

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

| |
|---|
| Тема работы |
| Проект участка производства электролитического медного порошка производительностью 80 тонн медного порошка в год |

УДК 669.337.141-026.771

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 0452 | Кравцов Д.О. | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ | Ворошилов Ф.А. | К. Т. Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Гузырь В.В. | К.Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ | Передерин Ю.В. | К. Т. Н. | | |

По разделу «Автоматизация процесса»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ | Кузьмина А.В. | К. Т. Н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ | Леонова Л.А. | К.Т.Н. | | |

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

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|-------------------------------------|---|
| <i>Профессиональные компетенции</i> | |
| Р1 | Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности |
| Р2 | Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики |
| Р3 | Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат |
| Р4 | Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО |
| Р5 | Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижения науки и техники, уметь обрабатывать и критически оценивать полученные данные, делать выводы, формулировать практические рекомендации по их применению; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности |
| Р6 | Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства |
| <i>Универсальные компетенции</i> | |
| Р7 | Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем |
| Р8 | Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики |

| | |
|-----|--|
| P9 | Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений |
| P10 | Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности |
| P11 | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Леонова Л.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|--------------------|
| дипломного проекта |
|--------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------|
| 0452 | Кравцов Д.О. |

Тема работы:

| | |
|---|----------------------|
| Проект участка производства электролитического медного порошка производительностью 80 тонн медного порошка в год | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | 14.12.2020 №349-54/с |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 28.12.2020 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|--|---|
| <p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования)</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Участок цеха по получению медного порошка; 2. Производительность по медному порошку 80 тонн в год; 3. Плотность тока 1000 А/м²; 4. Основной аппарат – электролитическая ячейка; 5. Выход меди по току равен 85 %. |
|--|---|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1 Введение 2 Обзор литературы 3 Расчеты и аналитика 4 Результаты расчетов 5 План размещения оборудования 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7 Социальная ответственность 8 Автоматизация процесса 9 Заключение 10 Список использованных источников |
| <p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сборочный чертеж основного аппарата А1 2. Аппаратурно-технологическая схема А1 3. План размещения оборудования А1 4. Блок схема с материальными потоками А1 5. Экономическая часть А1 6. Автоматизация процесса (приложение в ПЗ) А1 7. Презентация Power Point Presentation |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Гузырь В.В., доцент ОСГН ШБИП |
| Социальная ответственность | Передерин Ю.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ |
| Автоматизация процесса | Кузьмина А.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> | |
| | |

| | |
|--|-----------------------------|
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | <p>12 октября 2020 года</p> |
|--|-----------------------------|

Задание выдал руководитель:

| | | | | |
|------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ | Ворошилов Ф.А. | К. Т. Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|--------------|---------|------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 0452 | Кравцов Д.О. | | |

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Уровень образования специалитет

Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла

Период выполнения осенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

| |
|------------------|
| дипломный проект |
|------------------|

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

| | |
|--|--------------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 28 декабря 2020 г. |
|--|--------------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|--|------------------------------------|
| 01.11.2020 | 1. Введение | 1 |
| 06.11.2020 | 2. Обзор литературы | 5 |
| 15.11.2020 | 3. Расчеты и аналитика | 7 |
| 28.11.2020 | 4. Результаты расчетов | 1 |
| 30.11.2020 | 5. План размещения оборудования | 5 |
| 05.12.2020 | 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 6 |
| 10.12.2020 | 7. Социальная ответственность | 6 |
| 15.12.2020 | 8. Автоматизация процесса | 5 |
| 18.12.2020 | 9. Заключение (выводы) | 1 |
| 20.12.2020 | 10. Список использованных источников | 3 |

Составил:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ | Ворошилов Ф.А. | К.Т.Н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ | Леонова Л.А. | К.Т.Н. | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа представлена на 123 страницах. Содержит 8 рисунков, 25 таблиц, 70 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: электролиз, электролизер, сульфат меди, медный порошок, катодный осадок.

Объектом исследования является электролитическое получение медного порошка из отработанного электролита со стадии получения медных катодов электролизом.

Цель работы заключается в разработке проекта участка электролитического получения медного порошка с производительностью 80 тонн в год.

В результате исследования были определены оптимальные параметры ведения процесса электролитического получения медного порошка.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: габаритные размеры основного аппарата составляют: высота ячейки 1 м, внутренний диаметр катода 0,8 м, диаметр анода 0,12 м. Выход по току медного порошка составляет 85 %, плотность тока равна 1000 А/м². Содержание меди в исходном электролите 8 г/л.

Область применения: гидроэлектрометаллургия.

Экономическая эффективность/значимость работы: капитальные затраты составляют 23939954 руб/год. Срок окупаемости проектируемого проекта составляет 1,35 года. Точка безубыточности составила 19471386 руб.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 1.5 - 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. 1 (правила построения, изложения, оформления и обозначения.)

ГОСТ 2.104 - 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

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

ГОСТ 2.106 - 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

ГОСТ 2.301 - 68 Единая система конструкторской документации. Форматы.

ГОСТ 23838 - 89 Здания предприятий.

ГОСТ 4960-2017. Порошок медный электролитический.

ГОСТ 11024-2012 Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий.

ГОСТ 25628.3-2016 Колонны железобетонные крановые для одноэтажных зданий предприятий.

ГОСТ 31174-2017 Ворота металлические. Общие технические условия.

ГОСТ 12.0.003-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.005-2008 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.029-2001 Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума.

ГОСТ 12.4.316-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от вибрации. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 2184-2013. Кислота серная техническая.

ГОСТ 19347-2014. Купорос медный. Технические условия.

ГОСТ 12.4.299-2015 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию.

ГОСТ 12.4.253-2013 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования.

ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

- электролиз: Совокупность процессов электрохимического процесса окисления-восстановления на погруженных в электролит электродах при прохождении через него электрического тока.

- окислительно-восстановительные реакции: Реакции, происходящие с изменением степени окисления атомов, входящих в состав реагирующих веществ.

- электроды: Электронно-проводящие фазы, контактирующие с ионным проводником (электролитом). Положительно заряженный электрод – анод. Отрицательно заряженный электрод – катод.

- электролит: Вещество, расплав или раствор, который проводит электрический ток вследствие диссоциации на ионы.
- электролитическая ячейка: Аппарат для электролиза, состоящий из двух или более электродов. Анодов и катодов.
- выход по току: Это процент полного тока, который в данном электролитическом процессе фактически идет на получение нужного продукта.
- порошок: Состояние вещества, при котором твердое вещество или вещества, очень сильно измельчены, причем его частицы не соединены друг с другом, что позволяет придавать ему произвольную форму.
- фильтрация: Движение жидкости в пористой среде под действием гравитации или градиента напора.
- сушка: Тепломассообменный процесс удаления жидкости из твердых тел с помощью испарения.

Обозначения и сокращения

- АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;
- ФСА – функциональная схема автоматизации;
- ЭДС – электродвижущая сила;
- КПД – коэффициент полезного действия;
- ППР – планово-предупредительный ремонт;
- ОТиПБ – охрана труда и промышленная безопасность;
- СИЗ – средства индивидуальной защиты;
- ПДК – предельно допустимая концентрация;
- ЗП – заработная плата.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 13 |
| 1 Литературный обзор..... | 16 |
| 1.1 Методы получения металлических порошков..... | 16 |
| 1.2 Основные свойства медных порошков и методы их контроля..... | 18 |
| 1.3 Электролиз меди с нерастворимыми анодами..... | 20 |
| 1.4 Влияние условий ведения процесса на формирование и свойства медного порошка..... | 22 |
| 1.4.1 Плотность тока..... | 23 |
| 1.4.2 Концентрация меди в электролите..... | 25 |
| 1.4.3 Кислотность электролита..... | 26 |
| 1.4.4 Температура электролита..... | 27 |
| 1.4.5 Циркуляция электролита..... | 27 |
| 1.4.6 Длительность наращивания порошка..... | 28 |
| 1.4.7 Примеси ионов..... | 29 |
| 1.5 Подготовка порошка к товарному виду..... | 29 |
| 1.6 Устройство электролизеров..... | 31 |
| 1.7 Регенерация электролита..... | 33 |
| 2 Приборы и методы анализа медного порошка..... | 34 |
| 2.1 Дендритность частиц..... | 34 |
| 2.2 Гранулометрический состав..... | 35 |
| 2.3 Химический состав порошка..... | 37 |
| 2.4 Удельная поверхность..... | 38 |
| 2.5 Стабильность порошка..... | 40 |
| 3 Технологическая часть..... | 42 |
| 3.1 Аппаратурно-технологическая схема..... | 44 |
| 3.2 Аппаратурный расчет основного аппарата..... | 45 |
| 3.3 Материальный баланс технологической схемы..... | 49 |

| | |
|---|----|
| 3.4 Механический расчет основного аппарата | 53 |
| 3.5 Электротехнический расчет основного аппарата | 58 |
| 3.6 Расчет теплового баланса технологической схемы | 60 |
| 3.7 Гидравлический расчет основного аппарата | 64 |
| 4 Результаты расчетов..... | 67 |
| 5 План размещения оборудования | 69 |
| 5.1 Подбор основного технологического оборудования..... | 69 |
| 5.2 Энергетический расчет технологической схемы..... | 70 |
| 5.3 План размещения оборудования | 71 |
| 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 73 |
| 6.1 Расчет производственной мощности..... | 73 |
| 6.2 Определение баланса времени одного рабочего | 73 |
| 6.3 Расчет численности основных рабочих | 74 |
| 6.4 Расчет численности вспомогательного персонала | 76 |
| 6.5 Расчет численности специалистов, руководителей и служащих..... | 76 |
| 6.6 Расчет фонда заработной платы | 77 |
| 6.6.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих..... | 77 |
| 6.6.2 Расчет капитальных затрат | 81 |
| 6.6.3 Расходы на содержание и эксплуатацию здания | 84 |
| 6.6.4 Расходы на технологические и социальные нужды | 84 |
| 6.6.5 Калькуляция себестоимости производства..... | 85 |
| 6.6.5 Расчет рентабельности и точки безубыточности..... | 87 |
| 6.7 Выводы по разделу..... | 88 |
| 7 Социальная ответственность | 90 |
| 7.1 Микроклимат | 90 |
| 7.2 Шум и вибрация | 92 |
| 7.3 Вредные вещества | 93 |
| 7.4 Электробезопасность | 95 |
| 7.5 Вентиляция производственных помещений | 98 |

| | |
|--|-----|
| 7.6 Освещение | 99 |
| 7.7 Пожарная безопасность | 100 |
| 7.8 Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии | 102 |
| 7.9 Вывод по главе | 103 |
| 8 Автоматизация процесса..... | 105 |
| 8.1 Описание схемы автоматизации..... | 105 |
| 8.2 Перечень параметров контроля | 108 |
| 8.3 Выбор датчиков | 111 |
| 8.4 Заключение по разделу автоматизация | 113 |
| Заключение | 114 |
| Список используемых источников..... | 115 |
| Приложение А | 123 |

Графический материал на отдельных листах:

ДП ФЮРА 471322.001 СБ

ДП ФЮРА 471322.002 АС

ДП ФЮРА 471322.003 ПР

ДП ФЮРА 471322.004 БС

ДП ФЮРА 471322.005 ЭЧ

ДП ФЮРА 471322.006 СП

Введение

Медь – это металл, который был освоен людьми одним из первых и получил широкое применение благодаря электропроводности, теплопроводности, пластичности и возможности получения ряда ценных сплавов с другими металлами. В природе медь встречается в виде самородков, что обеспечивает легкую добычу. На сегодняшний день медь – это широко распространенный металл, облегчающий задачу многих металлургических предприятий [1].

Среди металлов медь по потреблению занимает третье место в мире, после железа и алюминия [2]. В 2019 году спрос на медь составляет 23,55 миллионов тонн. Доля потребления меди в электротехнической промышленности составляет около 50 % от всей потребляемой меди [3]. Это обусловлено ее низким электрическим сопротивлением и высоким значением теплопроводности.

Медный порошок используют в электротехнической, химической промышленности, в автомобиле- и приборостроении. В связи с возрастающей ролью порошковой металлургии производство и потребление порошка в развитых странах непрерывно возрастает.

Современная электрохимическая технология получения медных порошков состоит в осаждении дисперсного медного осадка из медьсодержащих сернокислых растворов при проведении процесса на повышенных плотностях тока, которая изменяется от 500 до 4 000 А/м² [1].

В зависимости от состава, температуры, скорости циркуляции электролита и плотности тока изменяется структура порошка и его свойства.

Целью данного дипломного проекта является разработка участка получения электролитического медного порошка производительностью 80 тонн в год. Разрабатываемый участок планируется размещать на территории предприятия АО «Уралгидромедь», входящего в состав АО «Русская медная

компания». На предприятии применяется гидрометаллургический способ получения катодной меди. Электролит поступает на проектируемый участок после стадии электролиза меди на основном производстве. В котором получают медные катоды. Процесс ведут с нерастворимыми анодами. Далее при достижении определенной концентрации меди в электролите его заменяют, а отработанный поступает на наш участок.

Разрабатываемая технология позволяет получать медный порошок из разбавленных растворов. Также в данном процессе происходит наработка серной кислоты после чего электролит поступает на выщелачивание либо на корректировку. Разрабатываемый тип электролитической ячейки позволяет организовать автоматический съем осадка с поверхности катода. Это автоматизирует процесс, что приводит к снижению численности персонала, что способствует уменьшению вероятности возникновения опасных ситуаций.

Учитывая спрос на медь, который в 2020 году составляет 24,19 миллионов тонн, данная технология находит широкое применение.

По прогнозам к 2025 г. мировое производство меди составит 25,9 миллионов тонн. В связи с этим возникает необходимость создания полуавтоматической линии производства медного порошка, который удовлетворяет заданным свойствам [3].

1 Литературный обзор

Такой интерес промышленности к меди обусловлен ее физико-химическими свойствами. Особое внимание стоит уделить ее электротехническим свойствам так как это мягкий ковкий металл, который поддается обработке давлением и обладает высокими значениями теплопроводности и проводимости, в следствии чего большая часть производимой меди используется в электротехнике, а также для получения сплавов таких как бронзы, латуни, и для производства припоев, или как легирующий элемент.

1.1 Методы получения металлических порошков

Методы получения металлических порошков подразделяются на:

- механические;
- физико-химические.

К механическим методам относятся [4]:

1. обработка металлов резанием и сверлением, что приводит к получению частиц крупных размеров неправильной формы. Данный способ может быть использован, при работе с отходами производства;

2. распыление жидкого расплавленного металла на быстро движущейся поверхности с продувкой сильного тока воздуха или инертного газа. Способ может использоваться для получения порошков металлов, у которых температура плавления ниже 700 °С. Этот способ может быть использован для получения порошков Zn, Sn, Pb, Al;

3. дробление и помол. Данные способы могут выступать как отдельные операции, так и добавочными для других способов. Sb, Bi, электролитное Fe, а также металлы, полученные при низких температурах, размалывают обычно в шаровых мельницах. В свою очередь, металлы, которые могут быть легко

окислены, такие как Al, Mg, Cu, Pb и другие, измельчают в атмосфере инертного газа или с растворами смазочных веществ, которые введены в мельницу. Это способствует получению плоских, чешуйчатых частичек порошка;

4. гранулирование. Данный способ заключается в том, что расплавленный металл во время постепенного охлаждения непрерывно размешивается. Так могут быть получены грубые порошки Al, Zn, Cd, латуни.

К физико-химическим методам относятся [4]:

1. термическое разложение амальгам некоторых металлов с получением очень тонких порошков (1-10 мкм), например Mn.

2. термическая диссоциация химических соединений, тугоплавких металлических соединений.

Данный способ может быть применим для разложения карбоната никеля и железа. Использование этого способа позволяет получать очень тонкие сферические частицы порошка от 1 до 10 микрон. Но это приводит к тому, что в них содержится C и O₂.

3. восстановление окислов металла и других соединений при высоких температурах, но ниже температуры плавления этих металлов.

Исходя из условий восстановления (исходное вещество, восстановитель, температура, продолжительность) могут быть получены порошки различного состава, структуры и дисперсности. Данный способ может быть использован для получения W, Mo, Co, Ni и Fe порошков.

4. цементация металлами из растворов. Например, Cu порошок получается в процессе цементации железным скрапом или никелевым порошком.

Порошки Cu, Ni, Fe получают цементацией Al порошком. Но при использовании данного способа, порошки загрязняются цементирующим металлом. При производстве порошков Cu, Ni, Co широкое применение получил способ цементации водородом. Данный метод позволяет получить порошки чистота которых составляет 99,6-99,7 % по металлу.

5. электролиз водных растворов, который находит все более широкое промышленное применение для получения очень тонких, ветвистых по структуре порошкообразных металлов. Данным способом получают Cu, Cd, Sn, Zn, Ni, Pb, Ag, Fe и др., которые обладают таким набором достоинств, как: высокая чистота порошков, мелкие частицы обладают очень развитой поверхностью (больше выступов и впадин), получаются порошки с заданными свойствами. Недостаток данного способа в том, что он требует большого расхода электроэнергии.

6. электролиз расплавленных сред также может быть использован для получения очень тонких порошков Cr, W, Mo, Mn при температурах ниже плавления металлов.

1.2 Основные свойства медных порошков и методы их контроля

При рассмотрении медного порошка возможны два подхода, а именно как материал, используемый в порошковой металлургии, либо как изделие из меди. В обоих случаях к нему предъявляется ряд требований [5].

Как материалу, порошку требуется наличие таких постоянных параметров, как заданный химический состав и заданная насыпная масса. Как изделию, порошку требуется наличие таких постоянных параметров, как определенная форма зерна, определенное значение электрического сопротивления и удельной поверхности [6].

Порошкообразные осадки получают в условиях предельного тока. Структура электроосажденных металлов зависит в первую очередь от соотношения скоростей двух стадий электрокристаллизации: образование центров кристаллизации – зародышей и роста образовавшихся центров кристаллизации. Чем выше катодная поляризация, тем больше затрудняется рост кристаллов, тем более мелкозернистым будет получаться катодный осадок.

Большинство металлов имеют общие условия для образования порошкообразных осадков на катоде, такие как: низкая концентрация соли металлов в растворе и высокая плотность тока. С уменьшением концентрации соли выделяемого металла в растворе, уменьшается плотность тока, при которой на катоде образуется порошок и наоборот [7].

Существует две группы марок медного порошка:

- стабилизированные;
- нестабилизированные.

Для того, чтобы порошок приобрел стойкость к окислению, нужно провести его стабилизацию. Стабилизатором выступает раствор мылонафта.

Нестабилизированные порошки весьма неустойчивы. Это приводит к тому, что сроки его хранения ограничены, даже при использовании герметичных тар.

Различия марок порошков заключаются в:

- Дендритности частиц. Обладая дендритной структурой, частицы имеют много выступов активных центров, позволяющих улучшить электрический контакт с частицами других материалов, используемых при изготовлении изделий прессованием. Кроме того, дендритность медного порошка позволяет сохранить однородность смеси порошков, предохраняет его от слипания. Дендритность медного порошка определяется просмотром образца под микроскопом.

- Гранулометрическом составе. Гранулометрический или ситовый состав порошка характеризует размер его частиц. Это главное различие марок порошка. Определение гранулометрического состава проводится просеиванием навески порошка через набор различных сеток [8].

- Насыпной массе. Наряду с гранулометрическим составом насыпная масса является также основным показателем, определяющим марку порошка. Насыпная масса – это масса единицы объема свободно насыпанного порошка,

она измеряется в г/см^3 . Чем крупнее частицы порошка и меньше их дендритность, тем больше насыпная масса.

- Текучести порошка. Во времени прохождения навески через отверстие определенного размера.

- Химическом составе. Химический состав медного порошка должен соответствовать нормам, предусмотренным ГОСТом: меди не менее 99,5 %, Pb не более 0,05 %, Sb не более 0,01 %, As не более 0,005 %, прокаленного остатка не более 0,05 %.

- Удельном электрическом сопротивлении. Определяют только для порошка, применяемого для изготовления особо ответственных медно-графитовых изделий.

- Удельной поверхности. Она измеряется в см^2 на 1 г порошка, характеризуя его ситовой состав и дендритность.

- Стабильности порошка. А именно в способности порошка сохранять свои первоначальные свойства. Порошковая медь в отличие от компактной легко окисляется на воздухе и подвергается воздействию других коррозионных агентов. Поэтому порошок содержит больше поверхностных примесей окислов, которые обладают способностью поглощать влагу атмосферы, что ускоряет коррозию. Для того чтобы остановить или замедлить процессы окисления, применяют целый ряд средств. Большинство выпускаемых порошков стабилизируют – покрывают слоем специального вещества, защищающего его от окисления и делающего порошок не смачиваемым. Срок годности стабилизированного порошка 6 месяцев с момента упаковки. Срок годности нестабилизированного порошка – 1,5 месяца [9].

1.3 Электролиз меди с нерастворимыми анодами

Конечной стадией извлечения меди из руд пирометаллургическим методом является электролитическое рафинирование, которое представляет

собой анодное растворение пирометаллургического металла, загрязненного примесями и осаждение его на катоде в том же самом электролизере в более чистом виде [10].

Преимуществом гидроэлектрометаллургических процессов перед металлургическими переделами является более тщательная переработка руд с малым содержанием меди и полиметаллических руд с отдельным получением чистого продукта и сопутствующих полезных компонентов [10].

При электроэкстракции меди на катоде происходит тоже самое что и при электрорафинировании меди, и процесс заключается в разряде ионов Cu^{2+} :



Материалом анода является свинец, на котором протекают следующие реакции:

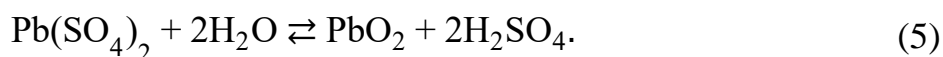


На аноде сначала растворяется металлический Pb, так как эта реакция имеет наиболее отрицательный равновесный потенциал ($\varphi_{\text{Pb}/\text{Pb}^{2+}} = -0,13 \text{ В}$) [11]. Это наблюдается в первый момент электролиза с новыми анодами. Перешедшие в раствор ионы Pb^{2+} образуют с ионами SO_4^{2-} отложения на поверхности анода. В дальнейшем нерастворимая пленка PbSO_4 , пассивирует поверхность анода, так как является непроводником [12].

У поверхности анода возможно протекание еще одной реакции. Она, возможна, из-за нахождения равновесного потенциала данной реакции между потенциалами растворения анода и выделения кислорода. Это реакция окисления Pb^{2+} до Pb^{4+} :

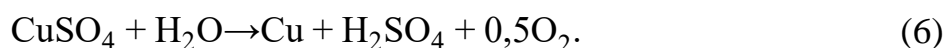


Образующийся при этом сульфат свинца четырехвалентного гидролизует, образуя двуокись свинца:



При этом PbO_2 частично задерживается в порах образованной на поверхности анода пленке из $PbSO_4$, что способствует упрочнению слоя и защите анода от растворения. Потенциал анода еще больше возрастает и достигает потенциала выделения кислорода. Начиная с этого момента процесс выделения кислорода становится преобладающим [13].

Химическая реакция, которая протекает в ванне электроэкстракции меди, аналогична таковой в регенерационной ванне:



Теоретическое напряжение разложения для этой реакции равно 0,89 В. Практическое напряжение на ванне составляет от 1,8 до 2 В, благодаря катодной поляризации, кислородному перенапряжению и падению напряжения в электролите [13].

Выход по току на катоде может составлять от 60 до 90 %. Теоретический расход энергии на электроэкстракцию составляет 760 кВт·ч на 1 тонну меди. В практическом применении данного метода видно, что высокое напряжение на ванне и низкий выход по току обеспечивает расход электроэнергии в пределах от 2000 до 2400 кВт·ч/т меди. Из этого видно, что электроэкстракция является энергоемким процессом [13].

1.4 Влияние условий ведения процесса на формирование и свойства медного порошка.

Основные параметры процесса электролиза, влияющие на свойства конечного продукта, а именно медного порошка:

- плотностью тока,
- скоростью циркуляции,
- температурой электролита,
- составом электролита,
- частотой съема порошка с катодов,

- сроком выгрузки его из ванн.

1.4.1 Плотность тока

С повышением плотности тока в электролитной ванне происходит целый ряд качественных изменений, причем наиболее существенно изменяются структура катодного осадка и спаянность его кристаллов.

Для получения плотного осадка на катоде исключительно важно обеспечить достаточное количество ионов меди в прикатодном слое. Только в этом случае вновь зарождающиеся атомы меди создают на катоде плотный, компактный осадок [10].

Достаточную концентрацию ионов меди в прикатодном слое можно обеспечить путем ее повышения в электролите, а также мерами по ускорению доставки ионов меди от анода к катоду, повышенной температурой электролита, увеличенной скоростью циркуляции, сближением электродов. При умеренных плотностях тока эти меры обеспечивают оптимальную скорость расходования ионов из прикатодного слоя электролита.

С увеличением плотности тока расход ионов меди увеличивается и, в конечном счете, наступает момент, когда осадок становится не плотным, губчатым, рыхлым и при дальнейшем увеличении плотности тока порошкообразным. Образование губчатого осадка происходит наряду с выделением водорода, при предельной плотности тока.

Чем меньше содержание меди в электролите, тем раньше достигается предельная плотность тока. Области получения плотного и порошкообразного осадков в зависимости от плотности тока и состава электролита можно представить графически. На рисунке 1 изображена зависимость влияния концентрации соли металла в растворе и плотности тока на качество образования осадков на катоде [14].



Рисунок 1 – Зависимость влияния концентрации соли металла в растворе и плотности тока на качество образования осадков на катоде.

Образование порошкообразного состава объясняется изменением соотношения скоростей стадий процесса кристаллизации. С одной стороны увеличение плотности тока приводит к образованию большого количества центров кристаллизации, с другой – недостаток ионов меди затрудняет нормальный равномерный рост кристаллов осадка (очень быстро в процессе осаждения меняются условия кристаллизации). Наблюдаются попеременные, часто изменяющиеся условия активации и пассивации, что ведет к образованию мелких, не связанных между собой дисперсных частиц осадка – порошка.

Таким образом, высокая плотность тока наряду с пониженным содержанием меди в электролите обеспечивает образование медного порошка на катоде. Порошкообразная медь получается в условиях выше предельной плотности тока и область получения порошка весьма широкая. Однако, изменения предельной плотности тока отражаются на гранулометрическом составе порошка, и поэтому степень свободы её выбора ограничивается [15].

Рост плотности тока благоприятствует образованию более мелких дисперсных порошков. При более высокой плотности тока обеднение прикатодного слоя ионами меди ускоряется, увеличивается количество совместно выделившегося H_2 , затрудняется процесс электролиза.

Таким образом, с одной стороны, увеличивается дисперсность порошка, а с другой стороны ухудшаются технико-экономические показатели вследствие роста напряжения на ванне и падения выхода по току.

В производственных условиях медный порошок может быть получен при плотности тока 1400-1600 А/м². Данная плотность тока обеспечивает свойства порошка, которые удовлетворяют требования ГОСТа.

1.4.2 Концентрация меди в электролите

Наряду с плотностью тока, содержание меди в электролите является очень важным фактором при получении порошков. С увеличением содержания меди увеличивается концентрация в прикатодном слое, улучшаются условия роста кристаллов, что ведет к получению более крупных кристаллов. При этом увеличивается насыпная масса порошка, увеличивается выход по току, снижается напряжение на ванне [16].

Из данных источника [17] получена зависимость значений выхода по току и насыпной массы от концентрации меди в электролите. Значения представлены в таблице 1. Данные значения указывают на то, что с ростом концентрации меди, растет выход по току, и падает напряжение.

Таблица 1 – Зависимость выхода по току и насыпной массы от концентрации меди

| Концентрация меди, г/л | V_t , % | Напряжение, В | Насыпная масса, г/см ³ |
|------------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|
| 4 | 78,0 | 1,1 | 1,10 |
| 6 | 82,0 | 1,1 | 1,17 |

Продолжение таблицы 1

| Концентрация меди, г/л | V_T , % | Напряжение, В | Насыпная масса, г/см ³ |
|------------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|
| 8 | 89,0 | 1,2 | 1,17 |
| 10 | 93,0 | 1,2 | 1,27 |
| 12 | 93,5 | 1,3 | 1,37 |
| 16 | 95,5 | 1,3 | 1,47 |

1.4.3 Кислотность электролита

Содержание H_2SO_4 в электролите оказывает влияние только на выход по току и расход электроэнергии, а влияние на гранулометрический состав оказывается незначительным.

Повышение концентрации серной кислоты вызывает повышение дисперсности порошка. Это объясняет повышение кислотности до 160-170 г/л при получении мелкодисперсных порошков. Выпуск более крупных порошков требует поддержания кислотности на уровне 130-150 г/л. Из данных источника [18] получена зависимость выхода по току при различных температурах от концентрации серной кислоты. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость выхода по току при различных температурах от концентрации серной кислоты

| Концентрация кислоты, г/л | V_T , % (60 °С) | V_T , % (30 °С) |
|---------------------------|-------------------|-------------------|
| 50 | 91 | 95.4 |
| 100 | 86.5 | 91.8 |
| 125 | 84.5 | 91.5 |
| 150 | 84 | 91.3 |
| 200 | 83.6 | 90.0 |
| 250 | 83.5 | 90.0 |

1.4.4 Температура электролита

При повышении температуры происходит снижение напряжения на ванне. Это связано с тем, что при увеличении температуры электролита, его сопротивление падает. Но использование в процессе электролиза высоких температур влечет расходы электроэнергии.

Основываясь на данные источника [19] можно сделать вывод о том, что в диапазоне температур от 20 до 70 °С наблюдается тенденция увеличения дисперсности порошка. Данная тенденция не всегда находит доказательства в узких пределах температур.

На практике данные процессы ведутся в интервале температур от 50 до 60 °С. Также в процессе выделяется избыточное тепло, так как процессы ведутся при высоких значениях плотности тока. Чтобы избежать перегрева электролита и сохранения постоянства температуры, используется система циркуляции электролита. Данный перегрев вызван омическим сопротивлением электролита.

1.4.5 Циркуляция электролита

Циркуляция электролита вводится в процесс с целью:

- поддержания заданной температуры электролита в ванне;
- противодействия расслоению электролита вследствие различной плотности его составляющих;
- перемешивание электролита с целью обогащения прикатодного слоя ионами меди (утяжеление у анода и облегчение у катода).

По данным [20] изменение скорости циркуляции в малых пределах почти не имеет влияния на качество порошка и технико-экономические показатели процесса. На предприятиях циркуляция обеспечивает 5-10 кратный обмен электролита в сутки.

1.4.6 Длительность наращивания порошка

Геометрические размеры катода, применяемые для расчета номинальной плотности тока, действительны только в первый момент включения катода в работу. Затем по мере появления порошка истинная плотность тока начинает уменьшаться.

С уменьшением истинной плотности тока на катоде начинают образовываться все более крупные частицы порошка. Несвоевременное удаление порошка может привести к короткому замыканию и ухудшает свойства порошка. На практике длительность наращивания осадка составляет 30-90 минут. Из данных источника [19] получены данные зависимости насыпной массы от времени наращивания порошка. Данные значения указывают на то, что с увеличением длительности наращивания влечет за собой увеличение насыпной массы порошка. Также содержания частиц более крупного размера, что влечет увеличение выхода по току. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимость содержания фракций с частицами определенного размера от времени наращивания порошка

| Время наращивания порошка, мин | Выход по току, % | Содержание фракции, % (по массе), с размерами частиц, мкм | | | | Насыпная масса фракции <55 мкм, г/см ³ |
|--------------------------------|------------------|---|------|------|------|---|
| | | >145 | >100 | >75 | <55 | |
| 5 | 90,0 | 16,6 | 15,8 | 16,6 | 11,3 | 1,1 |
| 15 | 91,4 | 13,3 | 13,3 | 15,5 | 12,2 | 1,1 |
| 20 | 90,7 | 4,6 | 10,2 | 16,4 | 14,8 | 1,0 |
| 30 | 93,5 | 4,8 | 10,5 | 16,8 | 14,8 | 1,2 |
| 40 | 93,9 | 7,6 | 9,9 | 16,2 | 13,5 | 1,2 |
| 60 | 96,8 | 14,5 | 19,4 | 22,1 | 12,7 | 1,2 |
| 300 | 97,9 | 54,3 | 16,3 | 13,6 | 6,2 | 1,3 |

1.4.7 Примеси ионов

В ванне наряду с основными составляющими электролита всегда присутствуют и другие вещества. Посторонние вещества могут попасть в электролит с анодов, с кислотой, с водой. С анода переходят K, Na, Ca, Mg, Fe, Ni, Al, Sb, As, Bi. Они, конечно, оказывают влияние на свойства порошка.

Особое место занимает ион хлора, поступающий главным образом с водой. При помощи хлора удается регулировать дендритность, насыпной вес и гранулометрический состав порошка. Ионы хлора вместе с одновалентной медью образуют в электролите коллоидные частицы, которые блокируют активные участки растущего осадка, создают препятствия его росту, что приводит к образованию более качественного осадка. При избытке хлора, порошок получается настолько тонким и легким, что пузырьки водорода поднимают его вверх в виде пены. Поэтому содержание хлора следует иметь в пределах 0,5-4 г/л и строго контролировать [21].

1.5 Подготовка порошка к товарному виду

Промывка порошка. Данный процесс преследует цель – избежать окисление готового к реализации порошка. Данный процесс может быть осуществим в промывателях. Процесс заключается в промывании порошка водой при определенных температурах, которые зависят от того, какой порошок должен быть получен в итоге. Стабилизированный порошок предполагает промывание водой, которая имеет температуру 45 °С, а при выпуске нестабилизированного – 70-90 °С, при этом расход составляет 6-8 м³ воды на 1 т порошка. [21].

Схема промывателя изображена на рисунке 2.

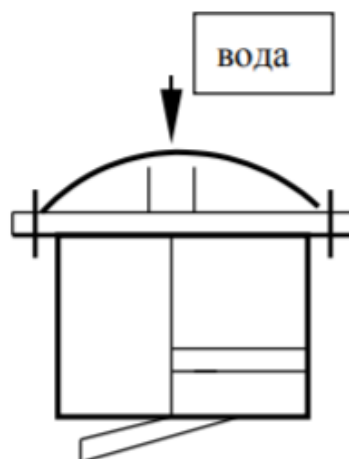


Рисунок 2 – Схема промывателя

Обезвоживание порошка применяется для облегчения последующей сушки. Применяются следующие методы обезвоживания:

- а) центрифугирование (недостаток – нарушение дендритной структуры);
- б) после охлаждения в тех же промывателях (недостаток – возможность окисления сжатым воздухом).

Сушка порошка. Данный процесс проводится для снижения влажности осадка с 10-35 % до 0,05 %. В связи с возможностью окисления, непрерывные процессы применения не нашли. Известны следующие способы проведения процесса сушки:

- а) вакуумная тонкого слоя порошка;
- б) под давлением паров толстого слоя порошка;
- в) с применением восстановительной атмосферы,
- г) с использованием электрообогреваемых котлов.

Размол и просев порошка. Данный процесс способствует увеличению объемного веса порошка. Процесс размола аппаратно представлен шаровыми мельницами. Просев в свою очередь проводится на латунных или никелевых сетках. Конечное смешение фракций проводится с целью получения порошка конкретных марок.

Стадия упаковки имеет следующие требования:

1. Средний размер зерен должен быть в пределах от 0,10 до 0,05 мм;
2. Объемный насыпной вес должен составлять от 1,35 до 1,75 г/см³;
3. Химический состав: Cu не менее 99,5 %, Fe не более 0,02 %, Pb не более 0,05 %, As не более 0,005 %, Sb не более 0,01 %, SO₄ не более 0,01 %, H₂O не более 0,05 %.

1.6 Устройство электролизеров

Процесс электролитического получения медных порошков проводится в электролитных ваннах. Ванна представляет собой сосуд, который обладает стойкостью к кислотам, механическим воздействиям, также она должна быть изолирована от земли и от оборудования.

Электрический постоянный ток подводится к ванне по медным шинам, соединенным с электродами.

Электролитная ванна должна быть:

- прочной и жесткой, выдерживать массу электродов и электролита;
- стойкой к воздействию кислот в диапазоне температур 50-60 °С;
- удобной для организации циркуляции электролита.

Ванны ящичного типа отличаются своей компактностью, поэтому в той или иной конструкции они применяются для выпуска медных порошков. Каркасы ванн изготавливают из дерева или железобетона. В качестве кислотостойкой футеровки применяют винипласт, рольный сурьмянистый свинец и в последнее время кислотостойкие материалы, не требующие футеровки. При увеличивающемся выпуске порошка создается необходимость в механизации его съема и выгрузки из ванн [22].

Для того чтобы порошок самопроизвольно поступал в коническое дно ванны, оно должно иметь наклон не менее 45 °. На рисунке 3 изображена схема ванны с наклонным дном.

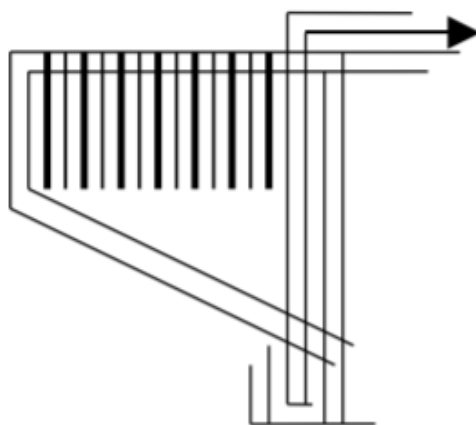


Рисунок 3 – Схема ванны с наклонным дном

Причем ванна может быть с односторонним наклонным дном и с двухсторонним. Для выгрузки порошка из ванны с односторонним наклонным дном применяется вакуумная откачка электролита с порошком. Ванны в электрической цепи включаются последовательно, а электроды в ваннах – параллельно.

Катоды могут быть изготовлены из меди, алюминия, титана, сурьмянистого свинца.

По данным источника [18] можно сделать вывод о том, что материал катода влияет на качество медного порошка: высокодисперсные порошки получаются на алюминиевых и свинцовых катодах, а более низкодисперсные получаются на медных основах.

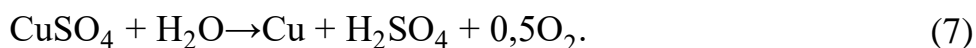
Однако применение Al, Pb-Sb, Ti анодов приводят к загрязнению ими раствора. Хотя съём порошка с медных анодов самый тяжелый, они имеют высокую электропроводность, не загрязняют раствора и имеют продолжительный срок службы 2-3 месяца. Предложены также стержневые медные катоды, а также листовые, перфорированные пластмассовыми пластинами.

1.7 Регенерация электролита

Для получения порошка необходимого, заданного качества, необходимо иметь стабильные условия и, в первую очередь, состав электролита. Обычно состав электролита и плотность тока неустойчивы и постоянно меняются [19]:

- а) происходит растворение анода и загрязнение раствора примесями;
- б) протекает химическое растворение анода;
- в) содержание меди в растворе повышается за счет совместного разряда меди и водорода на катоде.

Цель корректировки электролита – поддержание заданного состава по меди, серной кислоте и ионам хлора. Для снижения содержания меди и повышения содержания серной кислоты можно применять регенерацию электролита. В регенеративных ваннах используются свинцовые нерастворимые аноды, содержащие до 1 % серебра. В регенеративных ваннах протекает реакция разложения сульфата меди с восстановлением иона меди на катоде и кислорода на аноде:



При этом электролит обогащается серной кислотой.

Практически часть циркулирующего электролита направляется в регенерационные ванны. После обработки электролит из регенерационной ванны возвращается обратно в циркуляционную систему.

2 Приборы и методы анализа медного порошка

Медный порошок может быть использован в качестве сырья для порошковой металлургии, что требует соблюдения определенных требований к медному порошку. Химический состав порошка должен отвечать требованиям, также порошок должен обладать соответствующей насыпной массой. В порошковой металлургии такой материал используется в первую очередь для производства разного рода спеченных изделий. Это могут быть, к примеру, всевозможные кольца, втулки и другие изделия.

Также медный порошок используется в качестве пигмента при изготовлении разного рода красок. В металлургической промышленности его применяют для напылительных процессов. Также этот материал используется при производстве угольных электродов. Такое использование порошка требует наличия зерна определенной формы, необходимое электрическое сопротивление и удельную поверхность, обладать стабильностью свойств.

Медные порошки бывают двух типов: стабилизированные и нестабилизированные [19]. Стабилизированные порошки проходят специальную обработку, после чего они становятся стойкими к окислению. Нестабилизированный порошок весьма неустойчив, что приводит к уменьшению срока его хранения, даже в герметизированной таре. В зависимости от способа получения порошка его частицы имеют шарообразную, аморфную, пластинчатую и дендритную форму [20].

2.1 Дендритность частиц

Дендритная форма частиц, типичная для порошка, получаемого электролитическим способом, отличается высокоразвитой поверхностью. Обладая дендритной структурой, частицы имеют множество выступов – активных центров, которые позволяют улучшить электрический

контакт с частицами других материалов, используемых при изготовлении изделий прессованием. Дендритность порошка позволяет сохранить однородность смеси порошков, предохраняя его от неоднородности сплава по химическому составу. Дендритность медного порошка определяется просмотром образца под микроскопом. Образец готовят следующим образом: порошок перемешивают с бакелитовым лаком и мазок смеси наносится на стальной или угольный кубик. После того, как бакелитовый лак затвердеет, готовят шлиф. На шлифе под микроскопом удастся увидеть каждую частицу в отдельности и определить ее конфигурацию [20].

2.2 Гранулометрический состав

Гранулометрический состав порошка характеризует размер его частиц. Медный порошок состоит из частиц самого различного размера что объясняется многими причинами. Например, при разрыхлении или размоле порошка появляется множество осколков хрупких дендритов, получаемых при электролизе. Дендриты во время просева или смешивания могут сцепляться между собой, образуя мелкие агрегаты. Таким образом, в порошке, как до просева, так и после можно обнаружить частицы очень маленьких размеров, измеряемых от микрометров до сотен микрометров. Такой порошок называется полидисперсным. Если порошок состоит в основном из очень мелких частиц, его называют высокодисперсным.

Порошки различных марок в основном отличаются гранулометрическим составом. Ситовый анализ применяется для определения гранулометрического состава. Навеску порошка последовательно просеивают через набор различных сеток. Частицы, прошедшие или оставшиеся на сетке, взвешивают. Таким образом, навеску распределяют по классам и рассчитывают содержание каждого класса в процентах.

Для того чтобы получить воспроизводимые результаты ситового анализа конкретного порошка, его проводят в совершенно одинаковых условиях: применяют определенные сетки, навеску просеивают определенное количество времени при одинаковой частоте и силе встряхивания.

Согласно ГОСТ 4960-2017 [21] и техническим условиям, для измерения гранулометрического состава медного порошка используются сетки 045, 0224, 018, 014, 01, 0071, 0063, 0045. Для того чтобы ситовый анализ проводился в определенных условиях, пробу в 25 г просеивают при помощи ситовых анализаторов в течение 20 мин [20].

На рисунке 4 представлен общий вид ситового анализатора марки 028М. Он приводится в движение электродвигателем 1. В корпусе 5 установлен редуктор, работающий на масляной ванне. Ось набора сит 4 смещена от оси вращения вала, поэтому сита выполняют круговые движения. Для того чтобы сита во время колебаний не вращались вокруг собственной оси, на корпусе анализатора имеется кулиса 2. Кроме того, колотушка 3 через резиновую прокладку на крышке постукивает по набору сит с определенной частотой.

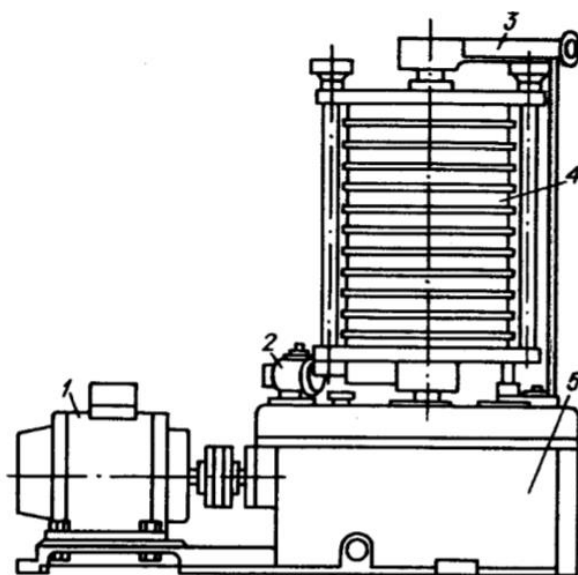


Рисунок 4 – Ситовый анализатор марки 028М

После просеивания взвешивают порошок, оставшийся на сетках, и порошок, прошедший через нижнюю самую мелкую сетку. Потери порошка

вследствие распыления через неплотности каркасов сеток не должны превышать 2 % от массы навески [20].

Порошок взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Для определения содержания более мелких фракций ситовый анализ не подходит, так как через более мелкие сетки, чем 0045, порошок просеивается крайне плохо.

2.3 Химический состав порошка

Химический состав порошка должен соответствовать всем нормам, предусмотренным в ГОСТ 4960-2017 [21]. Допустимые концентрации примесей представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав порошка

| Марка порошка | Массовая доля, % | | | | | | | | |
|---------------|------------------|-------|------|-------|-------|----------------|-------------------------------|---|-----------------|
| | Cu, не менее | Fe | Pb | As | Sb | O ₂ | SO ₄ ²⁻ | Прокаленного остатка после обработки азотной кислотой | Влаги, не более |
| ПМС-В | 99,5 | 0,018 | 0,05 | 0,003 | 0,005 | 0,10 | 0,01 | 0,04 | 0,05 |
| ПМС-1 | 99,5 | 0,018 | 0,05 | 0,003 | 0,005 | 0,20 | 0,01 | 0,04 | 0,05 |
| ПМС-11 | 99,5 | 0,018 | 0,05 | 0,003 | 0,005 | 0,20 | 0,01 | 0,04 | 0,05 |
| ПМС-А | 99,5 | 0,018 | 0,05 | 0,003 | 0,005 | 0,30 | 0,01 | 0,04 | 0,05 |
| ПМС-К | 99,5 | 0,06 | 0,05 | 0,003 | 0,005 | 0,50 | 0,01 | 0,05 | 0,05 |
| ПМС-Н | 99,5 | 0,06 | 0,05 | 0,003 | 0,005 | 0,50 | 0,01 | 0,05 | 0,05 |

Содержание меди в порошке определяется электрохимическим способом. Навеску порошка растворяют в смеси кислот, азотной и серной в отношении 3:1 при температуре 60 °С. Полученный раствор разбавляют раствором азотнокислого аммония и ведут электролиз с выделением меди на катоде. Материалом для анода и катода выступает платина. Наличие ионов меди в растворе проверяют с помощью гексацианоферрат (III) калия. После того, как

раствор не меняет окраску при добавлении гексацианоферрата калия, катод извлекают, далее сушат и взвешивают. Исходя из значений разности масс катода до и после процесса электролиза, судят о количестве меди [19].

2.4 Удельная поверхность

Удельная поверхность характеризует ситовый состав порошка и его дендритность. В отечественной и зарубежной практике существует ряд конструктивных вариантов устройств для определения удельной поверхности методом воздухопроницаемости слоя. Эти приборы можно разделить на два типа. В одном – расход воздуха, протекающего через слой материала в течение опыта, постоянен, в другом – не стационарен. К первому типу приборов относится прибор Ли и Нерса и применяемый в отечественной практике прибор Товарова, ко второму – приборы Бейна, Фридриха и используемый в России аналог – прибор ПСК-2. Устройство прибора Товарова изображено на рисунке 5.

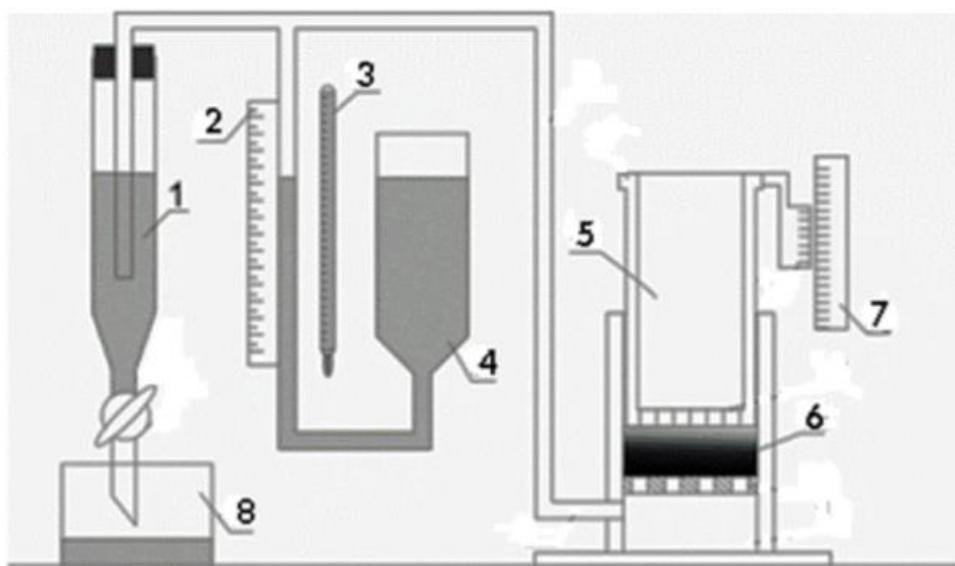


Рисунок 5 – Устройство прибора Товарова:

- 1 – склянка Мариотта; 2 – манометр; 3 – термометр; 4 – емкость с водой;
5 – плунжер; 6 – исследуемый порошок; 7 – шкала; 8 – стакан.

Постоянство расхода воздуха, просасываемого через слой в варианте прибора Товарова, показанном на рисунке 5, поддерживается при помощи склянки Мариотта. из которой вода через наконечник с краном сливается в стаканчик. Перепад давлений в слое измеряется с помощью одноколенного манометра с резервуаром, при стационарном режиме течения воздуха через слой, уровень жидкости в трубке манометра должен остаться постоянным. Температура воздуха измеряется термометром. Склянка Мариотта соединена резиновым шлангом со штуцером нижней камеры под опорной решеткой, над которой располагается слой испытуемого измельченного материала. Перед засыпкой материалов в кювету на опорную решетку укладывается кружок из двух слоев фильтровальной бумаги. Засыпанный слой материала уплотняют при помощи плунжера, имеющего в своей нижней части впрессованный перфорированный диск. Высоту слоя контролируют по шкале с нониусом. Объем анализируемой пробы, засыпаемой в кювету, подбирается таким образом, чтобы фланец при нажатии на плунжер доходил или почти доходил до края корпуса кюветы.

При помощи прибора Товарова, по мнению его автора, воспроизводимые величины удельной поверхности получаются в диапазоне значений 3000-15000 см²/г [25].

Удельная поверхность исследуемого порошка определяется по формуле:

$$S = \frac{4 \cdot \sqrt{\delta^3}}{\rho \cdot (1 - \delta)} \cdot \sqrt{\frac{F \cdot \tau \cdot \Delta P}{H \cdot \mu \cdot V}} \quad (8)$$

где S – удельная поверхность, см²/г;

ρ – плотность порошка, г/см³;

ΔP – разность давлений воздуха под слоем и атмосферным давлением, см. вод.ст.;

μ – динамическая вязкость воздуха, г/(см·с);

V – Объем воздуха прошедшего за время τ , см³;

F – Площадь поперечного сечения кюветы, см²;

H – высота кюветы с порошком, см.

2.5 Стабильность порошка

Стабильность порошка определяет его способность сохранять свои первоначальные свойства. Медный порошок в отличие от компактной меди более реакционноспособный и легко окисляется на воздухе кислородом и другими коррозионными агентами.

Порошок обладает более развитой поверхностью, это способствует образованию на его поверхности различных примесных соединений, в основном окислов. Окислы обладают способностью поглощать влагу из атмосферы, что способствует ускорению коррозии. Для замедления или остановки процесса окисления медного порошка может быть применен целый ряд средств.

Условия хранения и транспортировки медного порошка, а также срок годности описаны в ГОСТе [21]. Сегодня практически все выпускаемые марки медного порошка стабилизируют – покрывают тонким слоем специального вещества, которое защищает его от окисления и делающего порошок несмачиваемым. Мелкий порошок с развитой поверхностью является очень реакционным материалом, особенно при повышенной температуре. Срок годности стабилизированного порошка 6 месяцев с момента упаковки [19]. Порошок необходимо хранить в герметичной закрытой таре, в сухих закрытых складских помещениях, при температуре не более 20 °С, при отсутствии в окружающей среде окисляющих веществ. Срок годности нестабилизированного порошка 1,5 месяца со дня упаковки [19]. На практике же, бывают случаи, когда порошок значительно меняет свои первоначальные свойства.

На дендритность и гранулометрический состав может повлиять длительная железнодорожная перевозка. Вследствие воздействия вибрации порошок может измельчиться и попасть к потребителю более мелким, чем он должен быть. Очень неустойчивыми являются такие показатели, как содержание

кислорода и электрическое сопротивление порошка. Процесс окисления все равно происходит не смотря на применение стабилизаторов, что отражается на увеличении его электрического сопротивления.

Особенно быстро этот процесс можно наблюдать у нестабилизированных порошков при нарушении герметичности упаковки. Окисленный медный порошок легко отличить по цвету: из медно-розового он становится сначала красным, а затем коричневым.

В следствии нестабильности этих показателей у разных производителей они могут отличаться, поэтому в ГОСТе [21] указаны допустимые интервалы, характеризующие те или иные свойства.

3 Технологическая часть

Процесс, рассматриваемый в данном дипломном проекте необходим для разработки и получения медного порошка при электролизе растворов [15].

Для данного процесса необходима следующая последовательность основных операций: подготовка электролита, проведение процесса электролиза меди, снятие порошка с поверхности катода, промывка, стабилизация, обезвоживание, сушка, дробление, классификация, упаковка, расфасовка, складирование.

Технологическая схема получения медного порошка представлена на рисунке 6.

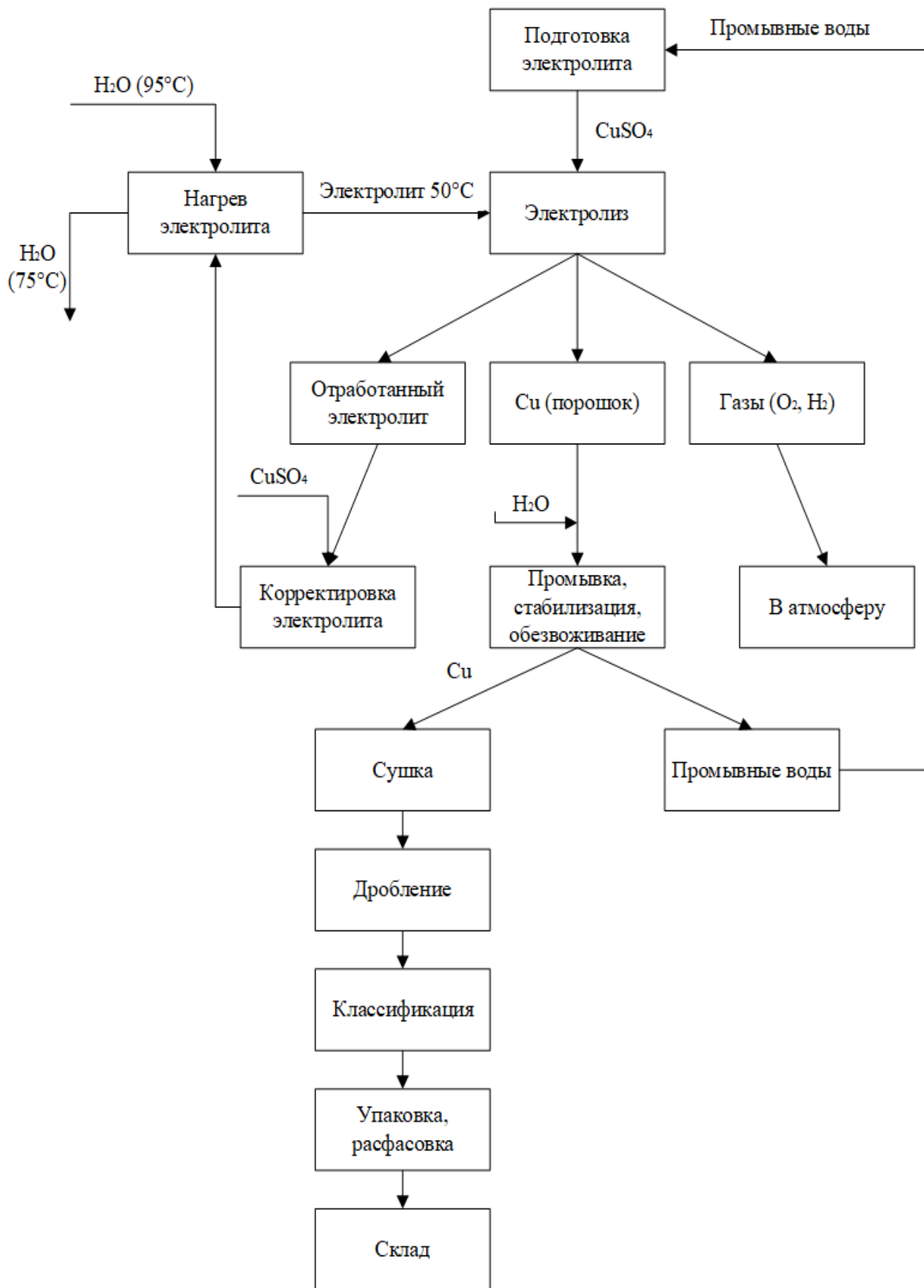


Рисунок 6 – Технологическая схема получения медного порошка электролизом

3.1 Аппаратурно-технологическая схема

Основными аппаратами процесса электролитического получения медного порошка выступают электролитические батареи (ЭлБ). В одной электролитической батарее заключено 7 ячеек. Процесс является полунепрерывным.

Электролит поступает с участка производства медных катодов электролизом. После достижения определенной концентрации электролит отправляется на корректировку. На этом этапе часть электролита отводится на наш участок.

Процесс начинается с корректировки электролита в агитаторе (9). Необходимо приготовить раствор с концентрациями 180 г/л по серной кислоте и 8 г/л по меди. Из агитатора раствор при помощи насоса подается в теплообменник (5), где нагревается до рабочей температуры 50 °С. Затем раствор подается в электролизную ванну (1), где непосредственно происходит процесс электролиза.

Осаждение длится 15 минут, затем включаются щетки для снятия осадка с поверхности катода. Удаленный осадок поступает в фильтрующие центрифуги (3-1,3-2), где осадок осаждается на перфорированный барабан, внутренняя поверхность которого покрыта фильтрующей перегородкой. Далее, отфильтрованный порошок отправляется на сушку в вакуум-сушильный шкаф (4-1,4-2), где сушится при температуре 100 °С. Высушенный порошок отправляется на упаковку и складирование [2].

Процесс является непрерывным и представляет собой замкнутую линию, по которой происходит циркуляция электролита.

В ходе процесса электролитный раствор истощается по содержанию меди и насыщается серной кислотой. В связи с этим из электролизной ванны раствор поступает в сборный бак (6), из которого, при большой концентрации серной

кислоты, отводится часть раствора, которую можно направить на выщелачивание [3].

Свойства медного порошка чувствительны к изменениям параметров проведения процесса. В связи с этим возникает необходимость постоянного поддержания одинаковой концентрации компонентов электролита.

Раствор из сборного бака (6) поступает в агитатор (8), в котором происходит корректировка электролита, по всем компонентам входящим в состав, до значений необходимых для электролиза, а затем происходит его возвращение в электролизеры.

3.2 Аппаратурный расчет основного аппарата

Исходя из задания, требуется разработать участок производства с производительностью 80 тонн медного порошка в год. Для этого необходимо определить время работы основного аппарата. Примем, что аппарат работает 168 часов в неделю, рабочий персонал работает по 84 часа в 2 смены в неделю. Следовательно, 24 часа в день, семь дней в неделю.

Также необходимо учесть время простоя оборудования во время технического обслуживания. Примем время простоя для разрабатываемого аппарата таким же, как для электролизера производства водорода типа ЭФ-24/12-12 и Эф-24/6-12. Периодичность и виды работ указаны в таблице 5 [22].

Таблица 5 – Нормативы периодичности, продолжительности и трудоемкости технического обслуживания и ремонта оборудования

| Оборудование | Периодичность ТО и Р (числитель) и продолжительность простоя (Знаменатель), ч | | | Трудоемкость одного ремонта, чел.ч | | |
|--------------|---|---|---------|------------------------------------|---|-----|
| | ТО | Т | К | ТО | Т | К |
| | Электролизеры типа ЭФ-24/12-12 и Эф-24/6-12 | – | 4320/56 | 69120/160 | – | 125 |

Исходя из данных таблицы 4 делаем вывод, что за 2020 год время работы оборудования составляет:

$$\tau_{\text{раб}} = 8760 - 56 \cdot 2 = 8648 \text{ ч.}$$

Процесс является полу непрерывным. Процесс осаждения длится 15 минут, а процесс снятия осадка 5 минут. Тогда время проведения процесса равна осаждения 6486 часов

Рассчитываем габаритные размеры аппарата, исходя из заданной производительности $Q = 80 \text{ т/год}$. Переводим значение производительности в кг/час:

$$Q = \frac{80 \cdot 1000}{6486} = 12,334 \frac{\text{кг}}{\text{час}}.$$

Формула расчета производительности электролизера за 1 час:

$$Q_{\text{час}} = I \cdot \tau \cdot V_T \cdot q, \quad (9)$$

где: I – сила тока, А;

τ – время работы, час;

V_T – выход по току, в долях единицы;

q – электрохимический эквивалент, г/(А·ч).

Исходя из формулы (8) можем рассчитать общую силу тока, необходимую для проведения процесса:

$$I = \frac{Q}{\tau \cdot V_T \cdot q}; \quad (10)$$
$$I_{\text{общ}} = \frac{12334}{1 \cdot 0,85 \cdot 1,186} = 12234,89 \text{ А.}$$

Зная значения тока и приняв значение плотности тока 1000 А/м^2 , можно рассчитать общую рабочую площадь катода по формуле:

$$S_{\text{кат}} = \frac{I_{\text{общ}}}{i_{\text{кат}}}; \quad (11)$$

где $I_{\text{общ}}$ – общая сила тока;

$i_{\text{кат}}$ – плотность тока на катоде.

$$S_{\text{кат}} = \frac{12234,89}{1000} = 12,24 \text{ м}^2.$$

В электролит погружено 80 % поверхности катода. Исходя из этого общая площадь катодов составляет:

$$S_{\text{кат}} = \frac{12,24 \cdot 100}{80} = 15,3 \text{ м}^2.$$

Исходя из того, что катод имеет форму цилиндра, который одновременно является корпусом электролитической ячейки. Примем внутренний диаметр катода равным 800 мм и высоту 600 мм. Определим площадь катода по формуле:

$$S_{\text{кат}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H = \pi \cdot D \cdot H. \quad (12)$$

$$S_{\text{кат}} = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 1,5 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем рабочую площадь катода:

$$S_{\text{р.к.}} = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем необходимое количество ячеек, для удовлетворения заданной производительности в год:

$$N_{\text{ячеек}} = \frac{\sum S_{\text{кат}}}{S_{1 \text{ кат}}} = \frac{15,3}{1,2} = 12,75 \approx 13 \text{ ячеек.} \quad (13)$$

Так как ячейки разделены на два контура, то необходимое количество ячеек составляет 14.

Можем рассчитать необходимое значение тока в одной ячейке, чтобы удовлетворять значение заданной плотности тока:

$$I = 1000 \cdot 1,2 = 1200 \text{ А.}$$

Далее определим площадь анода. Примем диаметр анода равным 120 мм.

Найдем рабочую площадь анода по формуле:

$$S_{\text{анода}} = \pi \cdot D \cdot H = 3,14 \cdot 0,12 \cdot 0,6 = 0,23 \text{ м}^2. \quad (14)$$

Также рассчитаем рабочую площадь анода:

$$S_{\text{р.а.}} = 0,8 \cdot 0,23 = 0,18 \text{ м}^2. \quad (15)$$

Рассчитаем анодную плотность тока:

$$i_{\text{ан}} = \frac{I}{S_a} = \frac{1200}{0,18} = 6666,67 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}. \quad (16)$$

Далее определим габаритные размеры ванны. Для этого примем что материал катода выполняется из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т толщиной 2 мм, а анод выполнен из листового свинца С2 изготовленного по ГОСТ 9559-89 толщиной 5 мм.

Объем ванны будет рассчитываться из суммы объемов верхней и нижней частей:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{в.ч.}} + V_{\text{н.ч.}} \quad (17)$$

Верхняя часть представляет собой цилиндр, объем которого рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{в.ч.}} = \pi \cdot r^2 \cdot H, \quad (18)$$

где r – внутренний радиус ванны, мм;

H – высота ванны, мм.

$$V_{\text{в.ч.}} = 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ м}^3.$$

Нижняя часть аппарата выполнена в виде усеченного конуса, следовательно, объем нижней части определим по формуле:

$$V_{\text{н.ч.}} = 0,33 \cdot \pi \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) \cdot H, \quad (19)$$

где R – радиус при большем основании, мм;

r – радиус при меньшем основании, мм;

H – высота боковой стороны конуса, мм.

Для того чтобы порошок самопроизвольно поступал в коническое дно ванны, оно должно иметь наклон не менее 45° . Исходя из этого, дно можно рассмотреть в виде треугольника с основанием 0,8 м, углами при основании 45° . Рассчитав по теореме Пифагора, примем, что длина боковой стороны нижней части ванны 0,56 м, а высота нижней части 0,4 м.

Из уравнения 11 определим объем нижней части аппарата, приняв высоту нижней части ванны 0,4 м.

$$V_{\text{н.ч.}} = 0,33 \cdot 3,14 \cdot (0,4^2 + 0,4 \cdot 0,06 + 0,06^2) \cdot 0,4 = 0,08 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{общ}} = 0,3 + 0,08 = 0,38 \text{ м}^3. \quad (20)$$

Определим объем, который занимают катод и анод:

$$V_{\text{кат}} = \pi \cdot H_{\text{кат}} (R_{\text{кат}}^2 - r_{\text{кат}}^2) = 0,004 \text{ м}^3; \quad (21)$$

$$V_{\text{анода}} = \pi \cdot H_{\text{анода}} (R_{\text{анода}}^2 - r_{\text{анода}}^2) = 0,001 \text{ м}^3. \quad (22)$$

Рабочий объем ванны определим по формуле:

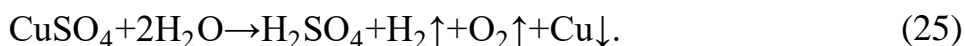
$$V_{\text{раб}} = 0,8 \cdot (V - V_{\text{кат}} - V_{\text{анода}}) = 0,8 \cdot (0,38 - 0,004 - 0,001) = 0,3 \text{ м}^3. \quad (23)$$

Далее необходимо определить объём, занимаемый мешалками, которые представлены в виде щеток для снятия осадка. В аппарат погружаются две щетки цилиндрической формы с радиусом 20 мм и высотой 600мм. Определим объем щеток определим по уравнению:

$$V_{\text{щеток}} = \pi \cdot r_{\text{щеток}}^2 \cdot H_{\text{щеток}} = 3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 0,6 = 0,0007 \text{ м}^3. \quad (24)$$

3.3 Материальный баланс технологической схемы

Суммарная реакция электролиза:



Исходя из того, что электролит имеет концентрацию 8 г/л в пересчете на медь. Рассчитаем состав одного литра электролита.

Медь в растворе находится в виде сульфата меди. Массу сульфата меди можно найти по формуле:

$$m = \frac{m_1 \cdot M}{M_1}, \quad (26)$$

где: $m_1(\text{Cu})$ – масса меди, г;

$M(\text{CuSO}_4)$ – молярная масса сульфата, г/моль;

$M_1(\text{Cu})$ – молярная масса, г/моль.

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{8 \cdot 160}{64} = 20 \text{ г.}$$

Плотность медного купороса 1,2 г/см³, можем рассчитать его объем:

$$V(\text{CuSO}_4) = \frac{20}{1,2} = 16,67 \text{ см}^3. \quad (27)$$

Концентрация серной кислоты в электролите составляет 180 г/л. Плотность концентрированной серной кислоты составляет 1,84 г/см³. Объем серной кислоты, содержащейся в 1 л электролита по уравнению:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (28)$$

где: V – объем, см³;

m – масса, г;

ρ – плотность, г/см³.

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{180}{1,84} = 97,83 \text{ см}^3. \quad (29)$$

Рассчитаем объем воды в 1 л электролита:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 - V_{\text{H}_2\text{SO}_4} - V_{\text{CuSO}_4}, \quad (30)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 - 97,83 - 16,67 = 885,5 \text{ см}^3.$$

В таблице 6 представлено процентное соотношение компонентов в электролите.

Таблица 6 – Состав электролита в 1 л

| Компонент | Концентрация, г/л | Массовая доля, % |
|--------------------------------|-------------------|------------------|
| CuSO ₄ | 16,67 | 1,54 |
| H ₂ SO ₄ | 180 | 16,63 |
| H ₂ O | 885,5 | 81,83 |
| Итого | 1082,17 | 100 |

Можем рассчитать плотность полученного электролита по формуле:

$$\rho_{\text{эл-та}} = \sum \rho \cdot \omega, \quad (31)$$

где: ρ – плотность компонента электролита, г/см³;

ω – массовая доля компонента.

Плотность медного купороса 1,2 г/см³, плотность воды примем 1 г/см³.

$$\rho_{\text{эл-та}} = 1,2 \cdot 0,0154 + 1,84 \cdot 0,1663 + 1 \cdot 0,8183 = 1,14 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Сила тока, протекающая через раствор электролита равна 800 А.

Определим производительность электролизера за час по формуле:

$$Q_{\text{час}} = I \cdot \tau \cdot V_{\text{T}} \cdot q = 1200 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1,186 = 1209,72 \text{ г.} \quad (32)$$

Количество сульфата меди, необходимое для получения 1209,72 г меди:

$$m_{\text{CuSO}_4} = \frac{m_{\text{Cu}} \cdot M_{\text{CuSO}_4}}{M_{\text{Cu}}}, \quad (33)$$

$$m_{\text{CuSO}_4} = \frac{1209,72 \cdot 160}{64} = 3024,3 \text{ г.}$$

Объём электролита в электролизере 0,3 м³. В одном литре содержится 62,5 г CuSO₄. Общее количество сульфата в исходном растворе электролита:

$$m_{0(\text{CuSO}_4)} = \frac{300 \cdot 62,5}{1} = 18750 \text{ г} = 18,75 \text{ кг.} \quad (34)$$

Можем найти количество сульфата, оставшегося в растворе после 1 часа электролиза:

$$m_{0(\text{CuSO}_4)} = 18750 - 3024,3 = 15725,7 \text{ г} = 15,72 \text{ кг.} \quad (35)$$

Определим массу водорода, выделяющегося на катоде:

$$Q_{\text{час}} = I \cdot \tau \cdot V_{\text{T}} \cdot q = 1200 \cdot 1 \cdot 0,15 \cdot 0,037 = 6,66 \text{ г.} \quad (36)$$

Ион SO₄²⁻ не разряжается на аноде, значит его количество в растворе электролита можно рассчитать по формуле:

$$m_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{3024,3 \cdot 96}{160} = 1814,58 \text{ г.} \quad (37)$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1814,58 \cdot 98}{96} = 1852,38 \text{ г.} \quad (38)$$

Выход по току для меди составляет 85 %, следовательно, выход по току для водорода 15 %.

$$m_{\text{H}_2} = 1852,38 - 1814,58 = 37,8 \text{ г} = 0,04 \text{ кг,} \quad (39)$$

$$m_{\text{H}_2} = 38,7 - 6,66 = 32,04 \text{ г.} \quad (40)$$

Определим массу выделившегося кислорода:

$$m_{O_2} = \frac{32,04 \cdot 32}{4} = 256,32 \text{ г} = 0,26 \text{ кг.} \quad (41)$$

Определим массу воды, разлагающейся на аноде:

$$m_{H_2O} = \frac{256,32 \cdot 36}{32} = 288,36 \text{ г} = 0,29 \text{ кг.} \quad (42)$$

Зная процентное содержание компонентов, содержащихся в электролите, можем найти количество каждого из них в объеме раствора:

$$m_{H_2O} = \frac{18,75 \cdot 81,83}{1,54} = 996,31 \text{ кг,} \quad (43)$$

$$m_{H_2SO_4} = \frac{18,75 \cdot 16,63}{1,54} = 202,48 \text{ кг.} \quad (44)$$

Умножим необходимые массы на количество ячеек для составления материального баланса всего процесса.

$$m_{\text{в-ва (12 ячеек)}} = m_{\text{в-ва (1 ячейки)}} \cdot 14. \quad (45)$$

В таблице 7 приведен материальный баланс процесса электролиза в одной ячейке.

Таблица 7 – Материальный баланс процесса электролиза

| Приход | m, кг/час | % | Расход | m, кг/час | % |
|--------------------------------|------------------|------------|--------------------------------|------------------|------------|
| Раствор: | | | Раствор: | | |
| CuSO ₄ | 18,75 | 1,54 | CuSO ₄ | 15,72 | 1,29 |
| H ₂ SO ₄ | 202,48 | 16,63 | H ₂ SO ₄ | 204,29 | 16,78 |
| H ₂ O | 996,31 | 81,83 | H ₂ O | 996,02 | 81,80 |
| | | | Cu | 1,21 | 0,1 |
| | | | Газ: | | |
| | | | H ₂ | 0,04 | 0,009 |
| | | | O ₂ | 0,26 | 0,021 |
| Итого: | 1217,54 | 100 | Итого: | 1217,54 | 100 |

Необходимое количество сульфата меди составляет 3024,3 г, а так как значение выхода по току составляет 85 %, то необходимая масса сульфата меди

составляет 3558 г. Процесс осаждения медного порошка происходит при расходе 4 м³/ч для каждой ячейки. Таким образом для проведения процесса каждый час необходимо 56 м³/ч или 63840 кг/час электролита.

Материальный баланс технологической схемы с учетом 14 ячеек представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Материальный баланс технологической схемы

| Приход | т, кг/час | % | Расход | т, кг/час | % |
|---|------------------|------------|--------------------------------|------------------|------------|
| Электролит для получения медного порошка | | | | | |
| Раствор: | | | Раствор: | | |
| CuSO ₄ | 262,5 | 0,41 | CuSO ₄ | 220,08 | 0,34 |
| H ₂ SO ₄ | 2834,72 | 4,44 | H ₂ SO ₄ | 2860,06 | 4,48 |
| H ₂ O | 13948,34 | 21,85 | H ₂ O | 13944,28 | 21,84 |
| | | | Cu | 16,94 | 0,033 |
| | | | Газ: | | |
| | | | H ₂ | 0,56 | 0,0009 |
| | | | O ₂ | 3,64 | 0,0061 |
| Электролит для организации непрерывного потока | | | | | |
| CuSO ₄ | 720,64 | 1,13 | CuSO ₄ | 720,64 | 1,13 |
| H ₂ SO ₄ | 7781,87 | 12,19 | H ₂ SO ₄ | 7781,87 | 12,19 |
| H ₂ O | 38291,93 | 59,98 | H ₂ O | 38291,93 | 59,98 |
| Итого: | 63840 | 100 | Итого: | 63840 | 100 |

3.4 Механический расчет основного аппарата

Проведем расчет корпуса аппарата на прочность. Корпус аппарата изготовлен из полипропилена, примем, что материал корпуса не подвержен коррозии, тогда коэффициент С зависит только от конструктивной прибавки, примем ее равной 5 мм. Аппарат работает под атмосферным давлением, что соответствует значению 101325 Па. Коэффициент прочности сварного шва

примем равным 1. Допустимое напряжение для полипропилена находим по справочнику, оно равно 17 МПа. Для этого сначала определим толщину стенки обечайки электролизера по формуле:

$$S = \frac{P \cdot D}{\sigma \cdot 2 \cdot \phi - P} + C = \frac{0,1013 \cdot 804}{1 \cdot 2 \cdot 17 - 0,1013} + 5 = 7,4 \approx 8 \text{ мм.} \quad (46)$$

Далее проведем расчет корпуса на жесткость. Для этого необходимо определить отношение высоты аппарата L к его диаметру D , а также квадратный корень отношения диаметра к разнице толщины стенки S к коэффициенту C по формулам [10]:

$$G = \frac{L}{D} = \frac{1000}{804} = 1,24, \quad (47)$$

$$A = \sqrt{\frac{D}{2 \cdot (S - c)}} = \sqrt{\frac{804}{2 \cdot (8 - 5)}} = 11,57. \quad (48)$$

Из полученных соотношений видно, что $G < A$, следовательно обечайку можно считать короткой.

Для короткой обечайки толщину стенки из условия жесткости определяем по формуле:

$$\begin{aligned} S &= 0,47 \cdot \frac{D}{100} \cdot \left(\frac{P}{E \cdot 10^6} \cdot G \right)^{0,4} + C = \\ &= 0,47 \cdot \frac{804}{100} \cdot \left(\frac{0,1013}{1600 \cdot 10^{-6}} \cdot 3 \right)^{0,4} + 5 = 30,81 \approx 30 \text{ мм,} \end{aligned} \quad (49)$$

где E – модуль продольной упругости, МПа.

Для полипропилена E равен 1600 МПа.

Каркас и опора для аппарата выполняется из квадратных профильных труб, изготовленных из стали ст3, соответствующей ГОСТ 13663-86 [23].

Для расчета нагрузки на опоры необходимо рассчитать массу аппарата, которая складывается из массы катода, анода, корпуса и массы электролита.

Рассчитаем массу анода:

$$m = V_a \cdot \rho. \quad (50)$$

Плотность свинца 11340 кг/м³.

$$m_a = 11340 \cdot 0,001 = 11,34 \text{ кг.}$$

Рассчитаем массу катода.

$$m_k = 0,004 \cdot 7800 = 31,2 \text{ кг.}$$

Массу корпуса рассчитаем по формуле:

$$m_{\text{корпуса}} = \rho_{\text{материала}} \cdot V_{\text{стенок}} \quad (51)$$

В свою очередь объем стенок вычисляется по формуле:

$$V_{\text{стенок}} = (V_{(1)} - V_{\text{в.ч.}}) + (V_{(2)} - V_{\text{н.ч.}}), \quad (52)$$

где V_1 – объем верхней части аппарата с учетом стенок, м^3 ;

V_2 – объем нижней части аппарата с учетом стенок, м^3 .

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot H = 3,14 \cdot 0,432^2 \cdot 0,6 = 0,35 \text{ м}^3.$$

$$V_2 = 0,33 \cdot \pi \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) \cdot H = 0,33 \cdot 3,14 \cdot (0,432^2 + 0,432 \cdot 0,095 + 0,095^2) \cdot 0,4 = 0,1 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{стенок}} = (0,35 - 0,3) + (0,1 - 0,08) = 0,07 \text{ м}^3.$$

Плотность полипропилена составляет 900 кг/м^3 .

$$m_{\text{корпуса}} = 900 \cdot 0,07 = 630 \text{ кг.}$$

Масса электролита составляет 342 кг . Рассчитаем общую массу аппарата:

$$m_{\text{апп}} = 11,34 + 31,2 + 630 + 342 = 1014,54 \text{ кг.}$$

Нагрузка на опору рассчитывается по формуле [24]:

$$P_{\text{оп}} = m_{\text{апп}} \cdot g. \quad (53)$$

Нагрузка на опоры составляет:

$$P_{\text{оп}} = 1014,54 \cdot 9,8 = 9,94 \text{ кН.}$$

Аппарат будет закреплен на двух опорных лапах, каждая из которых выдерживает 10 кН . Согласно ГОСТ 26296-84 можем подобрать необходимый размер лап [25]. Размеры опоры представлены в таблице 8.

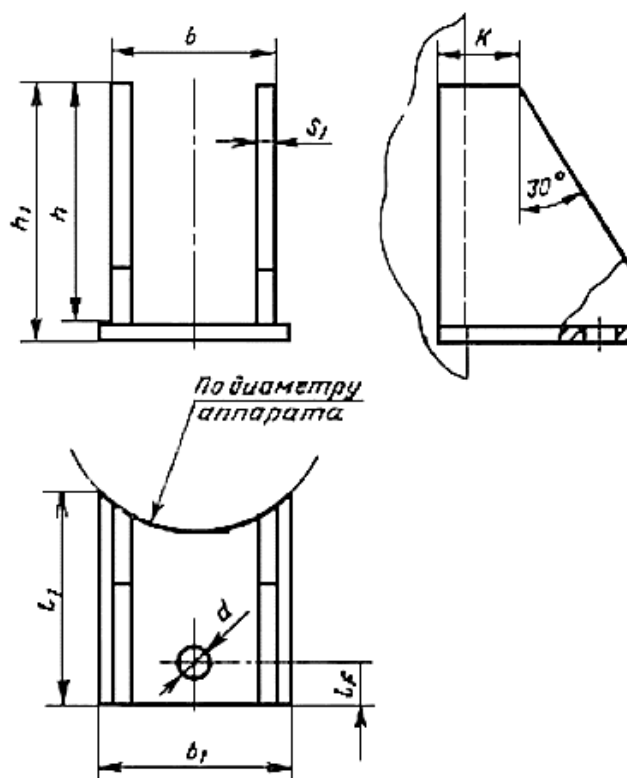


Рисунок 7 – Опора

Таблица 8 – Размеры опоры в мм

| Нагрузка на опору, кН, не более | l_1 | b | b_1 | c | h | h_1 | K | l_f | S_1 | d | S | Катет сварного шва | Масса опорной лапы G , кг |
|---------------------------------|-------|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-------|-------|-----|-----|--------------------|-----------------------------|
| 10 | 80 | 65 | 80 | 45 | 125 | 130 | 15 | 30 | 4 | 24 | 6 | 3 | 0,7 |

Далее подберем мощность двигателя для щеток. Определим критерий Рейнольдса по формуле:

Для того чтобы найти коэффициент трения, рассчитаем модифицированный критерий Рейнольдса [27]:

$$Re = \frac{n \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu}, \quad (54)$$

где: ρ – плотность электролита, кг/м³;

μ – вязкость электролита, Па·с;

n – частота вращения мешалки, c^{-1} ;

D – диаметр щеток, м.

Так как основным компонентом электролита является вода, то принимаем значение вязкости при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ равным $547 \cdot 10^{-6}$ Па·с. Частоту вращения примем равной 1 об/с, плотность электролита 1140 кг/м^3 .

Критерий Рейнольдса составляет:

$$Re = \frac{1 \cdot 0,04^2 \cdot 1140}{547 \cdot 10^{-6}} = 3334,5. \quad (55)$$

Далее определим номинальную мощность по формуле:

$$N_{\text{ш}} = k_n \cdot k_s \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5, \quad (56)$$

где k_s – коэффициент, зависящий от гидравлического сопротивления и трения щеток об электроды;

k_n – коэффициент мощности.

Исходя из данных источника [26] коэффициент k_s принимаем равным 99778, а коэффициент k_n равным 1.

$$N_{\text{ш}} = 99778 \cdot 1 \cdot 1140 \cdot 4^3 \cdot 0,04^5 = 754,45\text{ Вт.}$$

Примем КПД равным 0,75, тогда:

$$N_{\text{ш}} = 754,45 \cdot 0,75 = 993,9\text{ Вт.}$$

Двигателей с такой мощностью и частотой вращения не существует. Соответственно нужно выбрать привод, в котором комбинирован мотор и редуктор. Лучше всего подойдут мотор-редукторы, предназначенные для установки на перемешивающее оборудование и дробильное оборудование в химической промышленности. Наименьшая частота вращения 500 об/мин и передаточное число редуктора 8,3.

Для наших целей подойдет двигатель и редуктор объединенные в одном узле. Таким двигателем является цилиндро-червячный мотор-редуктор Sew-Eurodrive серии S, Работающий от питания 220/380 В. Сочетание редукторного мотора с цилиндрическими и червячными редукторами предоставляет

возможность создания привода с низкой выходной скоростью и высоким крутящим моментом [27].



Рисунок 8 – Мотор-редуктор Sew-Eurodrive серии S [27]

3.5 Электротехнический расчет основного аппарата

Целью электротехнического расчета является определение напряжения на электролизере, выбор источника тока и расчет удельного расхода электроэнергии.

Для дальнейших расчетов, необходимо рассчитать напряжение на ванне электролизера и удельный расход электроэнергии.

Напряжение на ванне рассчитывается по следующей формуле:

$$U_{\text{ван}} = E_{\text{разл}} + \eta_a + \eta_k + \Delta U_a + \Delta U_k + \Delta U_{\text{эл-та}}, \quad (57)$$

где: $E_{\text{разл}}$ – напряжение разложения электролита, В;

η_a, η_k – перенапряжение анодное и катодное, В;

ΔU_a – падение напряжения на аноде, В;

ΔU_k – падение напряжения на катоде, В;

$\Delta U_{\text{эл-та}}$ – падение напряжения на электролите, В.

Напряжение разложения для пары Cu^{2+}/Cu $E_{\text{разл}} = 0,337$ В.

Рассчитаем падение напряжения на электролите по формуле [24]:

$$\Delta U_{\text{эл-та}} = \frac{I \cdot \rho \cdot l}{(S_a + S_k) / 2}, \quad (58)$$

где: I – сила тока, А;

l – расстояние между анодом и катодом, м;

ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м;

S_a, S_k – площадь анода и катода, м².

Удельное электрическое сопротивление электролита можно найти, зная процентное соотношение компонентов, входящих в электролит и их значение сопротивления [24]:

$$\rho_{Pb} = 2,21 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{Cu} = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{CuSO_4} = 315 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{H_2SO_4} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{H_2O} = 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Можем посчитать сопротивление электролита по формуле:

$$\rho_{\text{эл-та}} = \rho_{CuSO_4} \cdot \omega_{CuSO_4} + \rho_{H_2SO_4} \cdot \omega_{H_2SO_4} + \rho_{H_2O} \cdot \omega_{H_2O}, \quad (59)$$

$$\rho_{\text{эл-та}} = 315 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0154 + 25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1663 + 10^{-3} \cdot 0,8183 = 0,01 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Рассчитаем падение напряжения в электролите:

$$\Delta U_{\text{эл-та}} = \frac{1200 \cdot 0,01 \cdot 0,34}{(0,023 + 1,5)/2} = 5,36 \text{ В}.$$

Падение напряжения на электродах рассчитаем по формулам [24]:

$$\Delta U_a = \rho_a \cdot L_a \cdot i_a, \quad (60)$$

$$\Delta U_k = \rho_k \cdot L_k \cdot i_k. \quad (61)$$

$$\Delta U_a = 2,21 \cdot 10^{-7} \cdot 4,77 \cdot 6666,67 = 0,007 \text{ В};$$

$$\Delta U_k = 7,5 \cdot 10^{-7} \cdot 9,42 \cdot 1200 = 0,008 \text{ В}.$$

Величину катодного и анодного перенапряжения для циркуляционного процесса примем равным [24]: $\eta_a = 0,5 \text{ В}$, $\eta_k = 0,2 \text{ В}$.

Рассчитаем напряжение на ванне:

$$U_{\text{ван}} = 0,337 + 0,2 + 0,5 + 5,36 + 0,007 + 0,008 = 6,412 \text{ В}.$$

Рассчитаем удельный расход электроэнергии [24]:

$$W_{уд} = \frac{W_{час}}{G_{Cu} \cdot B_{TCu}} = \frac{U_{ван} \cdot I \cdot \tau}{G_{Cu} \cdot B_{TCu}}, \quad (62)$$

$$W_{уд} = \frac{6,412 \cdot 1200 \cdot 1}{1209,72 \cdot 0,85} = 7,48 \frac{Вт \cdot ч}{г}.$$

Рассчитаем общее напряжение, которое должен обеспечить источник тока, которое складывается из суммы напряжения на ванне и падения напряжения в токоподводе:

$$U_{ист} = U_{ван} + U_{т.п.} \quad (63)$$

Материал проводов – медь. Принимаем длину токоподвода 10 метров. Можем рассчитать падение напряжения в проводах.

$$\Delta U_{т.п.} = \frac{I \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{пр}}{S_{пр}}, \quad (64)$$

где: I – сила тока, А;

$l_{пр}$ – длина провода, м;

$S_{пр}$ – сечение провода, см².

Найдем сечение провода по формуле:

$$S_{пр} = \frac{I}{i_{прох}}, \quad (65)$$

где: $i_{прох}$ – допустимая проходная плотность тока в проводах, $i_{прох} = 3 \text{ А/мм}^2$.

$$S_{пр} = \frac{1200}{3} = 400 \text{ мм}^2 = 4 \text{ см}^2.$$

Примем кабель из медного провода сечением 4 см².

$$\Delta U_{т.п.} = \frac{1200 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{4} = 0,504 \text{ В}.$$

Напряжение на источнике тока:

$$U_{ист} = 6,412 + 0,504 = 6,916 \text{ В}.$$

3.6 Расчет теплового баланса технологической схемы

Для того, чтобы электролизёр работал исправно, требуется соблюдение режима теплового баланса. А именно, приход тепла равен расходу тепла в единицу времени при установившемся режиме электролиза.

Рассчитаем тепловой баланс электролизера:

$$\sum Q_{\text{приход}} = \sum Q_{\text{расх}} , \quad (66)$$

$$Q_{\text{Дж}} + Q_{\text{эл-та}} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{отр}} + Q_{\text{потерь}} . \quad (67)$$

Рассчитаем Джоулево тепло по формуле:

$$Q_{\text{Дж}} = U_{\text{гр}} \cdot I \cdot \tau , \quad (68)$$

где: $U_{\text{гр}}$ – греющее напряжение, В;

I – сила тока, А;

τ – время, с.

$$U_{\text{гр}} = U_{\text{ван}} - E_{\text{разл}} \cdot V_{\text{T}} , \quad (69)$$

$$U_{\text{гр}} = 6,42 - 0,337 \cdot 0,85 = 6,706 \text{ В},$$

$$Q_{\text{Дж}} = 6,706 \cdot 1200 \cdot 3600 = 28969920 \text{ Дж}.$$

Далее определим тепло, которое вносится электролитом. Температура электролита, с которой он поступает в процесс электролиза равна 25 °С или 298 К.

$$Q_{\text{эл-та}} = C_{\text{рэл-та}} \cdot m_{\text{эл-та}} \cdot T_{\text{вх}} , \quad (70)$$

где: $C_{\text{р}}$ – удельная теплоемкость, кДж/Г·°С;

m – начальная масса, кг;

$T_{\text{вх}}$ – температура входящего электролита, К.

Удельная теплоемкость компонентов электролита:

$$C_{\text{р}(\text{CuSO}_4)} = 0,4 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С};$$

$$C_{\text{р}(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 1,4 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С};$$

$$C_{\text{р}(\text{H}_2\text{O})} = 4,18 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С}.$$

$$C_{p_{\text{эл-га}}} = \sum C_{p_{\text{комп}}} \cdot \omega. \quad (71)$$

$$C_{p_{\text{эл-га}}} = 0,4 \cdot 0,0154 + 1,4 \cdot 0,1663 + 4,18 \cdot 0,8183 = 3,66 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С}.$$

Исходя из условий поставленной задачи, масса электролита 1322040 г.

$$Q_{\text{эл-га}} = 3,66 \cdot 342000 \cdot 298 = 373012560 \text{ Дж}.$$

Определим тепло, уносимое с медным порошком:

Удельная теплоемкость меди составляет $C_{p(\text{Cu})} = 400 \text{ Дж/Г} \cdot \text{°С}$.

$$Q_{\text{Cu}} = 400 \cdot (323 - 298) \cdot 1209,72 = 12097200 \text{ Дж}.$$

Далее определим тепло, уносимое газами, образующимися на электродах.

Удельные теплоемкости газов:

$$C_{p(\text{O}_2)} = 920 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С};$$

$$C_{p(\text{H}_2)} = 14410 \text{ кДж/Г} \cdot \text{°С}.$$

$$Q_{\text{газ}} = C_p \cdot (T_{\text{газ}} - T_{\text{окр}}) \cdot m_{\text{газ}}. \quad (72)$$

Тепло, уносимое с кислородом:

$$Q_{\text{O}_2} = 920 \cdot (323 - 298) \cdot 256,32 = 5895360 \text{ Дж}. \quad (73)$$

Тепло, уносимое с водородом:

$$Q_{\text{H}_2} = 14410 \cdot (323 - 298) \cdot 38,7 = 13941675 \text{ Дж}. \quad (74)$$

Общее тепло уносимое с газами:

$$Q_{\text{газ}} = 5895360 + 13941675 = 19837035 \text{ Дж}. \quad (75)$$

Согласно условиям, температура проведения процесса составляет 50 °С или 323 К. Можем рассчитать тепло, уносимое с электролитом:

$$Q_{\text{отр}} = C_{p_{\text{отр}}} \cdot m_{\text{отр}} \cdot T_{\text{отр}}, \quad (76)$$

$$C_{p_{\text{отр}}} = \sum C_{p_{\text{отр}}} \cdot \omega, \quad (77)$$

$$C_{p_{\text{отр}}} = 3,46 \frac{\text{Дж}}{\text{Г} \cdot \text{°С}}.$$

$$Q_{\text{отр}} = 3,46 \cdot 323 \cdot 342000 = 382212360 \text{ Дж}.$$

Потери тепла за счет теплоотдачи со стенок и днища электролизера:

$$Q_{\text{теплоотдачи}} = \alpha \cdot \Delta T \cdot F \cdot \tau, \quad (78)$$

где: α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°С;

ΔT – разность температур электролита и окружающей среды, К;

F – площадь поверхности теплоотдачи, м²;

τ – время, с.

Коэффициент теплоотдачи равен 0,19 Вт/м²·°С. Площадь поверхности теплоотдачи складывается из площадей всех поверхностей, стенок, днища, катода: $F = 2,29$ м². Рассчитаем потери тепла:

$$Q_{\text{потерь}} = 0,19 \cdot 25 \cdot 2,29 \cdot 3600 = 39159 \text{ Дж.}$$

Рассчитаем общее тепло прихода и расхода тепла:

$$Q_{\text{прих}} = 28969920 + 373012560 = 401982480 \text{ Дж;}$$

$$Q_{\text{расх}} = 12097200 + 19837035 + 382212360 + 39159 = 414185754 \text{ Дж.}$$

Исходя из полученных данных можем рассчитать тепло, которое необходимо затратить на нагрев электролита до нужной температуры.

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{расх}} - Q_{\text{прих}}, \quad (79)$$

$$Q_{\text{нагр}} = 414185754 - 401982480 = 12203274 \text{ Дж.}$$

Тепловой баланса процесса электролиза приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Таблица теплового баланса

| Приход | кДж/ч | Расход | кДж/ч |
|--------------------|-----------|---------------------|-----------|
| $Q_{\text{Дж}}$ | 28969,92 | $Q_{\text{газ}}$ | 19837,03 |
| $Q_{\text{эл-та}}$ | 373012,56 | $Q_{\text{отр}}$ | 382212,36 |
| $Q_{\text{нагр}}$ | 12203,27 | Q_{Cu} | 12097,2 |
| | | $Q_{\text{потерь}}$ | 39,16 |
| Итого: | 414185,75 | Итого: | 414185,75 |

Для нагрева электролита до нужной температуры необходимо подобрать теплообменник. Так как в электролите содержится серная кислота, материалом

теплообменника может быть выбран полипропилен. Рассчитаем мощность теплообменника [26]:

$$Q_T = G_{\text{эл}} \cdot C_{p_{\text{эл}}} \cdot (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}), \quad (80)$$

где: Q_T – тепловая мощность теплообменника, Вт;

$G_{\text{эл}}$ – расход электролита, кг/ч;

$C_{p_{\text{(эл)}}}$ – теплоемкость электролита, Дж/кг·°С;

$T_{\text{вх}}$ – температура электролита на входе, °С;

$T_{\text{вых}}$ – температура электролита на выходе, °С.

$$Q_T = 342 \cdot 3,66 \cdot (50 - 25) = 31293 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 8,69 \text{ кВт.}$$

По рассчитанным данным можно подобрать теплообменник мощностью 10 кВт.

3.7 Гидравлический расчет основного аппарата

Целью гидравлического расчета является подбор насоса для осуществления циркуляции электролита, а также выбор диаметров трубопроводов.

Диаметр трубопровода можем рассчитать по формуле [27]:

$$D = \sqrt{\frac{354 \cdot Q}{v}}, \quad (81)$$

где: D – диаметр трубопровода, мм;

Q – расход, м³/ч;

v – скорость потока электролита, м/с.

Осаждение проводят при расходе электролита равному 4 м³/ч.

Скорость потока раствора предпочтительна от 1 до 3 м/с. Примем 1 м/с.

$$D = \sqrt{\frac{354 \cdot 4}{1}} = 37,63 \text{ мм.}$$

Примем стандартный диаметр трубы по ГОСТ 32415-2013 «Трубы напорные из термопластов», с наружным диаметром 50 мм и толщиной стенки 5,6 мм. Условный проход такой трубы составляет 38,8 мм.

Мощность, потребляемая насосом, рассчитывается по формуле [27]:

$$N = \frac{v \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta}, \quad (82)$$

где: v – объемный расход жидкости, м³/сек;

ΔP – давление, сообщаемое насосом перекачиваемому веществу, Па;

η – общий КПД насоса, 0,7.

Для того чтобы рассчитать мощность, потребляемую насосом для перекачивания электролита, необходимо рассчитать давление, расходуемое на создание скоростного потока [27]:

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}, \quad (83)$$

где: ω – скорость потока электролита, м/с;

ρ – плотность электролита, кг/м³.

Принимаем скорость движения электролита 1 м/с, плотность электролита равна 1140 кг/м³.

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{1^2 \cdot 1140}{2} = 570 \text{ Па.}$$

Теперь рассчитаем потерю давления на преодоление сил трения [27]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot \Delta P_{\text{ск}}, \quad (84)$$

где: λ – коэффициент трения;

L – длина трубы, м;

D – диаметр трубы, м.

Для того чтобы найти коэффициент трения, рассчитаем критерий Рейнольдса [27]:

$$Re = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu}, \quad (85)$$

где: ρ – плотность электролита, кг/м³;

μ – вязкость электролита, Па·с.

Так как основным компонентом электролита является вода, то принимаем значение вязкости $0,547 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Критерий Рейнольдса составляет:

$$Re = \frac{1 \cdot 0,016 \cdot 1140}{0,547 \cdot 10^{-3}} = 33345. \quad (86)$$

Так как Re больше 10000, то принимаем режим турбулентный [28].

Коэффициент трения в шероховатых трубах определяется из формулы:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right) = -2 \cdot \lg \left(\frac{0,0125}{3,7} + \left(\frac{6,81}{33345} \right)^{0,9} \right) = 4,83, \quad (87)$$

$$\sqrt{\lambda} = \frac{1}{4,83} = 0,207, \quad (88)$$

$$\lambda = 0,09.$$

Тогда:

$$\Delta P_{тр} = \frac{0,09 \cdot 10 \cdot 570}{0,05} = 10260 \text{ Па.}$$

Давление, расходуемое на подъем раствора, рассчитаем по формуле [28]:

$$\Delta P_{п} = H \cdot \rho \cdot g, \quad (89)$$

где: H – высота трубы, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

$$\Delta P_{п} = 2 \cdot 1140 \cdot 9,81 = 22366,8 \text{ Па.}$$

Найдем общее давление:

$$\Delta P = 22366,8 + 570 + 10260 = 33196,8 \text{ Па.}$$

Можем рассчитать мощность:

$$N = \frac{0,001 \cdot 33196,8}{1000 \cdot 0,7} = 0,05 \text{ кВт.}$$

Рассчитанная мощность необходима для перекачивания электролита в одной ячейке. Для всего участка данные значения необходимо умножить на 14.

4 Результаты расчетов

В ходе проведения расчетов были определены основные технологические и конструкционные параметры электролитической ячейки. Производительность участка цеха по медному порошку составляет 80 т/год. Участок цеха работает в две смены по 12 часов в день 7 дней в неделю. Площадь одного катода была взята 1 м². Исходя из условий производительности одной ячейки и заданной годовой производительности была установлена общая площадь катодов, которая составила 14 м². Это предусматривает использование 14 электролитических ячеек. Значение плотности катодного тока было принято равным 1000 А/м², при этом общая сила тока составила 12,2 кА.

По результатам расчета габаритных размеров электролитической ячейки внутренний диаметр ячейки составляет 800 мм, высота катода составляет 600 мм. Катод выполнен из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т толщиной 2 мм. Анод представляет из себя цилиндр диаметром 120 мм соединенный со стержнем расположенном на оси цилиндра, он выполнен из листового свинца С2 изготовленного по ГОСТ 9559-89 толщиной 5 мм. Дно выполнено в форме конуса, высота составляет 400 мм. Толщина обечайки из полипропилена составляет 30 мм.

Порошок удаляется мешалками, представленными в виде щеток цилиндрической формы радиусом 20 мм и высотой 600 мм.

Согласно механическому расчету, масса одной ячейки в рабочем состоянии, заполненной электролитом равна 1014,54 кг. В расчетах принимается, что аппарат крепится к раме электролитической батареи. Количество креплений равно двум, которые расположены на боковой стенке аппарата.

По результатам гидравлического расчета был определен режим течения электролита в аппарате при проведении процесса осаждения осадка. Режим движения – турбулентный. Для перекачивания электролита необходим насос с мощностью 0,7 кВт при расходе электролита 4 м³/ч.

Согласно электротехническому расчету электролитической ячейки, напряжение на ванне составляет 6,412 В, а с учетом потерь на контактах, напряжение на ванне составит 6,916 В, при этом площадь сечения кабеля токоподвода составляет 400 мм². Материалом кабеля является медь. Удельные затраты электроэнергии составляют 7,48 кВт·ч/кг.

5 План размещения оборудования

5.1 Подбор основного технологического оборудования

Для перекачивания электролита выбран центробежный насос АТ0550 производителя IML [28]. Мощность электродвигателя составляет 4 кВт, а максимальная производительность 84 м³/ч. Насос выполнен в кислотостойком исполнении.

Для поддержания температуры раствора электролита выбран пластинчатый теплообменник НН-12М фирмы Ридан. Мощность теплообменника 200 кВт. Имеющий следующие габаритные размеры ширину 304 мм, длину 1375 мм, высоту 765 мм [29].

Для обеспечения силы тока в 12,2 кА необходимо два выпрямительных агрегата RSAT-380/16-8000 с системой воздушного охлаждения [30]. Агрегаты имеют следующие габаритные размеры: высота 1450 мм, ширина 1600 мм, глубина 680 мм.

Для разделения твердого осадка медного порошка от жидкой фазы электролита принято решение использовать фильтрующую центрифугу марки HUADA LGZ/PGZ800 [31] с функцией промывки осадка. Фильтрующая центрифуга имеет следующие габаритные размеры: глубина 1250 мм, ширина 1850 мм, высота 2045 мм.

Для сушки осадка используется вакуум-сушильный шкаф BINDER VD 115 [32]. Шкаф имеет следующие габаритные размеры: глубина 660 мм, ширина 743 мм, высота 964 мм.

Для охлаждения источников электрического тока, а также токоподводящей шины необходимо приобрести чиллеры. В данной работе было принято решение приобрести промышленные чиллеры FKL-5HP [33] в количестве 2 устройства.

Таблица 10 – Габаритные размеры оборудования

| Оборудование | Высота, мм | Длина/глубина, мм | Ширина/ диаметр, мм |
|---|------------|----------------------|------------------------|
| Теплообменник | 765 | 1375 | 304 |
| Выпрямитель тока | 1550 | 1000 | 600 |
| Насос | 535 | 840 | 330 |
| Агитатор | 2500 | - | 1400 |
| Сборный бак | 2500 | - | 2300 |
| Фильтрующая центрифуга | 2045 | 460 | 1850 |
| Вакуум-сушильный шкаф | 964 | 660 | 743 |
| Чиллер | 1350 | 455 | 821 |
| Бункеры подачи (CuSO ₄ , H ₂ SO ₄) | 2300 | - | 1500 |

5.2 Энергетический расчет технологической схемы

В таблице 11 отражено энергопотребление основного и вспомогательного оборудования участка получения медного порошка.

Таблица 11 – Энергопотребление основного и вспомогательного оборудования

| Наименование | Количество, шт | Потребление единицы оборудования, кВт/ч |
|--|-------------------|--|
| Электродвигатель агитатора смешения реагентов | 1 | 2,75 |
| Фильтрующая центрифуга | 2 | 7,5 |

Продолжение таблицы 11

| Наименование | Количество, шт | Потребление единицы оборудования, кВт/ч |
|-----------------------|----------------|---|
| Вакуум-сушильный шкаф | 2 | 1,6 |
| Чиллер | 2 | 15 |
| Выпрямитель тока | 2 | 36 |
| Насос | 3 | 4 |

Энергопотребление аппаратов участка непрерывного получения медного порошка составляет 134,95 кВт/ч или 1,18 ГВт/год.

5.3 План размещения оборудования

Расстояние между соседними машинами и аппаратами, а также от стен до оборудования должно соответствовать установленным нормам [34]. На основных проходах не менее 1,5 м, на рабочих проходах между стеной и аппаратами не менее 0,5 м, в проходах между аппаратами не менее 0,5 м.

Для разрабатываемого участка предполагается проектирование одноэтажного здания высотой 9 м. С учетом всех производственных помещений, длина проектируемого цеха будет составлять 24 м, а его ширина 18 м.

Для обслуживания электролитических батарей к ним подводятся лестничные площадки с ограждениями. Лестница установлена под углом 45 °, ступеньки изготавливают из рифленой стали шириной 0,25 м, при толщине 0,003 м, которые привариваются к балке ограждения.

Наружные стены являются самонесущими, которые защищают внутреннее пространство здания от воздействия окружающей среды. Они воздействуют собственным весом на фундамент и не несут нагрузок от покрытия, кран-балки и т.д. На расстоянии 1,5 м от потолка монтируется кран-балка для поднятия и перемещения тяжелых грузов. Стены здания монтируются из пенобетонных панелей со следующими размерами: длина 6 м, ширина 3 м, толщина 0,4 м [35].

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основной задачей экономического расчета выступает определение себестоимости продукции, экономическое обоснование финансовой целесообразности проекта, а также выявление таких условий создания предприятия, при которых это экономически целесообразно.

6.1 Расчет производственной мощности

Исходя из того, что участок по электролитическому получению медного порошка работает 24 часа 7 дней в неделю, а также учитывая время на техническое обслуживание и ремонт оборудования, время работы в год составляет 8648 часов.

Процесс является полу непрерывным и процесс осаждения длится 15 минут, а процесс снятия осадка 5 минут. Тогда время проведения процесса равна осаждения 6486 часов.

6.2 Определение баланса времени одного рабочего

Количество дней, которое должен отработать работник в течение года отражено в балансе времени. Это баланс зависимости продолжительности работы участка от продолжительности рабочего дня и от принятого режима работы участка. Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

| Элементы времени | Непрерывное производство, 12- часовой рабочий день, график работы 2/2 | |
|---|---|-------|
| | дней | часов |
| Календарное число дней | 365 | 8760 |
| Выходные дни | 182 | 4368 |
| Номинальный фонд рабочего времени | 183 | 4392 |
| Планируемые невыходы: | | |
| очередные и дополнительные отпуска | 28 | 672 |
| невыходы по болезни | 12 | 288 |
| выполнение государственных и общественных обязанностей | 1 | 24 |
| отпуск, в связи с учёбой без отрыва от производства | 10 | 240 |
| Планируемые невыходы | 51 | 1224 |
| Эффективный фонд рабочего времени | 132 | 3168 |

Тогда эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 132 \cdot 12 = 1320 \text{ ч.}$$

6.3 Расчет численности основных рабочих

Количество рабочих необходимое для обслуживания оборудования определяется из объема работ, приходящихся на одного рабочего. Явочное число основных рабочих в сутки [36]:

$$R_{\text{яв}} = \frac{F \cdot C}{H_{\text{обс}}}, \quad (90)$$

где $N_{\text{обс}}$ – норма обслуживания (количество аппаратов, которое может обслужить один аппаратчик);

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

Основная работа работников на участке заключается в наблюдении за ходом технологического процесса, учитывая уровень автоматизации участка получения медного порошка один рабочий может обслужить 7 электролитических ячеек. Также другой вид работы заключается в снятии осадка с фильтрующей центрифуги и загрузке порошка в вакуум-сушильный шкаф.

Рассчитаем количество аппаратчиков для обслуживания электролитических ячеек:

$$R_{\text{яв}} = \frac{14 \cdot 2}{7} = 4.$$

Также рассчитаем количество аппаратчиков для обслуживания фильтрующих центрифуг и вакуум-шкафов:

$$R_{\text{яв}} = \frac{4 \cdot 2}{2} = 4.$$

Далее определим списочное число основных рабочих [36]:

$$R_{\text{осн}} = \frac{R_{\text{яв}} \cdot T_{\text{эф. об.}}}{T_{\text{эф. раб}}}, \quad (91)$$

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

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

$$R_{\text{осн}} = \frac{4 \cdot 360}{132} = 11 \approx 12.$$

Таблица 13 – Численность рабочих

| Профессия | Тариф разряд | $R_{\text{яв}}$ в сутки | $R_{\text{осн}}$ в сутки | Число рабочих дней в году | Число рабочих дней оборудования | Число смен в сутки |
|------------|--------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Аппаратчик | 5 | 4 | 8 | 132 | 360 | 2 |
| Оператор | 6 | 2 | 4 | | | |

6.4 Расчет численности вспомогательного персонала

С учетом специфики выполняемых работ на участке, а также приборного оформления, на участке присутствует дежурный обслуживающий персонал в составе:

- дежурного слесаря (разряд 5) – 1;
- дежурного электрика (разряд 5) – 1;
- дежурного КИПиА (разряд 5) – 1.

Списочное число рабочих дежурного персонала:

$$R_{\text{осн}} = \frac{4 \cdot 360}{132} = 11 \approx 12.$$

Число дежурного персонала сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Численность рабочих

| Профессия | Тариф разряд | Число рабочих в смену | $R_{\text{яв}}$ в сутки | $R_{\text{осн}}$ в сутки | Число рабочих дней в году | Число рабочих дней оборудования |
|-------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Дежурный слесарь | 5 | 2 | 2 | 4 | 132 | 360 |
| Дежурный электрик | 5 | 2 | 2 | 4 | 132 | 360 |
| Дежурный КИПиА | 5 | 2 | 2 | 4 | 132 | 360 |

6.5 Расчет численности специалистов, руководителей и служащих

Количество руководителей, специалистов и служащих рассчитывается исходя из потребностей участка. Число работников данной категории представлено в таблице 15.

Таблица 15 – Численность специалистов, руководителей и служащих

| Наименование должности | Категория | Количество работников |
|------------------------|--------------|-----------------------|
| Начальник участка | руководитель | 1 |
| Технолог участка | специалист | 1 |
| Уборщица | служащий | 1 |
| Итого | | 3 |

6.6 Расчет фонда заработной платы

Фонд заработной платы представляет собой сумму всех средств, которые организация начисляет работникам в качестве оплаты труда.

6.6.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих

Расчетный фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы.

Основной фонд (ЗП) [37]:

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{праз.}} + D_{\text{вред.}}, \quad (92)$$

где $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд;

$D_{\text{пр.}}$ – доплата премий;

$D_{\text{н.вр.}}$ – доплаты за ночные смены;

$D_{\text{праз.}}$ – доплата за работу в праздничные дни;

$D_{\text{вред}}$ – доплата за вредность.

Тарифный фонд определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{тар}}^5 + Z_{\text{тар}}^6, \quad (93)$$

где $Z_{\text{тар}}^5$, $Z_{\text{тар}}^6$ – ЗП по тарифным ставкам рабочих различной квалификации.

$$Z_{\text{тар}}^i = R_{\text{тар}}^6 \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{ст}}^i, \quad (94)$$

где $R_{\text{сп}}$ – списочное число рабочих;

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

$T_{\text{ст}}$ – тарифная часовая ставка.

Часовая тарифная ставка составляет для работников 6 разряда 200 руб/час, а для 5 разряда составляет 180 руб/час. Расчет состоит из двух частей: расчет дневной и ночной ставки. Расчет дневной ставки:

$$Z_{\text{тар}}^5 = 2 \cdot 1098 \cdot 180 = 395280 \text{ руб/год};$$

$$Z_{\text{тар}}^6 = 1 \cdot 1098 \cdot 200 = 219600 \text{ руб/год}.$$

Часовая тарифная ставка в ночное время повышена на 20 %, рассчитаем:

$$Z_{\text{тар}}^5 = 2 \cdot 1098 \cdot 216 = 474336 \text{ руб/год};$$

$$Z_{\text{тар}}^6 = 1 \cdot 1098 \cdot 240 = 263520 \text{ руб/год}.$$

Доплаты за вредность не учитываются в связи с высоким уровнем автоматизации, а также мероприятий по охране труда и промышленной безопасности.

Также рассчитаем надбавку за праздничные дни. Согласно производственному календарю в 2021 году 17 праздничных дней. Ставка в праздничный день имеет двойное значение:

$$Z_{\text{тар}}^5 = 2 \cdot 336 \cdot 180 = 120960 \text{ руб/год};$$

$$Z_{\text{тар}}^6 = 1 \cdot 336 \cdot 200 = 67200 \text{ руб/год};$$

$$Z_{\text{тар}} = 395280 + 219600 + 474336 + 263520 + 120960 + 67200 = 1540896 \text{ руб/год}.$$

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot P_{\text{д.зп.}}, \quad (95)$$

где $P_{\text{д.зп}}$ - процент доплаты (0,80).

$$Z_{\text{доп}} = 1540896 \cdot 0,8 = 1232717 \text{ руб/год}.$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z = Z_{\text{тар}} + Z_{\text{доп}} = 1540896 + 1232717 = 2773613 \text{ руб/год}. \quad (96)$$

Таблица 16 – Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих

| Категория рабочих | Основные | |
|---|------------------------|-----|
| | Повременно-премиальная | |
| Система оплаты труда | Повременно-премиальная | |
| Разряд | 5 | 6 |
| Тарифная ставка, руб/час | 180 | 200 |
| Численность списочных рабочих, чел | 8 | 4 |
| Фонд рабочего времени, час | 2196 | |
| Тарифный фонд, руб/год | 1540896 | |
| Доплата премий, руб/год | 1232717 | |
| Основной фонд ЗП, руб/год | 2773613 | |
| Районный коэффициент 1,15 от ЗП, руб/год | 416042 | |
| Налог во внебюджетные фонды 30 % от ЗП, руб/год | 832084 | |
| Годовой фонд заработной платы, руб/год | 4021739 | |

Рассчитаем годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих 5 разряда. Часовая тарифная ставка составляет 130 руб/час.

Также в ночное время ставка повышается на 20 %, а в праздничные дни двойной тариф.

$$З_{\text{тар}}^5 = 3 \cdot 1098 \cdot 130 = 428220 \text{ руб/год};$$

$$З_{\text{тар}}^5 = 3 \cdot 1098 \cdot 156 = 513864 \text{ руб/год};$$

$$З_{\text{тар}}^5 = 6 \cdot 336 \cdot 130 = 262080 \text{ руб/год};$$

$$З_{\text{доп}} = 1204164 \cdot 0,8 = 963331 \text{ руб/год}.$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$З = З_{\text{тар}} + З_{\text{доп}} = 1204164 + 963331 = 2167495 \text{ руб/год}.$$

Таблица 17 – Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих

| Категория рабочих | Вспомогательные |
|---|------------------------|
| Система оплаты труда | Повременно-премиальная |
| Разряд | 5 |
| Тарифная ставка, руб/час | 130 |
| Численность списочных рабочих, чел | 12 |
| Фонд рабочего времени, час | 2196 |
| Тарифный фонд, руб/год | 1204164 |
| Доплата премий, руб/год | 996331 |
| Основной фонд ЗП, руб/год | 2167495 |
| Районный коэффициент 1,15 от ЗП, руб/год | 325124 |
| Налог во внебюджетные фонды 30 % от ЗП, руб/год | 650248 |
| Годовой фонд заработной платы, руб/год | 3142867 |

Далее рассчитаем годовой фонд заработной платы руководителей, специалистов и служащих.

Оклады должностных лиц руководителей и специалистов устанавливаются в зависимости от категории цеха:

Начальник участка – 50000 руб.;

Технолог участка – 48000 руб.;

Уборщица – 18000 руб.

Фонд ЗП определим путем умножения числа штатных работников на их месячный оклад и на число рабочих месяцев.

Таблица 18 – Результаты расчетов заработной платы руководителей, специалистов и прочего персонала

| Наименование должности | Число рабочих | З _{осн} , руб/год | З _{доп} , руб/год | Районный коэффициент | Соцвзносы | З _{год} , руб/год |
|------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|-----------|----------------------------|
| Начальник участка | 1 | 600000 | 480000 | 162000 | 412200 | 1654200 |
| Технолог участка | 1 | 576000 | 460800 | 155520 | 404352 | 1596672 |
| Уборщица | 1 | 216000 | 172800 | 58320 | 151632 | 598752 |
| Итого | 3 | 1392000 | 1113600 | 375840 | 977184 | 3849624 |

Общие затраты на ЗП работникам составят:

$$\Phi_{\text{общ}} = 4021739 + 3142867 + 3849624 = 11014230 \text{ руб/год.}$$

Расходы на охрану труда и промышленную безопасность (ОТиПБ) составляют 10 % от фонда заработной платы, которые равны 1101423 рубля.

6.6.2 Расчет капитальных затрат

Величину необходимых капитальных затрат, которые пойдут на строительство здания и сооружений рассчитаем по укрупненным параметрам. Таким является стоимость 1 м² здания, определяющаяся согласно действующим ценам на строительные материалы, его размеры и назначение. Для участка цеха проектируется одноэтажное, однопролетное здание с длиной 24 м, шириной 18 м и высотой 8,4 м. Исходя из этих параметров может быть рассчитана площадь здания, которая составит 432 м².

Общая площадь подразделяется на производственную, вспомогательную и площадь обслуживающих помещений.

Производственная площадь складывается из площади, занимаемой технологическим оборудованием, производственным инвентарем, проходами и

проездами между оборудованием. Средняя рыночная стоимость составляет 25 тыс. рублей за 1 м² [38].

Вспомогательная площадь складывается из площади, занимаемой складами, вспомогательными участками и инструментально-раздаточной кладовой. Средняя рыночная стоимость принимается в размере 25 % от стоимости производственных площадей.

Площадь обслуживающих помещений складывается из площади, занимаемой конторой цеха и бытовыми помещениями. Средняя рыночная стоимость составляет 20 тыс. рублей за 1 м²[38].

Таким образом можно определить среднюю рыночную стоимость здания. Примем, что производственная часть здания составляет 80 % от общего объема здания. Рассчитаем стоимость здания [37]:

$$C_{зд} = C_{пр} + C_{всп} =$$

$$= 432 \cdot 0,8 \cdot 25000 + 432 \cdot 0,2 \cdot 20000 = 10368000 \text{ руб.} \quad (97)$$

Стоимость электролитической ячейки примем равную 80 % цены электролизера для получения гипохлорита натрия производительностью 5 кг/ч и составляет 280000 рублей. В таблице 19 представлен расчет стоимости оборудования.

Таблица 19 – Расчет стоимости оборудования

| Оборудование | Количество | Цена за единицу, тыс. рублей |
|-------------------------|------------|------------------------------|
| Теплообменник | 1 | 68 |
| Выпрямитель тока | 2 | 3400 |
| Отстойник | 1 | 625 |
| Фильтрующая центрифуга | 2 | 1050 |
| Вакуум-сушильный шкаф | 2 | 1084 |
| Емкость для электролита | 1 | 228 |

Продолжение таблицы 19

| Оборудование | Количество | Цена за единицу, тыс. рублей |
|---------------------------|------------|------------------------------|
| Электролитическая батарея | 14 | 280 |
| Чиллер | 2 | 244 |
| Кран-балка подвесная | 1 | 176 |

Насосы и мотор-редукторы по сравнению с основным технологическим оборудованием стоят незначительно, поэтому их стоимость примем равную 2 % от стоимости оборудования, что составляет 331460 рублей. Стоимость технологического оборудования составляет 16904460 рублей.

Стоимость монтажных работ составляет 20 % от стоимости оборудования и составляет 3380892 рублей. Тогда стоимость капитальных затрат рассчитаем по следующей формуле [39].

$$C_{\text{кап}} = C_{\text{об}} + C_{\text{стр}} + C_{\text{мон}} =$$

$$= 16904460 + 3380892 + 9083001 = 29368353 \text{ руб.} \quad (98)$$

В таблице 20 представлены статьи капитальных затрат и их доли.

Таблица 20 – Капиталовложения

| Наименование | Капитальные затраты, руб | % |
|--------------|--------------------------|------|
| Здание | 10368000 | 33,8 |
| Оборудование | 16904460 | 55,1 |
| Монтаж | 3380892 | 11,1 |
| Итого | 30653352 | 100 |

6.6.3 Расходы на содержание и эксплуатацию здания

Затраты на содержание здания составляют 2 % от стоимости здания и составляют 207360 рублей. Примем такое же значение затрат на текущий ремонт здания 207360 рублей.

Амортизационные отчисления на здание:

$$A_{зд} = C_{зд} \cdot \frac{1}{a}, \quad (99)$$

где a - срок полезного использования здания, который равен 25 лет.

$$A_{зд} = 10368000 \cdot \frac{1}{25} = 414720 \text{ руб/год.}$$

Таким образом затраты на содержание здания составляют 829440 руб/год.

Расходы на содержание оборудования примем равными 5 % от стоимости оборудования, которое составит 845223 руб/год.

Отчисления на амортизацию оборудования составляют 10 % от стоимости оборудования и равны 1690446 руб/год.

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования и равен 2535669 руб/год.

Сумма расходов на оборудование составит 5071338 руб/год без учета монтажных работ.

6.6.4 Расходы на технологические и социальные нужды

Затраты на электроэнергию составляют [37]:

$$Z_{эл} = C_{эл} \cdot W \cdot T_{р.об.}, \quad (100)$$

где $C_{эл}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (1,53 руб.);

W – потребляемая мощность, кВт;

$T_{р.об.}$ – время работы оборудования в год (6486 ч.).

Из расчетов, приведенных в энергетическом расчете технологической схемы, затраты электроэнергии составляют 241,35 кВт·ч.

$$З_{эл} = 1,53 \cdot 241,35 \cdot 6486 = 2395056 \text{ руб.}$$

Затраты на освещение [37]:

$$W_{осв} = \frac{15 \cdot S_{п} \cdot M \cdot n}{1000}, \quad (101)$$

где 15 – количество Ватт на 1 м² пола;

$S_{п}$ – площадь пола, м²;

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

n – число дней работы производства в году.

$$W_{осв} = \frac{15 \cdot 432 \cdot 24 \cdot 365}{1000} = 56765 \text{ кВт/год.}$$

$$З_{осв} = 1,53 \cdot 56765 = 86850 \text{ руб/год.}$$

Затраты на вентиляцию. В помещении установлена используется приточно-вытяжная вентиляция [37]:

$$W_{в} = P_{дв} \cdot M \cdot n, \quad (102)$$

где $P_{дв}$ – мощность электродвигателя вентиляции, кВт;

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

n – число дней работы производства в году.

$$W_{в} = 1.1 \cdot 24 \cdot 365 = 9636 \text{ кВт/год,}$$

$$З_{осв} = 1,53 \cdot 9636 = 14743 \text{ руб/год.}$$

Затраты на ОТ и ПБ. Затраты, направленные на охрану труда и промышленную безопасность, принимаются равными 12 % от полного годового фонда заработной платы и составляет 1321708 рублей в год.

Отчисления на социальные нужды. Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от полного годового фонда заработной платы и составляет 3304269 рублей в год. Расходы на отопление принимаем равными 10 % от расходов на электроэнергию, что составляет 249665 руб/год.

6.6.5 Калькуляция себестоимости производства

Себестоимость участка представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Себестоимость участка

| Статья | Ед. изм. | Сумма, руб/год |
|---|----------|----------------|
| Электроэнергия на тех. нужды | МВт | 2496649 |
| Условно-переменные затраты | | |
| Фонд ЗП основного и вспомогательного персонала | руб. | 5682274 |
| Отчисление на социальные нужды | руб. | 1482332 |
| Условно-постоянные затраты | | |
| Фонд ЗП руководителей, специалистов и прочего персонала | руб. | 2872440 |
| Отчисление на социальные нужды | руб. | 977184 |
| Расходы на охрану труда и промышленную безопасность | руб. | 1101423 |
| Расходы на строительство здания: 1/25 | руб. | 414720 |
| Расходы на оборудование: 1/10 | руб. | 1690446 |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: | руб. | 5071338 |
| Расходы на содержание и эксплуатацию здания: | руб. | 829440 |
| Расходы на ОТ и ПБ | руб. | 1321708 |
| Итого себестоимость | | 23939954 |

Исходя из этих данных можно вычислить себестоимость производства килограмма продукции:

$$C_{уд} = \frac{C_{себ. полн}}{N}, \quad (103)$$

где $C_{себ.полн}$ – полная себестоимость, руб;

N – производительность, кг.

$$C_{уд} = \frac{23939954}{80000} = 299,2 \text{ руб/кг.}$$

Налоги на прибыль для производств равны 20 %.

Основные технико-экономические показатели представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Основные технико-экономические показатели

| Показатель | Ед. измерения | Значение |
|-----------------------------------|---------------|----------|
| Годовой выпуск продукции: | | |
| а) в натуральном выражении, | т/год | 80 |
| б) в оптовых ценах, | руб/год | 52000000 |
| в) по себестоимости | руб/год | 23939954 |
| Численность персонала | | |
| а) основного | чел. | 12 |
| б) дополнительного | чел. | 12 |
| в) руководителей и служащих | чел. | 3 |
| Заработная плата всего персонала | руб. | 11014230 |
| Капитальные затраты: | | |
| а) здание | руб. | 10368000 |
| б) оборудование | руб. | 16904460 |
| Себестоимость единицы продукции | руб. | 299,2 |
| Оптовая цена единицы продукции | руб. | 650 |
| Чистая прибыль | руб. | 17660046 |
| Срок окупаемости капиталовложений | год | 1,35 |

6.6.5 Расчет рентабельности и точки безубыточности

Точка безубыточности – минимальный объём производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль [39].

Рассчитывается по формуле [39]:

$$BEP = \frac{TFC \cdot P}{(P - VC)}, \quad (104)$$

где TFC – величина постоянных издержек;

VC – величина переменных издержек на единицу продукции;

P – стоимость единицы продукции.

Величину переменных издержек определяем по таблице 20:

$$VC = \frac{7164606}{80000} = 90,$$

$$BEP = \frac{16775348 \cdot 650}{(650 - 90)} = 19471386 \text{ руб.}$$

Рентабельность производства рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\text{Валовая прибыль}}{\text{Себестоимость продукции}} \cdot 100 \%. \quad (105)$$

$$R = \frac{17660046}{23939954} \cdot 100 \% = 73,8 \%$$

6.7 Выводы по разделу

В данной главе были произведены расчеты:

- численности основных и вспомогательных рабочих, специалистов, руководителей и служащих;
- фонда заработной платы;
- капитальных затрат на строительство участка;
- капитальных затрат на оборудование участка;
- затрат на содержание и эксплуатацию здания;
- себестоимость производства;
- срока окупаемости;
- точки безубыточности.

На основе расчетов были составлены таблицы условно-переменных и условно-постоянных затрат.

Точка безубыточности составила 19471386 руб.

Себестоимость составила 23939954 руб.

Условно-переменные затраты составили 7164606 руб/год, а условно-постоянные затраты – 16775348 руб/год.

Рентабельность производства составляет 73,8 %. Данное значение подтверждает целесообразность данного проекта.

7 Социальная ответственность

На каждой стадии производства медного порошка присутствуют большое количество опасных и вредных факторов. В соответствии с действующей классификацией [40] они подразделяются на физические, химические, биологические, психофизиологические.

На проектируемом участке можно выделить следующие опасные и вредные факторы:

- воздействия вибрации и шума в производственном помещении;
- повышенная или пониженная температура, избыточная влажность воздуха в цехе;
- опасность поражения электрическим током;
- нарушение параметров микроклимата;
- опасность возникновения пожара;
- опасность термических ожогов в т.ч. по причине пожара;
- опасность отравления агрессивными и токсичными химическими веществами и их парами;
- недостаточное или избыточное освещение;
- подверженность психоэмоциональным перегрузкам, стрессу.

Ввиду перечисленных выше факторов данное производство относится к классу вредным. Основными параметрами, характеризующими условия труда на производстве, выступают: микроклимат, шум и вибрация, электробезопасность, пожарная безопасность, освещение.

7.1 Микроклимат

Качественное осуществление работы и нормальная жизнедеятельность работника на рабочем месте обеспечиваются соответствующими

метеорологическими условиями, которые оказывают влияние на человека во время работы.

Микроклимат – это комплекс факторов, оказывающих влияние на теплорегуляцию организма человека, его самочувствие и продуктивность, а также на его здоровье. Основными параметрами микроклимата являются температура, влажность, скорость движения воздуха. В связи с условиями работы для работников участка получения медного порошка электролитическим методом устанавливается категория Пб [41]. В связи с воздействием на них вредных и токсичных химических веществ, а также возможностью получения электротравм и возникновения пожара. Требования к микроклимату устанавливаются в соответствии с [41].

Для категории Пб допустимые и оптимальные параметры микроклимата представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Допустимые и оптимальные параметры микроклимата [55]

| Показатель | | Оптимальные значения | Допустимые значения |
|--------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| Температура, °С | Холодный период | 17-19 | 15-22 |
| | Теплый период | 19-21 | 16-27 |
| Относительная влажность, % | Холодный период | 60-40 | 15-75 |
| | Теплый период | 60-40 | 15-75 |
| Скорость движения воздуха, м/с | Холодный период | не более 0,2 | не более 0,4 |
| | Теплый период | не более 0,2 | не более 0,5 |

В помещениях, в которых выполняются работы операторского типа, связанные с тяжелыми психоэмоциональными напряжениями должны быть соблюдены следующие требования [42]:

– температура воздуха должна поддерживаться на уровне от 21 до 22 °С;

– значение относительной влажности в помещении должно находиться в интервале от 40 до 60 %;

– скорость движения воздуха должно быть не более 0,2 м/с.

Кондиционирование – это искусственно создаваемая автоматическая обработка воздуха для обеспечения определенной чистоты и метеорологических условий в рабочей зоне [43]. Кроме проведения кондиционирования, помещение должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией, в целях снижения значений предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Также для организации комфортного проведения работ в холодное время года, необходимо обеспечить помещение системой отопления [43].

Микроклимат является одним из значимых критериев, который оказывает влияние на трудоспособность и здоровье работника. Таким образом, для повышения работоспособности, рекомендуется создание систем приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования, обеспечивающих соблюдение всех нормативов микроклимата на разрабатываемом участке.

7.2 Шум и вибрация

Источниками шума на данном участке производства выступают: фильтрующая центрифуга, источники постоянного тока, чиллеры и насосы, а также приточно-вытяжная вентиляция. Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм работников через центральную нервную систему, а также влияют на органы слуха.

Для защиты работника от воздействия шума и вибрации необходимо устранить их источник либо уменьшить его воздействие на человек. Для этого необходимо проводить организационно-технические мероприятия по защите персонала от шума и вибрации [44]:

– устранение причины шума или вибрации;

- рациональное планирование помещения;
- применение изоляции от внешних источников вибрации;
- автоматизация процесса в местах, где работают вибрирующие машины;
- использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) [45].

Соблюдение вышеперечисленных мероприятий снизит воздействие шума и вибрации на работников цеха [46-48].

7.3 Вредные вещества

В ходе проведения процесса электролитического получения медного порошка необходимо отслеживать ПДК серной кислоты, сульфата меди, а также меди в воздухе рабочей зоны.

При отравлении парами серной кислоты возникает раздражение и ожог глаз, слизистых оболочек носоглотки, гортани, носовые кровотечения, боль в горле, охриплость голоса из-за спазма голосовой щели. При этом особенно опасны отеки гортани и легких. При попадании серной кислоты на кожу возникают химические ожоги, глубина и тяжесть которых определяются концентрацией кислоты и площадью ожога.

Попадая в организм человека медный купорос вызывает желудочно-кишечные расстройства.

Пыль медного порошка, поступая в организм контактирующих с ним людей через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, может вызывать нарушение функций нервной, пищеварительной, кроветворной и сердечно-сосудистой систем, кожные заболевания [5].

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ рабочей зоны [49-50]

| Наименование | Класс опасности | ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ |
|--|-----------------|---|
| Серная кислота (H ₂ SO ₄) | 2 | 1,0 |
| Сульфат меди (CuSO ₄) | 2 | 0,5 |
| Медный порошок | 4 | 0,5 |

Производственные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, а также в местах выделения и образования вредных веществ – размещены местные отсосы от производственного оборудования технологической схемы [5].

Вероятное воздействие вредных веществ может быть обусловлено следующими причинами:

- превышением уровня загазованности технологического помещения, связанным с выходом из строя вентиляции;
- нарушением вентиляционного режима приточно-вытяжной вентиляции;
- несоблюдением норм санитарии;
- неприменением СИЗ.

Для обеспечения безопасных условий труда при работе с серной кислотой необходимо выполнять следующие требования:

- полная герметизация оборудования;
- устройство эффективной общеобменной вентиляции и рационального отопления;
- автоматизация и механизация производственного процесса;
- постоянный контроль воздуха на присутствие в нем токсичных веществ;
- правильное ведение технологического процесса;

- наличие индивидуальных средств защиты.

В производственном помещении все трудящиеся на рабочих местах должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты, к которым относятся:

- спецодежда повседневного применения [51];
- средства защиты органов дыхания – респираторы ШБ-1 "Лепесток" [41];
- спецобувь [51];
- средства защиты рук (защитные хлопчатобумажные и резиновые перчатки, камерные перчатки, рукавицы и т.д.) [52];
- средства защиты глаз (защитные очки, защитные щитки) [52].

Запрещено допускать к работе сотрудников, которые не прошли инструктаж и входной контроль по охране труда, без спецодежды и других защитных средств.

Также каждый работник должен уметь оказывать первую медицинскую помощь пострадавшему в случае отравления или получения химического ожога.

7.4 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие электрического тока и электрической дуги на работающих. Знание основ электробезопасности обязательно для персонала, обслуживающего электроустановки и электрооборудование.

Защита от поражения электрическим током достигается изоляцией токоведущих частей, блокировок оборудования и недоступного расположения узлов и механизмов аппаратов, находящихся под напряжением. Для изоляции используются разнообразные материалы из диэлектриков. Блокировка предусматривает отключение питающих элементов от аппаратов при нарушении

целостности защитных устройств и ограждений. Оборудование на участке работает от напряжения 220 В и 380 В и относится к низковольтному оборудованию. Участок имеет первый класс по электробезопасности до 1000 В [53].

Для защиты от короткого замыкания необходимо соблюдение всех правил эксплуатации электросетей и приборов, регулярное техническое обслуживание приборов и их ремонт. Для локализации и устранения последствий короткого замыкания используются различные приспособления такие как релейная защита, выключатели и плавкие предохранители. Для защиты от поражения в результате перехода напряжения на металлический корпус приборов используется заземление. Сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом, сечение провода, соединяющего шину заземляющего контура с корпусом прибора должно быть не менее 2,5 мм² [54-55].

При работе должны выполняться следующие основные требования:

- не допускается использование электроприборов с неисправными шнурами;
- не использовать неисправные электроприборы;
- не оставлять без присмотра включенные приборы;
- перед проведением работ проверять блокировки приборов;
- щитки управления и приборы должны иметь световую индикацию о наличии питания;
- приборы должны быть заземлены;
- если работа не ведется, то силовой рубильник должен находиться в выключенном положении.

В помещении, в котором находится участок должна находиться аптечка первой помощи и первичные средства огнетушения, а именно порошковые и углекислотные огнетушители. При выявлении каких-либо неисправностей необходимо прекратить все работы на оборудовании и сообщить об этом руководству.

Основными мерами защиты человека от поражения электрическим током являются:

- правильное устройство и эксплуатация электрического оборудования и токоведущих частей;
- защита от прикосновения к токоведущим частям;
- защита от перехода напряжения на нетоковедущие части оборудования;
- наличие блокировочных и сигнальных устройств, предупредительных плакатов и надписей;
- применение СИЗ;
- правильное пользование испытанными и исправными защитными диэлектрическими средствами;
- обязательное заземление всех аппаратов;
- своевременное проведение инструктажей по электробезопасности и ТБ.

Все электрооборудование должно быть заземлено. На время ревизий или ремонтов электрооборудование должно быть обесточено.

Запрещается прикасаться к электрическим проводам, открывать сборки, обслуживать оборудование при неисправности розеток, пускателей, штепсельных вилок и другой арматуры [54].

При обнаружении дефектов в изоляции проводов, неисправностей пускателей, розеток и другой арматуры электрооборудования, а также нарушения заземления и ограждений, немедленно должны быть приняты меры по устранению этих дефектов [53].

На участке электролитического получения медного порошка мероприятия по электробезопасности должны работать в комплексе с применением средств индивидуальной и коллективной защиты.

7.5 Вентиляция производственных помещений

Вентиляция позволяет создать нормальные санитарно-гигиенические условия на химических предприятиях. Процесс вентиляции позволяет из производственного помещения непрерывно удалять загрязненный воздух и одновременно подавать свежий воздух в таком количестве, при котором концентрация вредных веществ в воздухе будет ниже предельно допустимой, а температура, влажность и скорость движения воздуха соответствуют санитарным нормам.

Для определения кратности воздухообмена применим формулу [56]:

$$K = \frac{V}{V_y}, \quad (106)$$

где: K – кратность воздухообмена;

V – необходимое количество чистого воздуха, поступающего в помещение в течение 1 часа, $\text{м}^3/\text{ч}$;

V_y – объем цеха, м^3 .

V_y – для помещений высотой 6 м и более следует принимать как:

$$V_y = 6 \cdot S, \quad (107)$$

где: S – площадь помещения, 432 м^2 .

$$V_y = 6 \cdot 432 = 2592 \text{ м}^3.$$

$$V = \omega \cdot F_p \cdot 3600, \quad (108)$$

где: ω – скорость воздуха, 5 м/с ;

F_p – площадь поперечного сечения канала, м^2 .

$$F_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (109)$$

где: d – диаметр проема вентиляции, принимаем равным $1,0 \text{ м}$.

$$F_p = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} = 0,785 \text{ м}^2.$$

$$V = 11 \cdot 0,785 \cdot 3600 = 14130 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Тогда кратность воздухообмена будет равна:

$$K = \frac{14130}{2592} = 5,5 \approx 6.$$

Для помещения высотой 6-9 м и более кратность воздухообмена должна составлять от 5 до 7 [56].

Таким образом, кратность воздухообмена проектируемого участка находится в пределах нормы.

7.6 Освещение

В производственных помещениях применяется три разных вида освещения [57]: естественное, искусственное и смешанное. В цехе применяется искусственное освещение комбинированного типа.

Используются люминесцентные светильники типа ОДА, ПВЛ-1. Для создания благоприятных рабочих условий, степень освещенности в производственных помещениях нормируется, норма освещения составляет 300 лк [58].

Площадь участка составляет 432 м², длина 24 м, ширина 18 м, высота 8,4 м.

Число светильников для цеха определяется по формуле [58]:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{F \cdot U \cdot m}, \quad (110)$$

где: E – нормированная освещенность, E=300 лк;

S – площадь помещения, S=432 м²;

z – поправочный коэффициент светильника, z = 1,2;

k – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации, k = 1,2;

F – световой поток одной лампы, ЛД 40, F=2500лм;

U – коэффициент использования, U = 0,55;

m – число ламп в светильнике, m = 2.

$$n = \frac{300 \cdot 432 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{2500 \cdot 0,55 \cdot 2} = 67,9 \text{ светильника.}$$

Расчетное количество ламп ЛД 40 составило 68 штук. Высота подвеса светильников должна быть не меньше 1 м [56].

7.7 Пожарная безопасность

Пожарная профилактика представляет собой единый комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение и локализацию пожаров. К этим мероприятиям относятся:

- меры пожарной безопасности, предусматриваемые при проектировании и строительстве предприятия;
- меры пожарной безопасности, принимаемые при проведении технологического процесса, т.е. в период эксплуатации.

При разборе действенных методов предупреждения и ликвидации пожаров и взрывов используют общие теоретические положения о горении и взрывах, а также данные, полученные при изучении причин пожаров и взрывов на производстве [59]. Исследованиями установлено, что основными и наиболее частыми причинами загораний, пожаров и взрывов на предприятиях химической промышленности являются:

- нарушение элементарных правил пожарной безопасности;
- нарушение режима технологических процессов;
- неисправность электрооборудования, электросетей;
- нарушение электротехнических правил;
- самовозгорание, статическое электричество, грозовые разряды и др.

Возможность возникновения пожаров в зданиях и сооружениях и особенно распространение огня в них в значительной мере зависит от того, из каких конструкций и материалов они выполнены, каковы размеры зданий и их планировка [56].

Категорирование основано согласно [60]. Согласно этому документу, все помещения и здания делятся на 5 категорий. Категории А и Б – взрывопожароопасные помещения, категории В, Г и Д – пожароопасные помещения.

Помещение разрабатываемого нами участка должно быть отнесено к категории Г [60]. Основанием для установления этой категории пожароопасности является наличие негорючих веществ в расплавленном состоянии.

Смазочные масла и органические жидкости должны храниться в специальных стальных шкафах, ящиках и в таре (бидоны, канистры).

Общими мерами по обеспечению пожаробезопасности при проведении технологических процессов являются:

- замена опасных технологических операций менее опасными;
- изолированное расположение опасных технологических установок и оборудования;
- уменьшение количеств, находящихся в производственных помещениях горючих и взрывоопасных веществ;
- предотвращение возможности образования горючих смесей в аппаратах, газопроводах, вентиляционных системах и др.;
- механизация, автоматизация и непрерывность производства;
- герметизация оборудования, мест соединений коммуникаций и аппаратуры, мест загрузки и выгрузки технологических аппаратов;
- строгое соблюдение стандартов и точное выполнение установленного технологического режима;
- предотвращение возможности появления в опасных местах источников зажигания;
- предотвращение распространения пожаров и взрывов [61];
- своевременное проведение инструктажей по ТБ и пожарной безопасности.

Выбор тех или иных способов и средств тушения пожаров, а, следовательно, огнетушащих веществ и их носителей определяется в каждом конкретном случае в зависимости от стадии развития пожара, масштабов загорания, особенностей горения веществ и материалов.

На участке должны иметься пожарные краны, химические пенные, а также порошковые огнетушители, кошма, песок для гашения огня на электрооборудовании, а также иметься противопожарный инвентарь: ведра, багры, ломы, крючья, топоры и т.п., установленные на щитах согласно нормам противопожарной охраны. Запрещается пользоваться противопожарным инвентарем для других целей [61].

В случае возникновения пожара в проектируемом цехе необходимо немедленно отключить подачу горючих реагентов, электрический ток, охладить место возгорания струей огнетушителя. Необходимо предусмотреть автоматическое отключение подачи компонентов и остановку системы по аварийному режиму [62].

При возникновении пожара персонал цеха обязан вызвать пожарную команду по телефону 01, 101, 112, сообщить руководству и принять меры к ликвидации пожара в соответствии с [59].

Помещение, в котором проходит производственный процесс относится к классу В (пожароопасное) [61], так как помещения находится большое количество электроустановок, а части аппаратов выполнены из горючих материалов таких как винипласт и полипропилен.

7.8 Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии

В таблице 25 рассмотрены аварийные и чрезвычайные ситуации, меры их предотвращения и ликвидации их последствий, которые могут возникнуть на разрабатываемом участке.

Таблица 25 – Аварийные и чрезвычайные ситуации на участке

| № | Аварийные и чрезвычайные ситуации | Меры предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций | Меры по ликвидации последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций |
|---|--------------------------------------|--|--|
| 1 | Пожар | <ul style="list-style-type: none"> – проверять состояние электротехнических устройств и отопительных приборов; – соблюдение технологического регламента; – соблюдать правила пожарной безопасности согласно требованиям нормативной документации; – проводить обучение и инструктаж работников, отрабатывать навыки пожаротушения. | <ul style="list-style-type: none"> – при возникновении пожара звонить 01,101,112; – в качестве средств тушения использовать порошковые и углекислотные огнетушители. |
| 2 | Аварии с выбросом химических веществ | <ul style="list-style-type: none"> – автоматизация процесса; – соблюдение технологического регламента; – проверка герметичности оборудования; – проведение осмотров и ППР; – проводить обучение и инструктаж работников. | <ul style="list-style-type: none"> – эвакуация рабочего персонала; – санитарная обработка и нейтрализация химических веществ. |
| 3 | Аварии с электроустановками | <ul style="list-style-type: none"> – не допускать повреждения изоляции токоведущих частей электрических установок; – проводить плановые ревизии, обходы и ППР; – соблюдать допустимое расстояние между изоляторами и проводами; – выполнять правила техники безопасности и технической эксплуатации; – проводить обучение и инструктаж работников; – установить защитное заземление. | <ul style="list-style-type: none"> – отключить напряжение на поврежденной установке; – отгородить место, поставить знаки; – при наличии пострадавших оказать первую помощь и вызвать скорую помощь по телефонам 112, 103. |

7.9 Вывод по главе

Рассмотрены вредные и опасные факторы на участке электролитического получения медного порошка:

- воздействия вибрации и шума в производственном помещении;
- опасность поражения электрическим током;

- нарушение параметров микроклимата;
- опасность возникновения пожара;
- опасность термических ожогов в т.ч. по причине пожара;
- отравление агрессивными и токсичными химическими веществами,

и их парами;

- недостаточное или избыточное освещение;
- подверженность психоэмоциональным перегрузкам, стрессу.

Определено, что разрабатываемый участок относится:

- по пожарной безопасности – к категории В (пожароопасный) [61];
- по электробезопасности – к I классу опасности до 1000 В [55];
- по вредным веществам – к II классу опасности [5,49-50].

Произведен расчет освещения на участке. При рассмотрении аварийных ситуациях на производстве, были предложены меры предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Для предотвращения аварийных ситуаций на производстве, необходимо соблюдать технологических процесс, выполнять правила техники безопасности и технической эксплуатации оборудования, своевременно проводить инструктажи, обучение, ППР.

8 Автоматизация процесса

Необходимость автоматизации процесса получения медного порошка обусловлена необходимостью контроля параметров процесса, от которых зависит качество получаемой продукции, а также необходимостью защиты людей, контактирующих с оборудованием, так как процесс протекает под воздействием электрического тока [63].

8.1 Описание схемы автоматизации

Схема автоматизации участка цеха по получению медного порошка представлена в приложении А.

Электролит поступает с участка производства медных катодов электролизом. После достижения определенной концентрации электролит отправляется на корректировку. На этом этапе часть электролита отводится на наш участок.

Процесс начинается с корректировки электролита в агитаторе (9). Необходимо приготовить раствор с концентрациями 180 г/л по серной кислоте и 8 г/л по меди. В агитатор (9) из баков (7) и (8) подаются растворы сульфата меди (262,5 кг/час) и серной кислоты (2834,72 кг/час) для достижения необходимых концентраций, которые измеряются датчиками концентрации, установленными в агитаторе (позиции 12, 14). Расход компонентов измеряется датчиками расхода сульфата меди (0,23 м³/час) (позиции 13) и серной кислоты (2,48 м³/час) (позиция 11) и регулируется их подача при помощи вентиля (позиция 11.1) и (позиция 13.1). Баки с кислотой и медным купоросом оснащены нижними датчиками уровня (позиция 7) и (позиция 8). В агитаторе установлены как нижний, так и верхний датчик уровня (позиции 9 и 10).

Насос (10.1) в начале процесса блокируется (позиция 22). При достижении необходимой концентрации меди в агитаторе (9) и верхнего уровня, насос включается и подает электролит в электролизер.

Из агитатора раствор при помощи насоса (10.1) подается в теплообменник (11), где нагревается до рабочей температуры 50 °С, эта температура контролируется на линии подачи в электролизер датчиком температуры (позиция 16). Температура теплоносителя на входе в теплообменник измеряется датчиком температуры (позиция 15). Расход электролита, который составляет 56 м³/ч, на входе в теплообменник измеряется датчиком расхода (позиция 20) и регулируется вентилем (20.1).

Затем раствор подается в электролизную ванну (1), где непосредственно происходит процесс электролиза. Электролизер оснащен верхним и нижним датчиком уровня с сигнализацией (позиция 41, 42). Щетки для удаления осадка вращаются с помощью двигателя с заданной частотой 1 об/с, которая измеряется и регулируется контуром (позиции 25 – 26). На ванну подается напряжение 6,5 В, значение которого измеряется вольтметром (позиция 1) и сила тока 1200 А, измеряемая амперметром (позиция 2). Получаемый медный порошок раз в 15 минут снимается с поверхности катода щетками. Далее он поступает в фильтрующие центрифуги (3.1-3.2), где осадок осаждается на перфорированный барабан, внутренняя поверхность которого покрыта фильтрующей перегородкой. Фильтрующие центрифуги работают попеременно, так как выгрузка осадка производится вручную. При работе центрифуги 3.1 вентиль (позиция 31.2) перекрыт. Аппарат работает 2 часа после чего вентиль (позиция 31.1) блокируется, а вентиль (позиция 31.2) открывается, вводит в работу центрифугу 3.2. Центрифуги вращаются с помощью двигателей с заданной частотой 500 об/мин, которая измеряется и регулируется контуром (позиции 18 – 19) и (позиции 29-30).

Далее осадок поступает в вакуум-сушильные шкафы (4.1-4.2). Шкафы нагреваются трубчатыми электронагревателями. Рабочая температура 100 °С,

измеряется датчиками температуры (позиция 33) и (позиция 36). Величина вакуума составляет 70 кПа и измеряется датчиками давления (позиция 24) и (позиция 38). Далее порошок вручную отправляют на упаковку и складирование (5).

Параметры, которые являются наиболее важными для процесса, такие как: температура электролита на входе в электролизер, частота вращения катода, сила тока, подаваемая на катоды, подлежат сигнализации.

На входе в сборный бак (6) измеряется расход электролита датчиком расхода (позиция 3) для поддержания необходимой скорости движения электролита 1 м/с. Расход должен составлять 56 м³/ч. Регулирование происходит при помощи вентиля (позиция 3.1).

В сборном баке (6) измеряется концентрация серной кислоты датчиком концентрации (позиция 4). В результате электролиза происходит наработка серной кислоты, что приводит к увеличению ее концентрации. Для поддержания концентрации кислоты на нужном уровне, необходимо выводить некоторое количество электролита из процесса, до того момента пока не измениться концентрация. Количество выведенного электролита определяется с помощью расходомера (позиция 42). Вывод части электролита происходит следующим образом. Если датчик концентрации кислоты (позиция 4) показывает значение ≥ 220 г/л происходит открывание вентиля (позиция 4.1) и закрытие вентиля (позиция 4.2), что приводит к тому, что часть электролита выводится из процесса и отправляется на выщелачивание. После того, как значение концентрации кислоты устанавливается на отметке < 220 г/л происходит закрытие вентиля (позиция 4.1), блокировка насоса (10.2) (позиция 23) снимается, при этом происходит открытие вентиля (позиция 4.2). Верхний и нижний уровень электролита в электролизере регулируется датчиками уровня с сигнализацией (позиция 41, 42). Далее электролит поступает в агитатор, где корректируется по содержанию сульфата меди, то есть концентрация меди измеряется в агитаторе при помощи датчика концентрации (позиция 12) и доводится до 8 г/л за счет

добавления раствора из бака с сульфатом меди. При этом для достижения необходимой концентрации компонентов в начале процесса открываются оба вентиля (позиции 11.1 и 13.1) подачи реагентов из баков с реагентами (7) и (8). После достижения необходимых концентраций вентили закрываются. В последствии, когда электролит возвращается в агитатор для корректировки, датчики концентрации (позиции 12 и 14) измеряют концентрацию компонентов в электролите и используя вентили (позиции 11.1 и 13.1) подаются свежие компоненты. Подача происходит до того момента, пока концентрации компонентов не достигнут нужного значения. Если уровень электролита упадет до нижнего предела регулируемого датчиком уровня с сигнализацией (позиция 10), то блокируется насос (10.1) (позиция 22), а вентили подачи из баков (7) и (8) (позиции 11.1 и 13.1) подают реагенты до достижения необходимой концентрации меди в агитаторе (9) и верхнего уровня (позиция 9). Далее включается насос (10.1) включается и подает электролит в электролизер, а вентили подачи (позиции 11.1 и 13.1) закрываются.

Сборный бак также оснащен верхним и нижним датчиками уровня с сигнализацией (позиции 6 и 21). При срабатывании сигнала, открывается вентиль (позиция 4.1) и часть раствора отводится из бака.

В начале процесса, когда электролит только поступает в сборный бак, вентили (позиции 4.1 и 4.2) закрыты, насос (10.2) блокируется.

При достижении верхнего уровня, вентиль (позиция 4.2) открывается, насос (10.2) включается и электролит поступает в агитатор (9) на корректировку.

8.2 Перечень параметров контроля

В данной работе объектом автоматизации является технологический процесс получения медного порошка электролизом.

Автоматизация химико-технологических процессов и производств заключается в оснащении технологического оборудования приборами,

регуляторами, управляющими машинами и другими устройствами. Тщательное изучение технологического процесса позволяет выявить параметры, которые влияют на протекание процесса. На основе этих данных устанавливается связь между ними и разрабатывается схема автоматизации [64].

Функциональная схема содержит условные обозначения средств автоматизации: первичные преобразователи (датчики), устройства дистанционной передачи сигналов, показывающие, регистрирующие и регулирующие приборы, а также устройство сигнализации [64].

Измерению подлежат:

- напряжение, подаваемое на электролизер;
- сила тока, подаваемая на электроды;
- расход электролита на выходе из электролизера;
- концентрация серной кислоты на выходе из электролизера;
- верхние уровни жидкости сборного бака и агитатора;
- нижние уровни жидкости баков с реагентами;
- расход рециркулируемого электролита на входе в агитатор;
- расход компонентов электролита на входе в агитатор;
- концентрации сульфата меди и серной кислоты в агитаторе;
- температура электролита на входе в электролизер;
- температура воды на входе в теплообменник;
- давление сжатого воздуха в сушильных шкафах;
- частота оборотов фильтрующих центрифуг;
- частота вращения щеток, для снятия осадка с катода;
- температура в сушильных шкафах.

Регулированию подлежат:

- расход электролита на выходе из электролизера и сборного бака;
- расход компонентов электролита на входе в агитатор;
- температура электролита на входе в электролизер;

- концентрация компонентов электролита;
- частота оборотов щеток;
- частота оборотов фильтрующих центрифуг;
- температура в сушильных шкафах.

Сигнализации подлежат:

- сила тока, подаваемая на электроды;
- верхние уровни жидкости сборного бака, электролизера и агитатора;
- нижние уровни жидкости баков с реагентами, агитатора, сборного бака

и электролизера;

- температура электролита на входе в электролизер;
- частота оборотов щеток;
- частота оборотов фильтрующих центрифуг;
- давление в сушильных шкафах;
- температура в сушильных шкафах.

Контроль и регулирование параметров позволяют облегчить проведение химико-технологического процесса, снизить нагрузку на работников. В промышленности используют системы централизованного контроля, цифровой регистрации, сигнализации и регулирования (МЦКР), что позволяет уменьшить размеры щитов и пультов управления. Их можно использовать для управления большим числом однотипных простых процессов, обегаящее устройство которых последовательно собирает информацию от датчиков объектов управления [64].

Сигнализации подлежат:

- сила тока, подаваемая на электроды;
- уровень в сборном баке, баке с кислотой, агитаторе;
- температура электролита на входе в электролизер;
- частота оборотов барабанного фильтра;
- частота вращения щеток.

Блокировке подлежат:

- насосы (10.1) на прекращение подачи электролита в электролизер при срабатывании сигнализатора нижнего уровня в агитаторе (9).
- насос (10.2) на прекращение подачи отработанного электролита из сборного бака (6) в агитатор (9), при срабатывании сигнализатора верхнего уровня сборного бака (6), также закрытие вентилей 11.1 и 13.1.

8.3 Выбор датчиков

Исходя из контролируемых параметров и сред, были выбраны наиболее оптимальные датчики.

Датчики измерения расхода. Данный вид датчиков установлен на выходе из электролизера, на входе в теплообменник и на входе в агитатор из баков с реагентами можем объединить, так как измеряется расход жидкости содержащий сульфат ионы и серную кислоту.

Для установки выбран датчик ЭМИС-МАГ 270 производства ЭМИС. Данный датчик электромагнитный, рабочий диапазон температур от минус 40 до плюс 130 °С, максимальное давление до 32 Мпа, номинальный диаметр до 3000 мм. Диапазон значений расхода от 0,06 м³/час до 28300 м³/ч [65].

Датчик измерения концентрации серной кислоты. В агитаторе и сборном баке установлен датчик измерения концентрации серной кислоты.

Для установки выбран датчик SJG-2083 D. Прибор пригоден для работы в кислотах и щелочах. Степень защиты IP65. Диапазон рабочих температур от 0 до 150 °С. Диапазон измерений концентраций от 0 до 30 %. Погрешность измерений составляет 1 % [66]. Данный датчик является оптимальным для измерения концентрации серной кислоты в диапазоне от 15 до 25 %.

Датчик измерения концентрации ионов меди. В агитаторе необходимо измерять концентрацию ионов меди, которая должна составлять 8 г/л.

Для установки выбран датчик МАК-1Б. Данный датчик пригоден для определения концентрации ионов различных металлов, в том числе для

определения ионов меди. Диапазон рабочих температур от 10 до 55 °С. Степень защиты IP65. Диапазон измерений концентраций до 80 г/л. Погрешность измерений составляет 1 % [67]. Данный датчик является оптимальным для измерения концентрации ионов меди, которая в нашем процессе составляет 8 г/л.

Датчик измерения уровня. В агитаторе, сборном баке и емкостях для реагентов установлены датчики уровня. Исходя из того, что в емкостях находится серная кислота и раствор содержащий сульфат ионы, необходимо подбирать датчик уровня для агрессивных сред.

Для установки выбран датчик FineTek EG31 (магнитострикционный) – приборы серии EG представляют семейство магнитострикционных поплавковых преобразователей уровня. Диапазон рабочих температур от минус 40 до плюс 125 °С. Степень защиты IP67, способен работать в коррозионных/агрессивных средах. Давление рабочей среды до 30 бар. Диапазон измерений уровня от 50 до 5500 мм. Погрешность измерений составляет 1 мм [68].

Датчик температуры. Процесс получения медного порошка требует контролировать температуру электролита на входе в электролизер и температуру воды на входе в теплообменник, также контролировать температуру теплоносителя

Для установки выбран датчик TOPCV-1. Предназначен для измерения агрессивных жидких и газообразных сред. Диапазон измерения температуры от 0 до 100 °С. Степень защиты головки IP54, выполнен из стали, покрытой теплостойким поливинилом [69].

Датчик давления. Данный датчик необходим для измерения величины вакуума в вакуум-сушильном шкафу.

Для установки выбран датчик DMP-334 от производителя VD Sensors. Диапазон рабочей температуры от минус 40 до плюс 125 °С. Степень защиты IP68. Диапазон измерений от 0,04 до 40 бар. Погрешность измерений составляет 1 %. Данный датчик является оптимальным для измерения величины вакуума в нашем случае, так как величина вакуума составляет 0,7 бар [70].

8.4 Заключение по разделу автоматизация

В данном разделе были перечислены параметры, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации, была составлена схема автоматизации. Также был произведен подбор приборов для контроля, сигнализации, а также поддержания технологических параметров на заданном уровне. Это позволяет получить более чистый продукт, а также уменьшить количество персонала, что уменьшит контакт персонала с вредными и опасными факторами производства

Заключение

По результатам расчетов, проведенных в данном дипломном проекте можно сделать следующие выводы:

1 разработана технологическая схема получения медного порошка электролитическим методом;

2 предложено аппаратное оформление технологической схемы получения медного порошка электролизом;

3 произведен расчет материального и теплового баланса основных стадий технологической схем;

4 рассчитан и сконструирован основной аппарат технологической схемы – электролитическая ячейка, габаритные размеры которой, следующие: высота ячейки – 1 м; диаметр верхней части ячейки – 0,864 м; высота верхней части ячейки – 0,6 м; высота нижней части ячейки – 0,4 м

5 рассмотрена строительная часть проекта, определены размеры здания, разработан план размещения помещений и технологического оборудования в цехе;

6 рассчитаны основные технико-экономические показатели проекта: себестоимость одного килограмма медного порошка составила 299.2 рубля, точка безубыточности составила 19471386 рублей;

7 рассмотрены социальная ответственность и способы осуществления безопасного ведения работ;

8 разработана функциональная схема автоматизации технологического участка, что является одним из основных преимуществ разрабатываемого проекта, которое обеспечивает и упрощает управление процессом, облегчает труд, а также снижает численность персонала.

Список используемых источников

1. Cuprum Цветной металлопрокат [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <https://cu-prum.ru/med.html>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 05.04.2020.
2. Металлургия тяжелых цветных металлов [Электронный ресурс]: электрон.учеб. пособие / Н. В. Марченко, Е. П. Вершинина, Э. М. Гильдебрандт. – Электрон. дан. (6 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.
3. Специальные материалы. Медь и медные сплавы [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <http://s-m.su/ploskij-prokat-iz-mednyh-splavov>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 06.04.2020.
4. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <http://metallicheskiy-portal.ru>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 07.04.2020.
5. Уткин Н.И. Металлургия цветных металлов: учебник / Н. И. Уткин. – М.: Металлургия, 1985. – 440 с.
6. Осинцев О.Е. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справочник / О.Е. Осинцев, В.Н. Федоров. – М.: Машиностроение, 2004. – 336 с.
7. Иванова Н. П. Гидроэлектрометаллургия: электронный конспект лекций для студентов специальности 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств» / Н. П. Иванова, И. А. Великанова. – Минск: БГТУ, 2010. – 103 с.
8. ООО Инженерно-техническая компания цветные металлы [Электронный ресурс] / Информационный портал. – URL: <http://itkcm.com/folga>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 12.04.2020.
9. Набойченко С.С. Гидрометаллургия меди / С. С. Набойченко, В.И. Смирнов. – М.: Металлургия, 1974. – 272 с.
10. Прикладная электрохимия: учебник для вузов / Под ред. Н.Т. Кудрявцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1975. – 551 с.

11. Прикладная электрохимия: учебное пособие для вузов / Н.П. Федотьев, А.Ф. Алабышев, и др.; Под ред. Н.П. Федотьева. – 2-е изд., испр. и доп. – Л.: Химия, 1967. – 600 с.

12. Борхерс И.А.В. Электрометаллургия. Получение металлов при помощи электрического тока: перевел со 2-го дополненного издания "Dr. W. Borchers, Elektrometallurgie, 1896" С.И. Сизонов / И.А.В. Борхерс; пер. С.И. Созонова. – С.: Типо-Литография и Фототипия П. И. Бабкина, 1898. – 423 с.

13. Ротинян, А.Л. Прикладная электрохимия / А.Л. Ротинян. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1974. – 536 с.

14. Медный порошок электролитического осаждения и способ его изготовления: патент США № 5181770; заявл. 10.03.1997; опубл. 20.03.2001, Бюл. № 19. – 3 с.

15. Способ изготовления медного порошка: патент США № 4956053; заявл.; 07.11.2000 опубл. 18.10.2002, Бюл. № 11. – 5 с.

16. Способ изготовления металлической ленты электролизом и устройство для его осуществления: патент Рос. Федерация № 2258770; заявл. 05.10.2010; опубл. 21.03.2013, Бюл. № 16. – 4 с.

17. Устройство для гальванопластического изготовления порошка: патент Рос. Федерация № 859484; заявл. 29.05.2010; опубл. 28.05.2014. Бюл. № 17. – 3 с.

18. Устройство для ведения непрерывного процесса электролитического осаждения: патент Германия №2166567; заявл.: 11.04.2008; опубл. 20.09.2011. Бюл. № 12 – 4 с.

19. System and method for producing copper powder by electrowinning in a flow-through electrowinning cell: United States Patent № 8016983; filed 18.05.2010; publ. 13.09.2011, Bul. №–11 p.

20. Номберг М. И. Производство медного порошка электролитическим способом. – Москва: Metallurgia, 1971. – 134 с.

21. ГОСТ 4960-2017. Порошок медный электролитический. – М.: Стандартиформ, 2009. – 23 с
22. ГОСТ 9559-89. Листы свинцовые. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 1990. – 10 с.
23. Электропроект [Электронный ресурс] / агрегат выпрямительный ТВ1-2000/12Т-0 – URL: <http://www.eip.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.04.2020.
24. Новые двигатели переменного тока IE3 [Электронный ресурс] / Мотор редуктор Sew-Eurodrive серии D – URL: <https://www.sew-eurodrive.ru/glavnaya.html>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.04.2020.
25. ГОСТ 26296-84. Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры. – М.: Стандартиформ, 1984. – 10 с.
26. Электропроект [Электронный ресурс] / агрегат выпрямительный ТВ1-2000/12Т-0 – URL: <http://www.eip.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.04.2020.
27. НПП Экомет [Электронный ресурс] / теплообменники Calorplast Wärmetechnik GmbH – URL: <http://www.ecomet.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.04.2020.
28. MasoBravo [Электронный ресурс] / Насос IML Atlas AT0550 –2020. – URL: <https://www.marcobravo.ru/nasos-s-prefiltrom-impl-atlas-at0550/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 04.12.2020.
29. Русэлком. Электротехническая компания [Электронный ресурс] / НН-12М теплообменник Ридан – 2020. – URL: <https://www.teploprofi.com/teploobmennik-nn-12m/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 04.12.2020.
30. Энергетические технологии [Электронный ресурс] / Выпрямители для электротехнологии – 2020. – URL: <https://newet.ru/catalog/vypryamiteli-rcv-r-s-a-t>

s-vygodnym-napryazheniem-0-16-v/vypryamitel'naya-sistema-rsat-380-16-8000/, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 10.12.2020.

31. АО «Reatorg» [Электронный ресурс] / Центрифуга фильтрующая – 2020. – URL: <https://www.rt.su/equipment/item/tsentrifuga-huada-lgz-pgz800/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 10.12.2020.

32. АО «Миллаб» [Электронный ресурс] / Вакуумные сушильные шкафы – 2020. – URL: <https://technologiya.millab.ru/catalog/ispytanie-materialov/vakuumnye-sushilnye-shkafy-kamery/vakuumnye-sushilnye-shkafy-serii-vid-23-115/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 10.12.2020.

33. ООО «Мировое оборудование» [Электронный ресурс] / Чиллер FKL-5HP – 2020. – URL: <https://ok-standok.ru/shop/04277-chiller/>, доступ свободный. – Яз. рус. Дата обращения 15.12.2020.

34. Правила безопасности химически опасных производственных объектов [Электронный ресурс] / Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499061805/>, доступ свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 16.12.2020.

35. ГОСТ 11024-2012 Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий – М.: Стандартиформ, 2012. – 29 с.

36. Костюк Л. В. Экономика и управление производством на химическом предприятии: Учебное пособие (с грифом УМО). / Л. В. Костюк. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011. – 323 с.

37. Кочеров Н.П. Техничко-экономическое обоснование проектирования химического производства: методические указания. / Н.П. Кочеров, А.А.Дороговецца, Л.С. Гогуа - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014 – 43с.

38. Техничко-экономическое обоснование проектирования цеха химического производства: учебно-методическое пособие / Е.Л. Бойцова, Ф.А. Ворошилов, Е.В. Меньшикова. – Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 87 с.

39. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова. – Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

40. ГОСТ 12.0.003-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

41. СанПИН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [Текст]. – Взамен «Санитарных норм микроклимата производственных помещений» N 4088-86; введ. 1996-10-1. – М.: Российская газета, 1996. – 6 с. 121

42. ГОСТ 12.1.005-2008 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 15 с.

43. СНиП 2.04.05-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]. – Взамен СНиП 2.04.05-86; введ. 1992-01-01. – М.: Госстрой России, 2003. – 6 с.

44. Шум и вибрация [Электронный курс]. URL: <https://mirznanii.com>, – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 24.11.2019 г.

45. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.

46. ГОСТ 12.1.029-2001 Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума. Классификация. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 5 с.

47. ГОСТ 12.4.316-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от вибрации. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 2019. – 5 с.

48. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в жилых помещениях, общественных зданиях и на территории жилой застройки». – М.: Система Грант, 2017.
49. ГОСТ 2184-2013. Кислота серная техническая. – М.: Стандартинформ, 2013. – 55 с.
50. ГОСТ 19347-2014. Купорос медный. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 54 с.
51. ГОСТ 12.4.299-2015 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию. – М.: Стандартинформ, 2016.
52. ГОСТ 12.4.253-2013 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2013.
53. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.
54. Елгазин В.И. Электробезопасность: учебное пособие / В. И. Елгазин; Томский политехнический институт (ТПИ). – Томск: Изд-во ТГУ, 1967. – 82 с.
55. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 384 с.
56. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для вузов / О. Н. Русак, К. Р. Малаян, Н. Г. Занько. – 8-е изд., стер.. – СПб.: Лань ОмегаЛ, 2005. – 448 с.
57. Освещение производственных помещений [Электронный курс]. URL: <https://studfile.net>, – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.11.2020 г.
58. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [Текст]. – Сравнения СНиП 23-05-95 с СП 52.13330.2011. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 6 с.

59. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.

60. НПБ 105-03 [Электронный курс] Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200032102>, – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 15.11.2020 г.

61. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: ГЦП ЦПП, 2002. – 6 с.

62. Харисов Г. Х. Основы обеспечения безопасности жизнедеятельности человека: Курс лекций. – М.: Б. и., 1998. – 89 с.

63. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / Голубятников В.А., Шувалов В.В. – М.; «Химия», 1985.– 350 с.

64. Вильнина А.В. Разработка системы управления технологическим процессом (по заданию): Учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта. / А.А. Лысенко, А.В. Вильнина – Томск: ТПУ, 2008. – 47 с.

65. «НПО Валентина» [Электронный ресурс] / "МАК-1Б" анализатор концентрации ионов меди– URL: <http://nprovalentina.ru/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 13.12.2020.

66. TOPChinaSupplier [Электронный ресурс] / Датчик концентрации кислоты SJG-2083D – URL: <https://www.topchinasupplier.com/>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 13.12.2020.

67. РусАвтоматизация [Электронный ресурс] / Серия EG, высокоточные магнитострикционные уровнемеры для промышленности. – URL: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/urovnemery-eg, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 13.12.2020.

68. РусАвтоматизация [Электронный ресурс] / Серия EG, высокоточные магнитострикционные уровнемеры для промышленности. – URL:

https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/urovнемery-eg, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 20.05.2020.

69. ОЛИЛ [Электронный ресурс] / Датчик температуры агрессивных сред TOPCV-1. – URL: <https://olil.ru/thermoolil/dditas/v1>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 21.05.2020.

70. BD Sensors [Электронный ресурс] / Датчик давления сред DMP-334. – URL: <https://www.bdsensors.ru/ru/davlenie/datchiki-davleniya/dmp-334-dmp334-promyshlennyj-datchik-dlya-vysokih-i-sverhвысокih-davlenij.html>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 14.12.2020.

Приложение А

(обязательное)

Схема автоматизации процесса электролиза

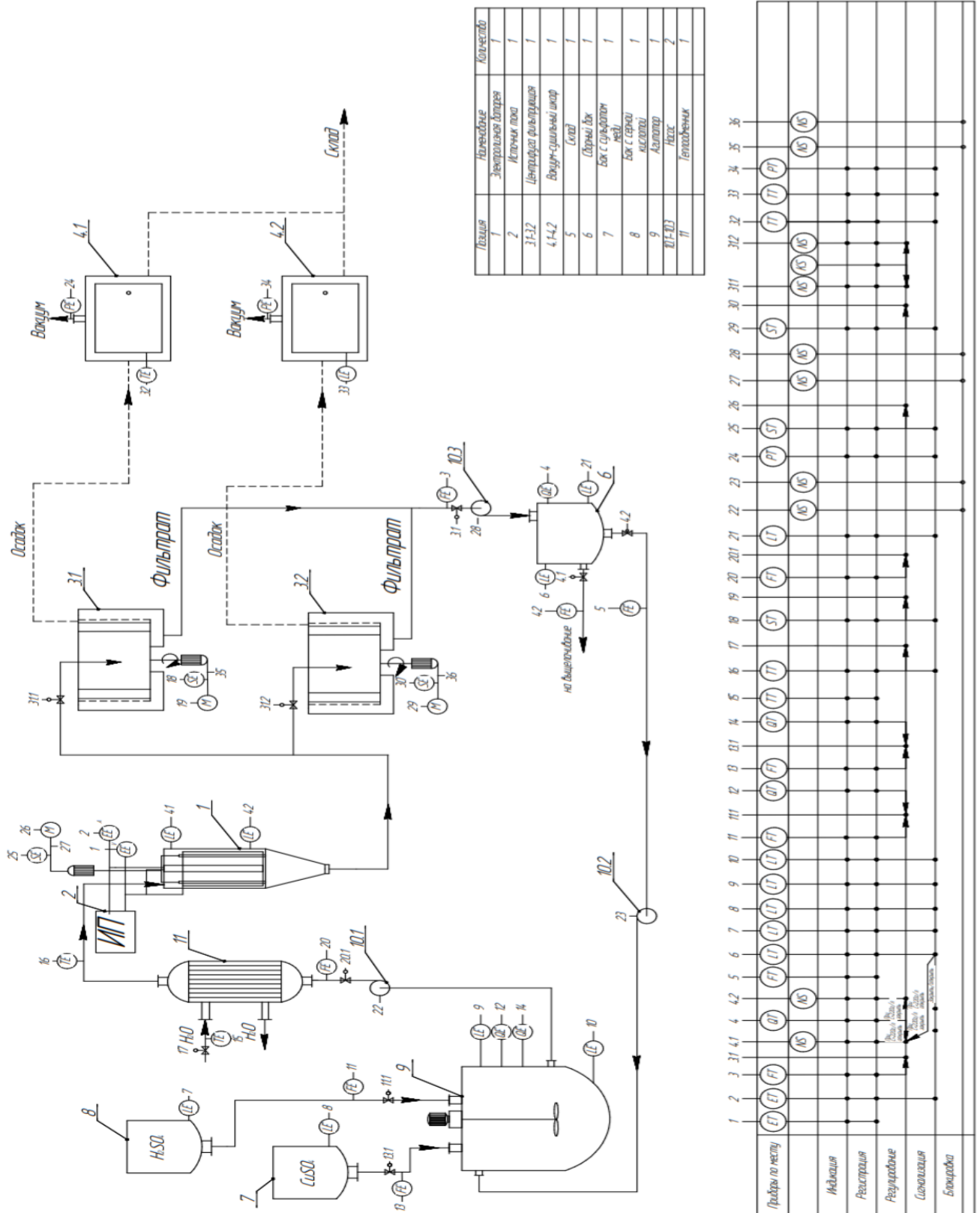


Рисунок А.1 – Схема автоматизации процесса электролиза