от производства | 3          | 72    |
|   | Итого:  | 40         | 960   |
| 5 | Эффективный фонд рабочего времени                     | 234        | 5616  |

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 274 - 40 = 234 \text{ дня} = 234 \cdot 24 = 5616 \text{ часа.}$$

Определим явочную численность основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{N_{\text{обс}}} \cdot F \cdot C \quad (5.2)$$

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

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

$F$  – количество установок;

$C$  – количество смен в сутки.

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{4} \cdot 8 \cdot 3 = 6 \text{ чел.}$$

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

Определим списочное число основных производственных рабочих:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб.}}}, \quad (5.3)$$

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 в год одного рабочего.

$$N_{\text{сп}} = 8 \text{ чел.}$$

Принимаем 8 человек в штат основных рабочих данного участка. В таблице 5.3 представлена численность основных рабочих.

Таблица 5.3 – Численность основных рабочих

| № | Наименование профессий | Тариф. разряд | Число рабочих в смену | Число смен в сутки | $N_{\text{яв.}}$ , в сутки | $N_{\text{сп.}}$ , в сутки |
|---|------------------------|---------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | Аппаратчик             | 5             | 1                     | 3                  | 3                          | 4                          |
| 2 | Аппаратчик             | 6             | 1                     | 3                  | 3                          | 4                          |

Списочное число рабочих дежурного персонала:

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

$$N_{\text{яв}} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ чел}$$

$$N_{\text{сп}} = \frac{9 \cdot 340}{234} = 13 \text{ чел}$$

Принимаем 12 человек в штат дежурного персонала, осуществляющего обслуживание данного участка.

При необходимости к работе будут привлекаться дежурные из других отделений, исполняющие данные обязанности по совместительству со своими непосредственными. Сведём число дежурного персонала в таблицу 5.4.



Таблица 5.4 – Количество дежурного персонала

| Профессия | Разряд | Число рабочих в смену | Число Смен | Н <sub>яв</sub> | Н <sub>сп</sub> | Число рабочих дней оборуд. |
|-----------|--------|-----------------------|------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| Слесарь   | 5      | 1                     | 3          | 3               | 4               | 340                        |
| Электрик  | 5      | 1                     | 3          | 3               | 4               | 340                        |
| сл. КИПиА | 5      | 1                     | 3          | 3               | 4               | 340                        |

ИТР не проектируется, так как проектируемый участок находится в рамках участка.

## 5.2 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих участка

Расчетный фонд вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}, \text{руб./г.} \quad (5.4)$$

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

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

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

Основной фонд заработной платы вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{пр.дн.}} + D_{\text{пр.}}, \text{руб./г.} \quad (5.5)$$

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

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

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

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

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

$$Z_{\text{тар.}}^i = N_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф.раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i, \text{руб./г.} \quad (5.6)$$

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

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

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

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

Для проектируемого участка к работе будут привлекаться аппаратчики 5-го и 6-го разряда в связи с высокой ответственностью производимых работ. Часовая тарифная ставка аппаратчиков 5-го разряда составляет – 141 руб./ч. ,6 -го разряда составляет – 170 руб./ч.

$$З_{\text{тар.}^5} = 4 \cdot 1872 \cdot 141 = 1055808 \text{ руб./г.}$$

$$З_{\text{тар.}^6} = 4 \cdot 1872 \cdot 170 = 1272960 \text{ руб./г.}$$

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

$$Д_{\text{н.вр.}} = 4 \cdot 69 \cdot 8 \cdot 141 \cdot 0,4 = 124531,2 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{\text{н.вр.}} = 4 \cdot 69 \cdot 8 \cdot 170 \cdot 0,4 = 150144 \text{ руб./г.}$$

Доплата за работу в праздничные дни (в году 14 праздничных дней) составляет 100 % от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 4 \cdot 14 \cdot 8 \cdot 141 \cdot 2 = 126336 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 4 \cdot 14 \cdot 8 \cdot 170 \cdot 2 = 152320 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = 1055808 \cdot 0,3 = 316742,4 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{\text{пр.}} = 1272960 \cdot 0,3 = 381888 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$З_{\text{осн.}} = 1055808 + 1272960 + 124531,2 + 150144 + 126336 + 152320 + 316742,4 \\ + 381888 = 3580669,6 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} \quad (5.7)$$

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

$$З_{\text{доп.}} = 3580669,6 \cdot 0,1 = 358066,96 \text{ руб./г.}$$

Расчётный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$З_{\text{год}} = 3580669,6 + 358066,96 = 3938736,56 \text{ руб./г.}$$

### 5.3 Расчёт годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих участка

Тарифный фонд вспомогательного персонала рассчитывается по формуле 5.6. Основная заработная плата служащих и прочего персонала рассчитывается по формуле 5.5. Дополнительная заработная плата вспомогательного и прочего персонала принимается 10 % от  $Z_{\text{тар}}$ . Для вспомогательного и прочего персонала часовая тарифная ставка – 234 руб./ч.

$$Z_{\text{тар.}} = 12 \cdot 1872 \cdot 234 = 5\,256\,576 \text{ руб./г};$$

$$D_{\text{н.вр.}} = 12 \cdot 91 \cdot 8 \cdot 234 \cdot 0,4 = 817\,690 \text{ руб./г};$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = 12 \cdot 14 \cdot 8 \cdot 234 \cdot 2 = 733\,824 \text{ руб./г};$$

$$D_{\text{пр.}} = 5256576 \cdot 0,3 = 1\,576\,973 \text{ руб./г};$$

$$Z_{\text{осн.}} = 5256576 + 817690 + 7333824 + 1576973 + 630789 = 14\,985\,063 \text{ руб./г};$$

$$Z_{\text{доп.}} = 14\,985\,063 \cdot 0,1 = 1\,498\,506,3 \text{ руб./г};$$

$$Z_{\text{год}} = 14\,985\,063 + 1\,498\,506,3 = 16\,483\,569,3 \text{ руб./г.}$$

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

$$Z_{\text{год}} = 16\,483\,569,3 \cdot 0,3 = 4\,945\,070,79 \text{ руб./г.}$$

Полный годовой фонд заработной платы составляет:

$$\Phi_{\text{зп}} = 3\,938\,736,56 + 4\,945\,070,79 = 8\,883\,807,35 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные с организацией труда и техникой безопасности, принимаются как 5% от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{\text{ОТиТБ}} = 8\,883\,807,35 \cdot 0,05 = 444\,190,37 \text{ руб./год.}$$

Прочие затраты составляют 15% от общих затрат на основные средства:

$$Z_{\text{проч}} = 8\,883\,807,35 \cdot 0,15 = 1\,332\,571,10 \text{ руб./год.}$$

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

$$Z_{\text{соц}} = 8\,883\,807,35 \cdot 0,3 = 2\,665\,142,21 \text{ руб./год.}$$

### 5.4 Расчёт капитальных затрат

Расчёт капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Стоимость основного оборудования

| Наименование                | Количество, шт | Цена за шт., руб. | Цена, руб |
|-----------------------------|----------------|-------------------|-----------|
| Аппарат с мешалкой          | 2              | 700 000           | 1 400 000 |
| Бак для жидкостей           | 3              | 370 000           | 1 110 000 |
| Барабанный вакуумный фильтр | 1              | 900 000           | 900 000   |
| Перколятор                  | 1              | 1 100 000         | 1 100 000 |
| Насос                       | 9              | 56 000            | 504000    |
| Бак для твердых порошков    | 1              | 180 000           | 180 000   |
| Итого                       |                |                   | 5 194 000 |

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$C_{\text{кап}} = C_{\text{обор.}} + \Sigma C_{\text{затр.}} = 5\,194\,000 + 3\,739\,680 = 8\,933\,680 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{\text{т.р.}} = 8\,933\,680 \cdot 0,15 = 1\,340\,052 \text{ руб/г.}$$

Расходы на содержание составляет 5 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 8\,933\,680 \cdot 0,05 = 446\,684 \text{ руб/г.}$$

Таблица 5.6 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

| Затраты                      | % от стоимости оборудования | Цена, руб |
|------------------------------|-----------------------------|-----------|
| Устройство фундаментов       | 10                          | 519 400   |
| Технологические трубопроводы | 20                          | 1 038 800 |
| Кабельные разводки           | 5                           | 259 700   |
| КИПиА                        | 10                          | 519 400   |
| Монтаж оборудования          | 22                          | 1 142 680 |
| Вспомогательное оборудование | 5                           | 259 700   |
| Итого                        | 72                          | 3 739 680 |

Отчисления на амортизацию оборудования (30 % от стоимости):

$$A_{\text{об.}} = C_{\text{затр.}} \cdot \alpha = 8\,933\,680 \cdot 0,3 = 2\,680\,104 \text{ руб/г.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\Sigma Z = \Phi_{т.р.} + Z_{сод.} + A_{об.} = 1\,340\,052 + 446\,684 + 2\,680\,104 = 4\,466\,840 \text{ руб/г.}$$

Таблица 5.7 – Калькуляция затрат на опытные испытания

| Статьи   | Ед. изм. | Цена, руб. | Норма        | Сумма руб./год |
|--|----------|------------|--------------|----------------|
| Реагент:   |          |            |              |                |
| – NH <sub>4</sub> F                                | кг       | 275,00     | 11450,90 кг  | 3 148 997,50   |
| – HF   | кг       | 230,00     | 18167,58 кг  | 4 178 543,40   |
| – NH <sub>4</sub> OH                               | кг       | 21,00      | 1200,00 кг   | 25 200,00      |
| Технологическая электроэнергия                     |          |            |              | 113 880,00     |
| Итого условно-переменные затраты                   |          |            |              | 7 466 620,90   |
| Фонд ЗП  | руб.     | 241,10     | 30 000,00 кг | 7 233 124,40   |
| Отчисление на социальные нужды                     | руб.     | 72,33      | 30 000,00 кг | 2 169 937,32   |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: |          |            |              |                |
| – амортизация оборудования                         | руб.     | 29,78      | 30 000,00 кг | 893 368,00     |
| – тек. и кап. ремонты                              | руб.     | 44,67      | 30 000,00 кг | 1 340 052,00   |
| – содержание оборудования                          | руб.     | 14,89      | 30 000,00 кг | 446 684,00     |
| Цеховые расходы:                                   |          |            |              |                |
| – расходы на ОТ и ТБ                               | руб.     | 12,06      | 30 000,00 кг | 361 656,22     |
| – прочее   | руб.     | 36,17      | 30 000,00 кг | 1 084 968,66   |
| Итого условно-постоянные затраты                   | руб.     |            |              | 13 529 790,00  |
| Итого затраты                                      | руб.     |            |              | 20 996 410,90  |

Таким образом, затраты на опытно-промышленные испытания составляют 20 996 410,90 руб.

## 5.5 Потенциальные потребители результатов исследования

Переработка титаномагнетитовых руд может внести вклад в решение проблемы дефицита в титановом и железорудном сырье. Россия обладает огромными запасами титаномагнетитовых руд, которые составляют десятки миллиардов тонн. Однако, известные технологии переработки таких руд считаются энергозатратными, а получаемый железный концентрат не всегда пригоден для плавки из-за высокого содержания титана в нем.

Для анализа потребителей результатов исследования был рассмотрен целевой рынок металлургических предприятий, перерабатывающих титаномагнетитовые руды, и произведено его сегментирование (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Карта сегментирования рынка по компаниям, перерабатывающим титаномагнетитовые руды

|                                     | Возможность добычи титаномагнетитов | Переработка титаномагнетитов | Необходимость извлечения титана | Получение железорудного концентрата |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| «ЕВРАЗ Качканарский ГОК»            |                                     |                              |                                 |                                     |
| ОАО «Забайкалстальинвест»           |                                     |                              |                                 |                                     |
| ОАО «Апатит»                        |                                     |                              |                                 |                                     |
| ОАО «Первоуральское рудоуправление» |                                     |                              |                                 |                                     |

Разрабатываемая гидрometаллургическая технология переработки титаномагнетитового рудного сырья с получением железного и титано-ванадиевого концентратов будет востребована на горно-обогажительных комбинатах и металлургических заводах, деятельность которых направлена на обогащение титаномагнетитовых руд.

## **6 Социальная ответственность**

### **6.1 Описание технологического процесса и оборудования**

Объектом исследования является участок опытно-промышленных испытаний титаномагнетитовой руды на возможность её переработки методом кучного выщелачивания. Испытания будут проводиться в перколяторе вместимостью до 30 тонн. В соответствии с Федеральным законом (согласно статье 2 и приложению 1 «Опасные производственные объекты») к категории опасных производственных объектов относятся объекты, на которых ведутся горные работы и работы по обогащению полезных ископаемых. Таким образом, участок является опасным производственным объектом [44].

На разрабатываемом участке имеются следующие опасные и вредные факторы [45]:

- связанные с силами и энергией механического движения;
- связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды;
- связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды;
- связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды;
- связанные с акустическими колебаниями в производственной среде;
- связанные с электрическим током;
- связанные со световой средой и характеризуются чрезмерными характеристиками световой среды

Для того чтобы создать благоприятные условия для рабочего персонала необходимо принимать меры по устранению или уменьшению влияния вышеперечисленных вредных и опасных факторов на

рассматриваемом участке. Также необходимо рассмотреть влияние производства на окружающую среду и действия по предотвращению и меры по ликвидации чрезвычайных ситуаций.

## **6.2 Анализ выявленных вредных факторов в цехе**

### **6.2.1 Опасность поражения химически токсичными веществами**

При проведение опытных испытаний титаномагнетитовой руды используются следующие реагенты: фтористоводородная кислота, фторид аммония, гидроксид аммония, магнетит ильменит, гексафторотитанат аммония, гексафтороферрат аммония, диоксид кремния. Класс опасности и требования к ПДК реагентов приведены в таблице 6.1 [46, 47].

Таблица 6.1 – Основные свойства реагентов по токсичности

| Наименование реагента                                | Класс опасности | ПДК рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup> |
|--|-----------------|-------------------------------------|
| Фтористоводородная кислота                           | 1               | 0,5                                 |
| Фторид аммония                                       | 2               | 1                                   |
| Гидроксид аммония                                    | 4               | 20                                  |
| Магнетит   | 4               | 6                                   |
| Ильменит   | 4               | 10                                  |
| Кремний диоксид аморфный в смеси с оксидами марганца | 3               | 1                                   |

Фтороводородная кислота ядовита. Кислота вызывает болезненные ожоги и изъязвления. При попадании в кровь может вызвать нарушение сердечной деятельности. Возможны острые и хронические отравления [48].

Фтористый аммоний вызывает острые и хронические отравления с поражением центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта, нарушает обмен веществ, раздражает слизистые оболочки глаза и кожу, верхние дыхательные пути [49].



Пары аммиака вызывают острое раздражение слизистых оболочек, слезотечение, удушье. Водный аммиак попадая на кожу человека, вызывает сильные ожоги [50].

На предприятии должны быть приняты меры по обеспечению коллективной защиты. Производственные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией [51].

При работе с реактивами необходимо соблюдать меры предосторожности и использовать индивидуальные средства защиты: фильтрующий промышленный противогаз марок КД и М; специальную одежду; резиновые перчатки по; защитные очки [52-56].

### 6.2.2 Микроклимат

Выполняемые работы относятся к категории Пб связанные с ходьбой, так как связаны с перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождаются умеренным физическим напряжением и интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт) [57].

В таблицах 6.2 и 6.3 приведены оптимальные и допустимые параметры микроклимата для категории работ Пб [57].

Для обеспечения допустимых и оптимальных параметров используют вентиляцию, кондиционирование воздуха, отопление. Для летнего периода температура достигается за счет искусственной вентиляции, для зимнего периода за счет центрального отопления.

Таблица 6.2 – Оптимальные параметры микроклимата

| Период года | Температура воздуха, | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, % |
|-------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Холодный    | 17-20                | 60-40                              | 0,2                          |
| Теплый      | 19-22                | 60-40                              | 0,2                          |

Таблица 6.3 – Допустимые параметры микроклимата

| Период года | Температура воздуха, | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, % |
|-------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Холодный    | 15-22                | 15-75                              | 0,2-0,4                      |
| Теплый      | 16-27                | 15-75                              | 0,2-0,4                      |

Часть работников выполняют свои должностные обязанности на открытой местности. Для них устанавливается особый режим работы, который предусматривает регламентацию времени непрерывного пребывания в нагревающем микроклимате и продолжительность пребывания в комфортном микроклимате в целях нормализации теплового состояния человека. Читинская область относится к II климатическому региону России [58]. Допустимая продолжительность однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в зависимости от температуры воздуха определяется по [58].

### 6.2.3 Производственное освещение

Для создания благоприятных рабочих условий, степень освещенности в производственных помещениях нормируется. Согласно [599], норма освещения составляет 400 лк для производственного цеха. Такая степень освещенности подходит для работы с минимальным размером объекта различения до 5 мм. В вспомогательных и складских помещениях, где минимальный размер объекта различения свыше 5 мм допускается освещение 200 лк. Кроме того, производственные помещения должны быть оборудованы аварийным освещением – для эвакуации (10% от нормы освещенности) и для продолжения работ [59].

Освещенность рабочих поверхностей мест производства работ, расположенных вне зданий необходимо для периодического наблюдения за ходом производственного процесса. Средняя освещенность горизонтальной

плоскости должна составлять 20 лк. Равномерность освещения не менее 0,25 относительных единиц [59].

#### **6.2.4 Шум**

Уровень звукового давления в данном производственном помещении не должен превышать 75 дБ. Источниками шума на проектируемом участке являются: насосы, вентиляционная система, мешалки [60].

Шум, возникающий при работе производственного оборудования и превышающий нормативные значения, воздействует на центральную и вегетативную нервную систему человека, органы слуха. Основное физиологическое воздействие шума заключается в том, что повреждается внутреннее ухо, возможны изменения электрической проводимости кожи, биоэлектрической активности головного мозга, сердца и скорости дыхания, общей двигательной активности, а также изменения размера некоторых желез эндокринной системы, кровяного давления, сужение кровеносных сосудов, расширение зрачков глаз.

Для защиты от вредного воздействия производственных шумов применяют средства индивидуальной и коллективной защиты. В качестве средств индивидуальной защиты используют противошумные наушники [61]. Для обеспечения требуемого уровня звукового давления требуется применять шумобезопасную технику, а когда это невозможно использовать звукопоглощающие вкладыши.

### **6.3 Анализ выявленных опасных факторов в цехе**

#### **6.3.1 Электробезопасность**

Технологическое оборудование в цехе находится под напряжением – двигатель мешалок, двигатель приточно-вытяжной вентиляции, насосы.

Используемое оборудование в цехе рассчитано на напряжение 380 В. Согласно [62], оборудование в цехе относится ко второй категории опасности и снабжено защитным заземлением. Защитное заземление оборудования должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции [63].

В качестве коллективных средств защиты от поражения током применяют: защитные оболочки, защитные ограждения, изоляция токоведущих частей, знаки безопасности [64]. При работе связанной с риском воздействия на работника электрического тока, он обязан применять средства индивидуальной защиты: перчатки диэлектрические [65], обувь специальную диэлектрическую [66]. Соблюдение представленных требований позволяет предотвратить опасное и вредное воздействие электрического тока на персонал.

### **6.3.2 Пожарная безопасность**

Основные причины возникновения пожара:

- Несоблюдение работниками правил пожарной безопасности;
- Неисправность электрической проводки или короткое замыкание;
- Возможность образования взрывоопасных смесей (аммиака и воздуха).

В соответствии с категориями помещений по взрывопожарной и пожарной опасности данное производство относится к категории В4 [67]. Основанием для установления этой категории пожароопасной является наличие негорючих веществ в жидком, твердом и газообразном состоянии и возможность образование взрывоопасной смеси паров аммиака и воздуха.

В соответствии с требованиями [68,69] пожарная безопасность проектируемого объекта обеспечивается:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

Система предотвращения пожара обеспечивается:

1. Применением негорючих строительных материалов;
2. Максимально возможным применением в технологических процессах, происходящих в зданиях и сооружениях, негорючих веществ и материалов;
3. Установкой не пожароопасного оборудования;
4. Соблюдением действующих нормативных документов в части учета мер пожарной безопасности при разработке проектной документации.

Система противопожарной защиты участка обеспечивается комплексом конструктивных, объемно-планировочных решений зданий и сооружений, применением средств противопожарной защиты. В систему противопожарной защиты входят:

1. Объемно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие своевременную эвакуацию людей и их защиту от опасных факторов пожара;
2. Применение основных строительных конструкций зданий и сооружений в соответствие с требуемой степенью огнестойкости, ограничение на путях эвакуации применения горючих материалов;
3. Обеспечение объекта требуемым расходом воды для целей наружного и внутреннего пожаротушения.
4. оборудование помещений общей и местной вентиляцией.

## **6.4 Охрана окружающей среды**

Схема перколяционного выщелачивания титаномагнетитовой руды подразумевает обратное использование технологических растворов. Для обеспечения правильной и экологически безопасной работы необходимо организовать основание под установку, которое будет удовлетворять следующим условиям: иметь надежную гидроизоляцию (растворонепроницаемость), высокую механическую прочность для исключения проседания основания под весом установки при выщелачивании и при загрузке руды.

Конструкция основания должна обеспечивать аварийный сбор растворов из-под установки и исключать утечку раствора в неконтролируемую зону, для мониторинга состояния корпуса установки конструкцией должна быть предусмотрена система контроля утечки растворов. Обратные растворы выщелачивания после отработки, содержат в своем составе фторид-ионы. В связи с этим, указанные растворы подлежат обезвреживанию. Обезвреживание проводится, с получением фторида кальция [70].

## **6.5 Защита в чрезвычайных ситуациях**

Во время работы производственного цеха возможны следующие чрезвычайные ситуации: разгерметизация оборудования, повреждение труб, пожар. Поражающим фактором при чрезвычайной ситуации (ЧС) могут являться токсическое действие опасных химических веществ и воздействие больших температур [71]. В таблице 6.4 обозначены меры по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Таблица 6.4 – Меры по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций

| Чрезвычайная ситуация                          | Меры по предупреждению  | Меры ликвидации  |
|--|---|--|
| Разгерметизация оборудования, повреждение труб | Своевременно проверять элементы конструкции с целью выявления несоответствий требованиям нормативной документации в области промышленной безопасности.  | Локализация, подавление или снижение до минимального возможного уровня воздействия возникших при аварии поражающий факторов. прекращение выброса опасных химических веществ (ОХВ) путем перекрытия задвижек с отключением поврежденной части технологического оборудования, установки аварийных накладок в местах прорыва емкостей и трубопроводов, установки заглушек; постановки жидкостных завес в направлении движения облака ОХВ; откачкой разлившегося ОХВ в резервные емкости [77]. |
| Пожар  | Своевременно проводить техническое обслуживание и планово-предупредительный ремонт электроустановок согласно утвержденному графику и технических средств противопожарной защиты и пожаротушения. Пользоваться исправным электрооборудованием, использовать электрооборудование по назначению. Установить пожарную сигнализацию. | Обесточить цех, вызвать пожарную службу, сообщить о пожаре начальнику цеха, оказать помощь в эвакуации людей. При мелком возгорании потушить пожар первичными средствами пожаротушения (песок, вода, огнетушитель, кошма).   |

## **7. Автоматизация процесса**

Комплексная механизация и автоматизация является важной частью при планировании химического производства. Функциональные схемы автоматизации являются основным проектным документом, определяющим структуру и уровень автоматизации технологического процесса проектируемого объекта, и оснащение его приборами и средствами автоматизации. Основная цель разработки схемы автоматизации – это выбор приборов и средств автоматизации, выполняющие такие функции, при которых данный технологический процесс осуществлялся наилучшим образом: давал максимум выхода продукции с наилучшим качеством при безаварийной работе, был бы удобен для технолога, для наблюдения и, если необходимо, для переналадки на выпуск продукции с другими характеристиками.

В процессе автоматизации процессов химическое оборудование оснащается приборами, регуляторами, управляющими машинами и другими устройствами. Для этой цели основательно исследуется механика процесса, обнаруживаются величины, которые оказывают большое влияние на его течение.

В данном курсовом проекте разработана схема автоматизации процесса переработки титаномагнетитовой руды при помощи перколятора. Выщелачивание руды проводят с помощью фторида аммония и фтороводородной кислоты.

### **7.1 Описание функциональной схемы автоматизации**

Схема автоматизации представлена в приложении А.

Технологическая схема переработки титаномагнетитов включает следующие стадии: подготовку раствора, выщелачивание руды, осаждение титанового концентрата и фильтрация пульпы.



В реактор А1 поступает вода и оборотный раствор из бака Б2 с помощью насоса 6. В реактор А1 установлен датчик по верхнему и нижнему уровню (5-1). После наполнения реактора на 70% насос 6 отключается. Далее включается шнек подачи фторида аммония из бункера загрузки и отключается оператором при достижении концентрации иона аммония 0,42 моль/л. Обороты двигателя шнека 3 контролируются тахометром (2-1). Наблюдение за заполняемостью бункера загрузки со фторидом аммония ведется с помощью весов (1-1). После чего в реактор А1 из бака поступает фтороводородная кислота с помощью насоса 8. Для наблюдения и регулирования за концентрацией иона фтора и аммония установлен иономер (7-1). В баке с фтороводородной кислотой установлен датчик по нижнему уровню (11-1) со сигнализацией при достижении нижнего уровня. Время процесса 2 часа и протекает при комнатной температуре. Привод мешалки 4 реактора А1 запускается с пульта.

Полученный раствор поступает с помощью насоса 10 в бак-накопитель Б1. Он оснащен датчиком по верхнему и нижнему уровню (9-1). При уровне раствора в баке накопителя меньше 50 % оператор начинает операцию по подготовки раствора в реакторе А1. Раствор из Б1 подается с помощью насоса 13 на распределяющие устройства. Подача раствора регулируется контуром 12-13. Процесс проводится при температуре окружающей среды. Пульпа перемещается внутри перколятора самотеком. Процесс является непрерывным.

Раствор после выщелачивания с помощью насоса 15 направляется доукрепление в реактор А1. А также ведется отбор проб на определение содержания титана в растворе. При концентрации титана больше 2 г/т оператор направляет раствор на осаждение титанового концентрата в реактор А2. Также регистрируется исходящий расход раствора с помощью расходомера (14-1). Процесса осаждения проводят в аппарате с мешалкой. В реактор поступает с помощью насоса 20 гидроксид аммония из бака. Количество гидроксида аммония, поступающего в реактор, зависит от рН,

который регистрируется иономером (15-1). После достижения  $pH=6$  подача гидроксида аммония автоматически отключается. Также в реактор А2 установлен датчик по верхнему и нижнему уровню (14-1). Процесс непрерывный и протекает при комнатной температуре. После осаждения раствор с осадком направляется с помощью насоса 18 на фильтрацию. Привод мешалки 16 реактора А2 запускается с пульта.

Фильтрацию производят с помощью вакуумного барабанного фильтра Ф1. Процесса проводится при комнатной температуре и является непрерывным. Раствор после фильтрации идет в бак-накопитель Б2. Полученный титановый концентрат является товарным продуктом. Корыто фильтра снабжено контуром регулирования уровня 21-22, для исключения перелива или работы в холостую. Бак-накопитель Б2 снабжен датчик по верхнему и нижнему уровню (23-1) со сигнализацией при достижении критического значения уровня.

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

Контролю подлежат, прежде всего, те параметры, знание которых облегчает пуск, наладку и нормальное ведение технологического процесса. К таким параметрам относятся все регулируемые величины, нерегулируемые внутренние параметры, входные и выходные параметры, при изменении которых в объект могут поступать возмущающие воздействия.

Контролю подлежат:

1. Уровень в реакторе А1.
2. Уровень в реакторе А2.
3. Уровень в баке с фторидом аммония.
4. Уровень в баке с фтористоводородной кислотой.
5. Уровень в баке с гидроксидом аммония.
6. Уровень в корыте вакуумного барабанного фильтра Ф1.

7. Расход фторида аммония.
8. Расход выщелачивающего раствора.
9. Концентрация фторид иона в реакторе А1.
10. рН в реакторе осаждения А2.

Регулированию подлежат:

1. Расход воды и оборотного раствора.
2. Расход фтороводородной кислоты.
3. Расход выщелачивающего раствора в бак Б3.
4. Расход выщелачивающего раствора в перколятор П1.
5. Расход гидроксида аммония в реактор А2.
6. Расход пульпы в корыто фильтра Ф1;

Сигнализации подлежат все параметры, изменения которых могут привести к аварии, несчастным случаям или серьезному нарушению технологического режима. Основным назначением устройств сигнализации является оповещение обслуживающего персонала о нарушениях технологического процесса.

Сигнализации подлежат параметры – уровни растворов в аппаратах и бункерах.

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

Для получения информации о состоянии объекта и условиях работы служат устройства – контрольно-измерительные приборы. Контрольно-измерительные приборы устанавливают непосредственно у технологических аппаратов (местный контроль) или на центральных щитах управления (дистанционный контроль) [73].

В данной функциональной схеме используются следующие контрольно-измерительные приборы:

- 1) Уровнемер Finetek FGDCFQ5P3

Основные характеристики:

- Материал терминала: полипропилен + волокно;
- Выход: 4-20мА;
- Рабочая температура: 10-80°C;
- Температура окружающей среды: 0-80°C;
- Диапазон измерений: 0-6 м [74].

## 2) Тахометр ARCOM-TC-D77

Основные характеристики:

- Рабочая температура: 0-40°C;
- Диапазон измерения скорости: 60-9999 оборотов/мин;
- Степень защиты: IP20 [75].

## 3) Ионномер И-510

Основные характеристики:

- диапазон измерения ЭДС: от -2000 до 2000;
- Рабочая температура: от -10 до 100;
- Разъем для электрода: BNC;
- давление до 2МПа;
- основная погрешность  $\pm 1$  мм [76].

## 4) Балочный тензодатчик веса ВЛС

Основные характеристики:

- Номинальная нагрузка: 1,76 т;
- Чувствительность: 1,94мВ/В;
- Класс защиты: IP67 [77].

## 5) Расходомер SWG-PVDF

- Среды: кислоты, щелочи и вода;
- Расход: 0,1 - 10 л/мин;
- Температура: - 10 + 40 °С;
- Макс. давление: 4 бар [78].

#### **7.4 Заключение по разделу**

При проектировании системы автоматического регулирования процесса выщелачивания титаномагнетитовой руды были определены параметры технологического процесса, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации. Для данного процесса была разработана функциональная схема автоматизации, подобраны первичные преобразователи для проведения процесса.

Автоматизация данного процесса позволяет сократить количество обслуживающего персонала, контролировать расход реагентов, что в свою очередь, приведет к снижению себестоимости готовой продукции и полноте проведения процесса.

## Список публикаций студента

1 Hydrometallurgical processing technology of titanomagnetite ores / V.I. Sachkov, R.A. Nefedov, V.V. Orlov, R.O. Medvedev, A.N. Sachkova. // Minerals, 8(1), 2; doi:10.3390/min80100022018.

2 Орлов В.В. Фторидная переработка титаномагнетитовых руд / *Р.О. Медведев*, В.В. Орлов // Конференция “Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий” в рамках научной сессии НИЯУ МИФИ, Северск, 10-14 апреля 2017 г. – с. 137-138.

3 *Медведев Р.О.* Выщелачивание титаномагнетитовых руд фторидом аммония / Р.О. Медведев, В.В. Орлов // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 29 мая-01 июня 2017 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2017. – С. 376-377.

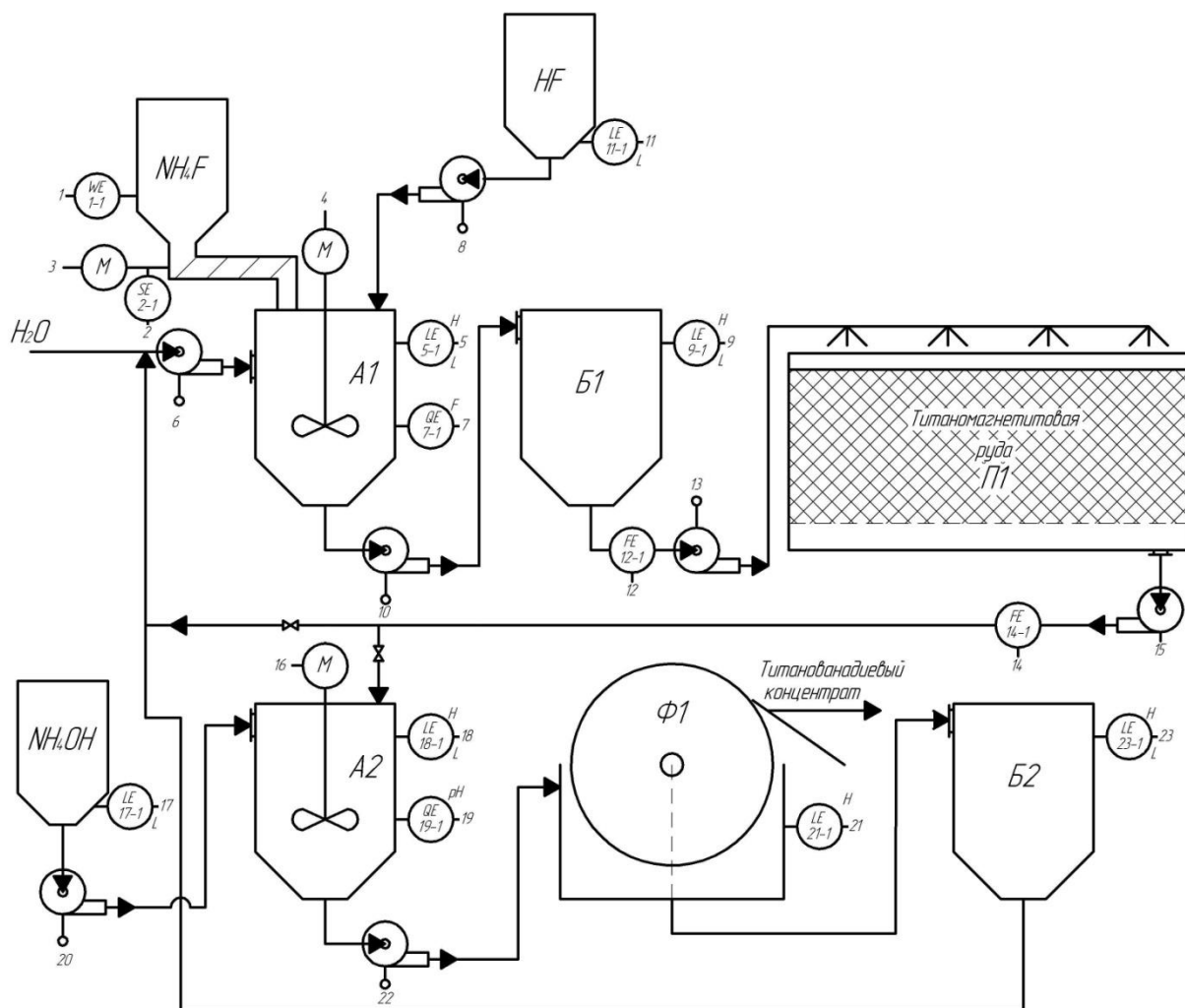
4 *Медведев Р.О.* Способ переработки титаномагнетитовой руды Колвицкого месторождения / Р.О. Медведев, В.В. Орлов, Р.А. Нефедов // XIV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 25-28 апреля 2017 г. – Томск: Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – Т.2. – С. 196-197.

5 *Медведев Р.О.* Получение и исследование свойств фторидов неодима и празеодима / Р.О. Медведев, В.В. Орлов // Сборник тезисов, материалы Двадцать третьей всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-23), Екатеринбург, 01-08 апреля 2017 г. – Ростов-на-Дону: Изд-во АСФ России. – С. 325 – 326.

6 *Медведев Р.О.* Получение и исследования свойств гидридов празеодима / Р.О. Медведев // Сборник тезисов, материалы Двадцать второй всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-22), 21 апреля – 28 апреля 2016, г. Екатеринбург – Ростов-на-Дону: Изд-во АСФ России. – С. 362 – 363.

# Приложение А

## Функциональная схема автоматизации



|                  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5        | 6      | 7       | 8      | 9        | 10      | 11        | 12       | 13      | 14       | 15      | 16      | 17        | 18        | 19       | 20      | 21        | 22      | 23        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|---------|--------|----------|---------|-----------|----------|---------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|---------|-----------|
| Приборы по месту | WT 1-2 | ST 2-2 | NS 3-2 | NS 4-2 | LT 5-2   |        | QT 7-2  | NS 8-2 | LT 9-2   |         | LT 11-2   | FT 12-2  | NS 13-2 | FT 14-2  | NS 15-2 | NS 16-2 | LT 17-2   | LT 18-2   | QT 19-2  | NS 20-2 | LT 21-2   | NS 22-2 | LT 23-2   |
| Приборы на щите  | WR 1-3 | SR 2-3 | HS 3-3 | HS 4-3 | LIRA 5-3 | LC 6-2 | QIR 7-3 | QC 8-3 | LIRA 9-3 | LC 10-3 | LIRA 11-3 | FIR 12-3 | FC 13-3 | FIR 14-3 | HS 15-3 | HS 16-3 | LIRA 17-3 | LIRA 18-3 | QIR 19-3 | QC 20-3 | LIRA 21-3 | HS 22-3 | LIRA 23-3 |
| Сигнализ.        |        |        |        |        | ☉        |        |         |        | ☉        |         | ☉         |          |         |          |         |         | ☉         | ☉         |          |         | ☉         |         | ☉         |
| ЭВМ              | Вход   | 1-4    | 2-4    |        | 5-4      |        | 7-4     |        | 9-4      |         | 11-4      | 12-4     |         | 14-4     |         |         | 17-4      | 18-4      | 19-4     |         | 21-4      |         | 23-4      |
|                  | Вых.   |        |        | 3-4    | 4/3-4    | 6-4    |         | 8-4    |          | 10-4    |           |          | 13-4    |          | 15-4    | 16-4    |           |           |          | 20-4    |           | 22-4    |           |